



7^o SSS

Simpósio sobre
Sistemas
Sustentáveis

ANAIS

Volume 01

Organizadores

Dr. Cristiano Poletto – UFRGS (Presidente)
Dr. Julio Cesar de S. Inácio Gonçalves – UFTM
Dr.^a Cristhiane Michiko Passos Okawa – UEM

7º SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS



Madrid – España
2023

Copyright © 2023, by IAHR Publishing.

Direitos Reservados em 2023 por **IAHR Publishing.**

Organização Geral da obra: Poletto, Cristiano ; Inácio Gonçalves, Julio Cesar de S.; Passos Okawa, Cristhiane Michiko

Editor: Cristiano Poletto

Diagramação: Cícero Manz

Revisão: Elissandro Voigt Beier

Capa: Juliane Fagotti

Copyright © 2023, by IAHR Publishing.

Derechos Reservados en 2023 por **IAHR Publishing.**

Organización General de la Obra: Poletto, Cristiano ; Inácio Gonçalves, Julio Cesar de S.; Passos Okawa, Cristhiane Michiko

Editor: Cristiano Poletto

Maquetación: Cícero Manz

Relectura General: Elissandro Voigt Beier

Portada: Juliane Fagotti

Poletto, Cristiano; Inácio Gonçalves, Julio Cesar de S.; Passos Okawa, Cristhiane Michiko
(Organizadores)

Anais do 7º Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis / Organizadores: Cristiano Poletto,
Julio Cesar de S. Inácio Gonçalves, Cristhiane Michiko Passos Okawa. Volume 01.

MADRI, España: IAHR Publishing, 2023.

402p.: il.;

ISBN • 978-90-833476-2-2

CDD: 600

*É AUTORIZADA a livre reprodução, total ou parcial, por qualquer meio, sem
autorização escrita do Editor ou dos Organizadores.*

*ES AUTORIZADA la libre reproducción, total o parcial, por cualquier medio, sin
autorización escrita del Editor o de los Organizadores.*

Comissão Organizadora

Cristiano Poletto – UFRGS (Presidente)
Julio Cesar de S. Inácio Gonçalves – UFTM
Cristhiane Michiko Passos Okawa – UEM

Comissão Científica

Álvaro José Back - EPAGRI/SC	José Gilberto Dalfré Filho - UNICAMP
Amanda Goncalves Kieling - UNISINOS	Josiane Teresinha Cardoso - UDESC
Amintas Nazareth Rossete - UNEMAT	Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves - UFTM
André Luis Sotero Salustiano Martim - UNICAMP	Karinne Reis Deusdará Leal - UNIFEI
Andrezza Marques Ferreira - CEMADEN	Laura Maria Canno Ferreira Fais - UNICAMP
Carlos Alberto Mendes Moraes - UNISINOS	Liliane Lazzari Albertin - UNESP
Carlos Jose Sousa Passos - UNB	Lucijane Monteiro de Abreu - Universidade de Brasília (UNB)
Cíntia Soares - UFSC	Luis eduardo a. S. Suzuki - UFPEL
Claudia Telles Benatti - UEM	Marcelo de Oliveira Latuf - UNIFAL
Cristiane Kreutz - UTFPR	Marcelo Giovanela - UCS
Cristhiane Michiko Passos Okawa - UEM	Márcia Teixeira Falcão - UERR
Cristiano Poletto - UFRGS	Marcos Mateus - Universidade de Lisboa
Edna Possan - UNILA	Maria Cristina de Almeida Silva - UFRGS
Eliane Maria Vieira - UNIFEI	Maria de Los Angeles Perez
Elizabeth Yukiko Nakanishi Bavastri - UFPR	Lizama - UNICESUMAR
Everton Skoronski - UDESC	Maristela Denise Moresco Mezzomo - UTFPR
Felippe Fernandes - CONSULTOR	Martin Geier - UFRGS
Fernando Dornelles - UFRGS	Maurício Andrades Paixão - UFRGS
Fernando Jorge Correa Magalhães Filho - UFRGS	Mauro Rodrigues - UNIPAMPA
Fernando Neves Lima - UNIFEI	Natan Padoin - UFSC
Fernando Oliveira de Andrade - UTFPR	Pablo Spalletti - Universidad Nacional de La Plata / Argentina
Fernando Periotto - UFSCAR	Patrícia Diniz Martins - UFTM
Francisco de Assis Dourado da Silva - UERJ	Pedro Alves da Silva Filho - UFRR
Francisco Lledo Dos Santos - UNEMAT	Ronalton Evandro Machado - UNICAMP
Geraldo de Freitas Maciel - UNESP	Renato Miranda - USP
Hugo Morais de Alcântara - UFCG	Rodrigo Maia - Universidade do Porto
Ícaro Thiago Andrade Moreira - UFBA	Sidnei Luís Bohn Gass - UNIPAMPA
Jackeline Tatiane Gotardo - UNIOESTE	Simone Andrea Furegatti - UNESP
João Pedroso de Lima - Universidade de Coimbra	Simone Ramires - UFRGS
Joel Dias da Silva - FURB	Stenio de Sousa Venancio - UFTM
Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro - UNIV. DO ALGARVE/PORTUGAL	Valdeci Jose Costa - UDESC
José Augusto Costa Gonçalves - UNIFEI	Viviane Trevisan - UDESC
José Camilo Ramos de Souza - UEA	Yuri Jacques Agra Bezerra da Silva - UFPI
José Carlos de Araújo - UFC	

ORGANIZAÇÃO



REALIZAÇÃO



PATROCÍNIO



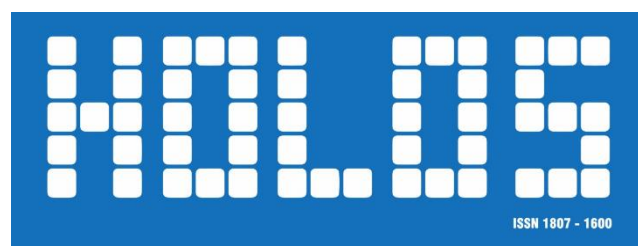
APOIO



APOIO ESPECIAL



Mestrado Profissional em Rede Nacional
em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos



3º Congresso Internacional de Engenharia Ambiental



Edição Luso-Brasileira



Participe em 2024:

3º CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AMBIENTAL

Luso-Brasileiro

www.3ciea.com.br



Organização:



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA



Qual a importância do estudo da hidrossedimentologia?

A avaliação de processos hidrossedimentológicos é fundamental para diagnosticar problemas relacionados à erosão, transporte e deposição de sedimentos em rios e reservatórios, que influenciam diretamente em aspectos da qualidade da água e conservação dos recursos hídricos, além de interferir nos processos operacionais e vida útil de usinas hidrelétricas.

A falta de estudos na área da hidrossedimentologia pode ocasionar impactos negativos na conservação do meio ambiente com reflexos na vida da população. A Água e Solo atua no monitoramento, análises laboratoriais e elaboração de estudos para pleno entendimento dos processos hidrossedimentológicos.



Atua desde 1998 na área de recursos naturais, água e solo, realizando levantamentos, desenvolvendo estudos e projetos de engenharia e meio ambiente e implantando e operando redes de monitoramento de recursos hídricos.


HIDROMETRIA

- Levantamentos Batimétricos;
- Levantamentos sedimentométricos;
- Instalação, operação e manutenção de Estações Hidrológicas e Climatológicas Telemétricas em atendimento a Resolução Conjunta ANA/ANEEL 127/2022, (antiga 003/2010);
- Medição de vazão líquida e sólida;
- Estudo de Assoreamento de Rios e Reservatórios;
- Laboratório próprio para realização de Análises Sedimentológicas;
- Fornecimento de Equipamentos e Comissionamento de Estações Hidrológicas.

ESTUDOS E PROJETOS

- Estudos Hidrológicos Qualitativos e Quantitativos;
- Simulações e Modelagens Matemáticas;
- Estudos Hidrogeológicos;
- Estudos de Previsão de Vazão;
- Estudos Ambientais;
- Planos Diretores de Recursos Hídricos;
- Planos Municipais de Saneamento Básico;
- Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Montagem de Banco de Dados SIG para Subsídio aos Projetos;
- Capacitações de Temas Associados a Gestão de Recursos Hídricos;
- Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental;
- Projetos de Estruturas Hidráulicas para Armazenamento e Distribuição de água.

 (51) 3237-6335

 contato@aguaesolo.com

**PARA MAIS
INFORMAÇÕES
ENTRE EM CONTATO**

 Rua Baronesa do Gravataí,
137 - Sala 406 / Poa - RS



ProfÁgua

Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos

Sobre o ProfÁgua

O ProfÁgua é um curso de mestrado stricto sensu, GRATUITO, na área de ciências ambientais, que proporciona ampla formação aos profissionais, aliando teoria e prática, de modo a aumentar a eficácia de sua atuação na área de recursos hídricos.

Acesse nosso site:



Mais informações

(18) 3743 - 1978 (ramal 1917 ou 1921)
profagua@unesp.br

ÁREAS DE CONCENTRAÇÃO

1 - Instrumentos da Política de Recursos Hídricos ..

2 - Regulação e Governança de Recursos Hídricos ..

Linhas de pesquisa

1.1 - Ferramentas Aplicadas aos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos ..

1.2 - Metodologias para Implementação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos ..

2.1 - Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos ..

2.2 - Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água ..



| SUMÁRIO |

RESUMOS

CAPTURA DE CO ₂ USANDO CARVÃO ATIVADO E FUNCIONALIZADO COM MISTURAS DE RESÍDUOS DE BIOMASSAS: UM ESTUDO POR DFT	16
ANÁLISE PRELIMINAR DO IMPACTO DAS MUDANÇAS AMBIENTAIS NOS RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO MAMPITUBA	19
INFERÊNCIA DO MODELO DE PRODUÇÃO DE ALIMENTOS NA PERDA DE BIODIVERSIDADE NO CONTEXTO DA MUDANÇA CLIMÁTICA.....	22
INFLUÊNCIA DE FATORES BIOFÍSICOS NA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM UMA CIDADE DE MÉDIO PORTE NO SUL DO BRASIL.....	26
SERVIÇOS AMBIENTAIS HÍDRICOS: RESILIÊNCIA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS IMPACTADAS PELO ROMPIMENTO DE BARRAGENS EM MINAS GERAIS, BRASIL	31
A EDUCAÇÃO AMBIENTAL NAS ESCOLAS PÚBLICAS DA REGIÃO DO SERIDÓ POTIGUAR	34
ESTUDO DE APLICABILIDADE DOS PRINCÍPIOS ESG EM OBRA DE SANEAMENTO NO INTERIOR DO CEARÁ.....	37
DISCUSSÃO SOBRE ENERGIAS RENOVÁVEIS EM PILAR DE GOIÁS - GO	41
A EVOLUÇÃO DA MATRIZ ELÉTRICA NO PIAUÍ DE 2012 A 2022: O DESTAQUE DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	44
AS CIANOBACTÉRIAS COMO INDICADORES DE QUALIDADE DE ÁGUA EM DOIS RESERVATÓRIOS URBANOS	48
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM ÁREA DECLARADA DE CONFLITO PELO USO DA ÁGUA UTILIZANDO A PLATAFORMA GOOGLE EARTH ENGINE (GEE)	53
UMA METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A ALAGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE SINOP-MT.....	56
OS IMPACTOS DOS USOS INSIGNIFICANTES DA ÁGUA NA BACIA DO RIO SANTO ANTÔNIO/MG	60
REMOÇÃO DE PARACETAMOL E ATENOLOL POR PROCESSOS DE ADSORÇÃO E FENTON.....	65
ASPECTOS AMBIENTAIS DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS INDIVIDUAIS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO E A UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO.....	68
SISTEMA <i>WETLANDS</i> CONSTRUÍDOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES EM CAMPUS UNIVERSITÁRIO: PARTIDA E OPERAÇÃO.....	71
SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA A GESTÃO DA ÁGUA EM REGIÕES ÁRIDAS E SEMIÁRIDAS: EXEMPLOS DO CHILE E DO BRASIL.....	74
REGULARIZAÇÃO TARIFÁRIA DO ESGOTO DOMÉSTICO EM RESIDÊNCIAS ABASTECIDAS POR POÇOS TUBULARES EM BOA VISTA-RR.....	77

A INTERCONEXÃO ENTRE MOBILIDADE URBANA E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: IMPACTOS E SOLUÇÕES	81
AVALIAÇÃO DO ATENDIMENTO DO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO A UM POLO GERADOR DE VIAGEM EM CAMPO GRANDE - MS	83
RELEVAMIENTO DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL GEOREFERENCIADO CON VISTAS A UNA PLANIFICACIÓN SUSTENTABLE.....	91
SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ANÁLISE DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO SELO DE CERTIFICAÇÃO LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN BD+C EM UMA EDIFICAÇÃO NA CIDADE DE CAMPO MOURÃO, PARANÁ	95
INTERFACES ENTRE A GESTÃO DE ÁREAS DE RISCO, ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE E A IMPLANTAÇÃO DO SANEAMENTO BÁSICO EM PORTO ALEGRE - RS	98
HIDRÓLISE COM ÁGUA SUBCRÍTICA DE RESÍDUOS DE CASCAS E BAGAÇOS DE LARANJA	102
GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE TAPES-RS	105
ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA SEDE DO MUNICÍPIO DE SOBRAL (CEARÁ).....	108
CARACTERIZAÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS EM	111
RIO GRANDE/RS PELA ABORDAGEM DA EQUAÇÃO DE INTENSIDADE- DURAÇÃO-FREQUÊNCIA (IDF).....	111
SISTEMA ECOLÓGICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL EM ÁREA RURAL NA REGIÃO SERRANA DE SANTA CATARINA	114
TRANSITÓRIOS HIDRÁULICOS EM LINHAS DE RECALQUE DE ESGOTO - REVISÃO DA LITERATURA	116
ALTERNATIVAS DE SUSTENTABILIDADE PARA O SEMIÁRIDO: EXPERIMENTAÇÃO, IMPLANTAÇÃO E APROPRIAÇÃO	120
ESTUDO COMPARATIVO DE EFICIÊNCIA ENTRE MÉTODOS DE PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS DE SOLO PARA DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COVs)	124

ARTIGOS COMPLETOS

INTERRELACIONAMENTO ENTRE AS VARIÁVEIS TEMPERATURA, UMIDADE, RADIAÇÃO, VENTO E PRECIPITAÇÃO AFETANDO O CLIMA	129
ANÁLISIS DE TENDENCIAS Y SALTOS EN REGISTROS DE PRECIPITACIONES EN LA PROVINCIA DE MISIONES EN UN CONTEXTO DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA.....	139
ANÁLISE DE EVENTOS DE SECAS NAS CIDADES DE ESPINOSA, SÃO FRANCISCO E BOCAIUVA EM MINAS GERAIS	147

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E OS INVENTÁRIOS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM CIDADES DA AMÉRICA LATINA: UMA ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA	154
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA DO RIO PROVIDÊNCIA, NO ESTADO DO TOCANTINS.....	162
SISTEMAS DE DENÚNCIAS DE USO DA ÁGUA COMO FACILITADOR DO CONTROLE SOCIAL E INSTITUCIONAL NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	173
PROSPECCIÓN SISTEMÁTICA DE SITIOS PARA PRESAS Y EMBALSES MEDIANTE LA DETERMINACIÓN AUTOMÁTICA DE SU GEOMETRÍA	178
AVALIAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE PRIORITÁRIAS À RESTAURAÇÃO FLORESTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAÍ/RS, A PARTIR DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO	186
DIAGNÓSTICO DA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA DA NASCENTE DO CÓRREGO JUREMA; APUCARANA, PR	196
MATERIAIS ALTERNATIVOS: OS 3R's PARA UMA CONSTRUÇÃO MAIS SUSTENTÁVEL NA REGIÃO NORDESTE.	202
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA OCUPAÇÃO URBANA EM ÁREA SUSCETÍVEL A DESASTRE HIDROLÓGICO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO....	209
ASPECTOS MORFOMÉTRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO BARTOLOMEU	218
AVALIAÇÃO TEMPORAL (2011 - 2020) DO USO E COBERTURA DAS TERRAS E DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL DO MÉDIO CURSO DA BACIA DO RIO PIRACICABA (MG).....	224
ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APODI-MOSSORÓ.....	232
DETERMINAÇÃO DA CURVA-CHAVES DO RIO JAPURÁ NO ESTADO DO AMAZONAS	240
COMPORTAMENTO COMPARATIVO SAZONAL DOS ÍNDICES NDVI E NDWI NO BAIXO CURSO DO RIO DO PEIXE - OESTE PAULISTA.....	245
MODELO PARA GRANDES BACIAS E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA A GESTÃO HÍDRICA: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA.....	251
COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA: ANÁLISE DE ATAS ORDINÁRIAS	259
A COLETA SELETIVA E A COMPOSTAGEM COMO INSTRUMENTOS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL: ESTUDO DE CASO NA UTFPR – CAMPUS CAMPO MOURÃO	269
QUINTAL URBANO: MEMÓRIA NEGRA E SUSTENTABILIDADE	275
ANÁLISE DE VIABILIDADE DISCIPLINAR NAS UNIVERSIDADES VOLTADA À SUSTENTABILIDADE E PRÁTICAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	283
CAMPANHA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL APLICADA NA EMPRESA EMBACAPS	293

AVALIAÇÃO DA INSERÇÃO DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM ESCOLAS BÁSICAS DO MUNICÍPIO DE SUMÉ, PB	301
A INFLUÊNCIA DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA REDUÇÃO DO CONSUMO: UMA ABORDAGEM PRÁTICA PARA A SUSTENTABILIDADE.....	308
CONGLOMERADOS, COMPONENTES PRINCIPAIS E MODELO HIERÁRQUICO MULTINÍVEL – APRENDIZADO DE MÁQUINA A SERVIÇO DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR	315
CARACTERIZAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS MONOFACIAIS E BIFACIAIS EM DIFERENTES IRRADIÂNCIAS USANDO SIMULADOR SOLAR	324
ANÁLISE ENERGÉTICA COMPARATIVA ENTRE MÓDULO FOTOVOLTAICO MONOFACIAL E BIFACIAL	334
NUMERICAL INVESTIGATION OF TURBULENCE CHARACTERISTICS AND SELF- SIMILARITY IN A HIGHLY AERATED STABLE HYDRAULIC JUMP USING LARGE EDDY SIMULATION	343
SINTETIZAÇÃO DE SEQUÊNCIAS DIÁRIAS DE RADIAÇÃO SOLAR PARA CIDADES BRASILEIRAS USANDO MATRIZES DE TRANSIÇÃO DE MARKOV	353
AVALIAÇÃO DE COMPLEMENTARIDADE ENTRE OS RECURSOS EÓLICO, SOLAR E HÍDRICO PARA A REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA, BRASIL	363
ENERGIAS RENOVÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: IMPACTOS ECONÔMICOS, SOCIAIS E AMBIENTAIS	373
PANORAMA BRASILEIRO SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOMETANO	383
UTILIZAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO PROJETO PÚBLICO DE IRRIGAÇÃO PIRAPORA, EM MINAS GERAIS.....	388
REFORMA DO ETANOL UTILIZANDO CATALISADORES DO TIPO HIDROTALCITA: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO	395

A terrarium setup featuring a glass globe on the left containing a small globe and a plant. To the right, a small green plant with two leaves grows from a mound of dark soil. The background is dark with bokeh light spots.

RESUMOS

RESUMOS



ÁREA TEMÁTICA
Aquecimento Global e Mudanças Climáticas

CAPTURA DE CO₂ USANDO CARVÃO ATIVADO E FUNCIONALIZADO COM MISTURAS DE RESÍDUOS DE BIOMASSAS: UM ESTUDO POR DFT

¹Christiano Bruneli Peres, ¹Leandro Cardoso de Moraes, ²Pedro Miguel Rebelo Resende

¹Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Unesp – Campus Sorocaba/SP ICTS, e-mails: christianoperes21@gmail.com e leandro.cardoso@unesp.br; ²Universidade XXXXX, e-mail: pedroresende@estg.ipvc.pt

Palavras-chave: Captura de CO₂; Carvão ativado; Mudanças climáticas.

Resumo: Com a urgência em frear o aquecimento global e desenvolver tecnologias mais sustentáveis ao meio ambiente, materiais adsorventes como Carvão ativado vem ganhando muita relevância. Esse trabalho objetivou encontrar as melhores condições de adsorção de CO₂ em carvão ativado e funcionalizado de mistura de biomassas. A amostra CA1 foi a que apresentou melhores condições de captura de CO₂ (1.11 mmol/g).

Introdução

Devido ao crescimento exponencial da população mundial, as emissões de gases de efeito estufa (GEE) representam uma ameaça para o desenvolvimento sustentável. O dióxido de carbono (CO₂) é um dos principais GEEs e está associado a problemas como aquecimento global, eventos climáticos extremos, destruição ecológica e perda de biodiversidade. A redução das emissões de GEEs e a meta de limitar o aumento da temperatura global têm recebido atenção global. No entanto, lidar com as grandes quantidades de CO₂ emitidas continua sendo um desafio urgente, portanto, tecnologias de captura desse gás vem ganhando muita atenção (Xiao et al., 2022, Peres et al., 2022). Diversas tecnologias de captura de CO₂ têm sido exploradas, como absorção, separação por membranas e adsorção. Os métodos de absorção e separação por membranas apresentam desvantagens significativas, enquanto a adsorção é considerada uma técnica eficaz devido a seu baixo custo, facilidade de operação, alta eficiência e características amigáveis ao meio ambiente. Materiais adsorventes sólidos porosos, como polímeros, zeólitas, COFs, MOFs, sílica mesoporosa e carbono poroso (PCs), têm sido amplamente estudados para a captura de CO₂, sendo os PCs de carbono poroso os mais promissores (Xiao et al., 2022).

O carvão ativado (CA) é um tipo de PCs de grande interesse, caracterizado por poros de tamanho considerável, propriedades térmicas robustas e alta capacidade de adsorção. O CA encontra aplicações na adsorção de gases de efeito estufa, captura de CO₂, sistemas energéticos e tratamento de água. A casca de banana e a casca de maracujá são materiais precursores de CA devido ao seu baixo custo e alta disponibilidade (Ahmed et al., 2019). O Brasil é o maior produtor global de maracujá e ocupa o quarto lugar na produção de banana. A Bahia se destaca na produção de maracujá, enquanto São Paulo e Minas Gerais são os principais produtores de banana. Ambas as frutas possuem alto potencial como precursores de CA (Embrapa, 2019). Para melhorar a eficiência de adsorção de CO₂, são realizadas modificações superficiais nos materiais PCs por meio da funcionalização de carbono. A introdução de heteroátomos, como nitrogênio, aumenta a capacidade de adsorção do CA. A etilenodiamina (EDA) é um composto comumente usados para a funcionalização. Além disso, fatores como temperatura de ativação, taxa de impregnação do agente ativante/biomassa e modo de preparo também influenciam a adsorção de CO₂ (Abuelnoor et al., 2021).

Sendo assim, este trabalho tem por objetivo encontrar a melhor condição para captura de CO₂, considerando as variáveis de temperatura de ativação, taxa de impregnação agente ativante/biomassa e modo de preparo de mistura de biomassa de casca de maracujá e banana adotando o método DFT para fisiossorção de CO₂.

Metodologia

A preparação dos CA funcionalizados das amostras das frutas foi baseada em estudos prévios adaptados (Xiao et al., 2022; Abuelnoor et al., 2021). Os CA foram preparados por meio da mistura (1:1 em proporção de massa) de biomassas (casca de banana (Ba) e maracujá (Ma)) para serem ativados quimicamente e funcionalizados em uma única etapa. As biomassas foram coletadas em mercados locais na cidade de Sorocaba-SP. Inicialmente as amostras foram lavadas para retirada de impurezas e secas para remoção de umidade a 105°C por uma noite. Então para homogeneização das amostras, os materiais foram moídos até se obter partículas reduzidas na faixa de 0.1-0.3 mm. Posteriormente as amostras foram pré-pirolisadas a 450°C por 30 min, produzindo biochar (B). Um único processo de ativação química e funcionalização foi aplicado.

Para testar as variáveis metodológicas na captura de CO₂ (temperatura de ativação, grau de impregnação e modo de preparo), foram preparadas quatro rotas de processos: Rota 1: Rota base, inicialmente, cerca de 2g da mistura de Ba e Ma (Maba) foram misturados mecanicamente com 2g de oxalato de potássio monohidratado (K₂C₂O₄.H₂O) (proporção em massa oxalato de potássio/Maba = 1) e misturados com 2 mL de Etilenodiamina (EDA) (proporção em massa EDA/Maba = 1) em um gral de porcelana por 30 minutos. Posteriormente, a mistura foi levada a forno mufla a 450°C por 30 minutos para carbonização, as amostras resultantes desse processo foram denominadas de CA1. Rota 2: Teste de temperatura, o mesmo procedimento da Rota 1 foi feito, com diferença na temperatura de ativação, que nesse caso, foram consideradas mais duas

temperaturas: 600 e 700°C por 1h, as amostras resultantes desse processo foram denominadas de CA2600 e CA2700. Rota 3: Teste de grau de impregnação, nessa rota o mesmo processo da Rota 1 foi desenvolvido, só que foram analisados dois novos graus de impregnação (3:1 e 5:1 Agente ativante/Maba), as amostras resultantes desse processo foram denominadas de CA33 e CA35 e Rota 4: Teste de modo de preparo, inicialmente foi seguido o mesmo preparo da Rota 1, só que foram testados dois preparos antes da fase de ativação e funcionalização: Teste seco e úmido. No teste seco foi seguido o mesmo preparo da Rota 1, no teste úmido, as amostras Maba e os reagentes (EDA e oxalato de potássio) foram misturados em água, e seguidos os mesmos preparos da Rota 1, as amostras resultantes desse processo foram denominadas de CA4U. Então as amostras resultantes foram lavadas em água ultrapura e tiveram seus pHs corrigidos com HCl (1 M) para serem secas em estufa a 105°C por 24 horas.

A Figura 1 resume o processo de preparação das amostras.

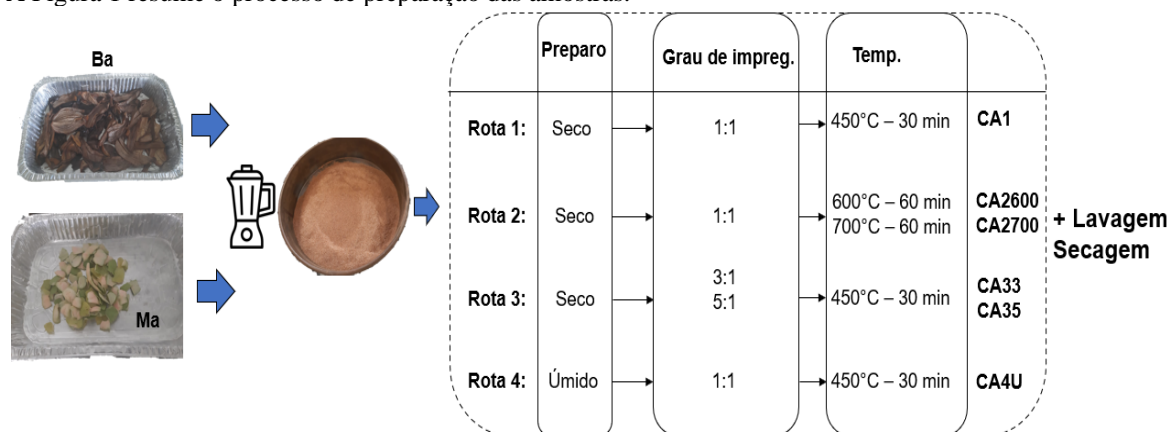


Figura 1: Preparação das amostras de CA funcionalizados.

Fonte: Autoria própria.

Para a sorção de CO₂, foi adotado o método DFT. As amostras foram previamente secas em estufa por 24 horas a 100°C. Posteriormente, foram submetidas a um pré-tratamento a 250°C por 4h sob vácuo, para retirada de toda umidade e espécies adsorvidas da superfície do material. Em seguida, foram caracterizadas através de isotermas de Dióxido de Carbono. As isotermas de fisissorção foram registradas na temperatura de 0°C utilizando o equipamento Nova 2000e da Quantachrome.

Resultados e discussão

A Tabela 1 traz os resultados da fisissorção de CO₂ para as amostras de estudo.

Tabela 1: Resultados da fisissorção de CO₂ via método DFT.

Amostras	Captura de CO ₂ [mmol/g]
CA1	1.11
CA2600	0.66
CA2700	< 0.01
CA33	0.52
CA35	0.82
CA4U	0.76

Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar que a melhor amostra com maior captura de CO₂ foi a CA1, com 1.11 mmol de CO₂ adsorvido por g de CA funcionalizado. Em relação à variação de temperatura (Rota 2), observou-se que o aumento de temperatura para essas condições de amostras, proporciona um decréscimo da captura de CO₂, isso provavelmente se deve a redução de parâmetros texturais como área superficial específica e volume de poro, uma vez que esses parâmetros aumentam até uma certa temperatura limite, e depois decrescem quando essa temperatura limite aumenta. Quan et al. (2022) estudou a influência da temperatura de carbonização em carvão ativado na captura de CO₂ e concluiu que a temperatura de carbonização (ativação) exerce uma grande influência na área superficial específica e no volume de microporo, com o aumento da temperatura de carbonização, a área específica e o volume de microporo aumentam e posteriormente reduzem quando se aumenta novamente a mesma temperatura, em seu trabalho a temperatura de otimização foi de 600°C. Para esse trabalho, como se trata de uma mistura de biomassa, a temperatura de otimização foi de 450°C. A capacidade de adsorção de CO₂ é positivamente correlacionada com as propriedades texturais das amostras, como já citados, a área superficial específica e o volume de microporo (Quan et al., (2022).

Já para a variação do grau de impregnação (Rota 3), percebeu-se que a condição ótima é a taxa 1:1, houve uma redução da adsorção de CO₂ quando foram aumentados os graus de impregnação para 3:1 e 5:1. Isso pode ser explicado conforme aumenta a taxa de impregnação com os agentes ativantes e funcionalizantes, a estrutura dos microporos saturam, e

começam a bloquear o processo de adsorção de CO₂ (Syahirah Mohamed Hatta et al., 2023). Para esse trabalho, os CA das misturas de Maba alcançaram as máximas capacidades de sorção de CO₂ com uma taxa de impregnação de 1:1 (solventes/CA).

Por fim, para a variação do modo de preparo (Rota 4), o modo seco mostrou-se ser superior na captura de CO₂ (1.11 mmol/g) do que o método úmido (0.76 mmol/g). Estudos de Pietrzak et al. (2014) confirmam que o modo de preparo seco é mais eficaz para captura de CO₂, os autores compararam dois tipos de modo de impregnação química e evidenciaram que na mistura a seco, as áreas superficiais aumentaram de 796 m²/g para 932 m²/g.

Conclusão

Os resultados mostraram que as condições ótimas de adsorção de CO₂ (1.11 mmol/g) foram a 450°C por 30 minutos, com a taxa de impregnação 1:1 e modo de preparo seco. O aumento da temperatura proporcionou inicialmente um aumento de área superficial e volume de microporo e depois uma redução dos mesmos, o que leva a uma diminuição da captura de CO₂. Já o aumento do grau de impregnação ocasionou uma redução de captura de CO₂, uma vez que os microporos provavelmente foram obstruídos, e o modo de preparo seco ocasionou um aumento dos parâmetros texturais que levou ao aumento da captura de CO₂.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a FAPESP (processo n° 2021/11104-8) pelo apoio financeiro e pela bolsa de doutorado, a CAPES pelo apoio recebido e a Universidade Unesp-Sorocaba (ICTS) pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

Abuelnoor, N.; Alhajaj, A.; Khaleel, M.; Vega, L.F.; & Abu-Zahra, M.R.; 2021. Activated carbons from biomass-based sources for CO₂ capture applications. *Chemosphere*, 282, 131111.

Ahmed, M.B.; Johir, A.H.; Zhou, J.L.; Ngo, H.H.; Nghiem, L.D.; Richardson, C.; Moni, M.A.; & Bryant, M.R.; 2019. Activated carbon preparation from biomass feedstock: Clean production and carbon dioxide adsorption. *Journal of Cleaner Production*.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2019 | Base de Dados - Mandioca e Fruticultura. Disponível em: http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_xls/brasil/maracuja/maracuja_brasil.htm. Acesso em: 23 maio. 2023.

Peres, C.B.; Resende, P.M.R.; Nunes, L.J.R.; Morais, L.C.d.; 2022. Advances in Carbon Capture and Use (CCU) Technologies: A Comprehensive Review and CO₂ Mitigation Potential Analysis. *Clean Technol.*, 4, 1193–1207.

Pietrzak, R.; Nowicki, P.; Kaźmierczak, J.; Kuszyńska, I.; Gościanska, J.; & Przepiórski, J.; 2014. Comparison of the effects of different chemical activation methods on properties of carbonaceous adsorbents obtained from cherry stones. *Chemical Engineering Research & Design*, 92, 1187-1191.

Quan, C.; Wang, H.; Jia, X.; & Gao, N.; 2021. Effect of carbonization temperature on CO₂ adsorption behavior of activated coal char. *Journal of The Energy Institute*.

Syahirah Mohamed Hatta, N.; Hussin, F.; Ti Gew, L.; & Kheireddine Aroua, M.; 2023. Enhancing surface functionalization of activated carbon using amino acids from natural source for CO₂ capture. *Separation and Purification Technology*.

Xiao, J.; Yuan, X.; Zhang, T.C.; Ouyang, L.; & Yuan, S.; 2022. Nitrogen-doped Porous Carbon for Excellent CO₂ Capture: A Novel Method for Preparation and Performance Evaluation. *Separation and Purification Technology*.

ANÁLISE PRELIMINAR DO IMPACTO DAS MUDANÇAS AMBIENTAIS NOS RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO MAMPITUBA

¹Franciéle Schwanck, ²Pedro Antonio Roehé Reginato, ³Tiago De Vargas

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: schwanck.carlos@ufrgs.br; ²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: pedro.reginato@ufrgs.br; ³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: tiago.devargas@ufrgs.br

Palavras-chave: Mudança ambiental; água; Bacia do Mampituba

Resumo

As mudanças no clima global afetam o ciclo hidrológico, alterando os níveis das águas superficiais e a recarga das águas subterrâneas para os aquíferos com vários outros impactos associados nos ecossistemas naturais e nas atividades humanas. Em situações de estiagem a escassez de água gera uma busca por novas fontes de abastecimento o que possivelmente reflete no aumento dos pontos de coleta de água superficial, bem como no de perfurações de poços. O presente estudo apresenta uma análise preliminar da relação entre precipitação total durante os anos 2016 à 2022 e os pedidos de outorga para uso dos recursos hídricos na Bacia do Rio Mampituba. Durante esse período a bacia passou por quatro períodos de estiagem (2018, 2020, 2021 e 2022) que se correlacionam com o aumento dos pedidos de uso da água para a irrigação.

Introdução

A mudança climática global terá impacto nos ecossistemas, economias e comunidades. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) reconheceu que o uso de águas subterrâneas aumentará como resultado do declínio da disponibilidade de águas superficiais e do aumento do consumo global de água (IPCC, 2022). As mudanças ambientais abrangem mudanças nas características de variáveis climáticas inter-relacionadas no espaço e tempo, e mudanças derivadas de processos terrestres, incluindo atividades humanas que afetam o meio ambiente (Green et al., 2011). As variações no clima afetam os recursos hídricos em todo o mundo. Os impactos potenciais nas águas superficiais, particularmente os padrões e tendências climáticas regionais projetadas são estudados com algum detalhe. No entanto, pouco se sabe sobre como as águas subterrâneas responderão às mudanças climáticas associadas às atividades humanas (Green et al., 2007; Bovolo et al., 2009).

Dados observacionais e previsões climáticas fornecem evidências abundantes de que os recursos de água doce (superficiais e subterrâneos) são vulneráveis e têm o potencial de serem fortemente afetados pelas mudanças climáticas, com amplas consequências para a sociedade e os ecossistemas (Bates et al., 2008). A mudança climática pode ser responsável por aproximadamente 20% dos aumentos projetados na escassez Global de água (Sophocleous, 2004). Assim, há uma necessidade de avaliar e compreender a variabilidade climática a longo prazo para melhor planejar e gerenciar os recursos hídricos no futuro.

O presente estudo apresenta uma análise preliminar da relação entre precipitação total durante os anos 2016 à 2022 (dados de estações meteorológicas e de modelos atmosféricos) e os pedidos de outorga para uso dos recursos hídricos na Bacia do Rio Mampituba. Durante esse período a bacia passou por quatro períodos de seca (2018, 2020, 2021 e 2022) o que reflete no aumento dos pedidos de uso da água.

Área de Estudo

A área de estudo abrange a Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba, essa bacia se divide entre a porção nordeste do Rio Grande do Sul (708,25 km²) e sudeste de Santa Catarina (1.151,83 km²). As coordenadas geográficas limite da bacia são: longitudes -49,40° e -50,19° e latitudes -28,95° e -29,44°. A área total da bacia é de 1.860,08 km² e a população na área é de aproximadamente 45.500 habitantes. O clima na Bacia é classificado como Cfa (temperado úmido sem estação seca, com verão quente) e Cfb (temperado úmido sem estação seca, com verão ameno) segundo a classificação de Köppen. As temperaturas médias mensais estão na faixa entre 15°C e 23°C, e apresentam uma grande variabilidade intra-anual, com os meses de janeiro e julho registrando as maiores e menores temperaturas, respectivamente (Cavalcanti et al., 2009). O regime de chuvas apresenta distribuição regular de precipitação entre as quatro estações do ano (Viana et al., 2009), porém os meses menos chuvosos correspondem a abril, maio e junho, com precipitações próximas a 100 mm. Os meses mais chuvosos correspondem a janeiro e fevereiro, com valores médios de 160 mm (CPRM, 2018).

Metodologia

A realização do presente trabalho contou com levantamento de dados a partir do SIOUT (Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul) para os pedidos de outorga na Bacia no período de interesse, foram coletados dados de quantidade de pedidos, bem como para qual finalidade de uso. Dados de precipitação foram compilados a partir do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) em três estações meteorológicas, duas dentro da bacia (estação de Torres e Cambará do Sul) e uma próxima a área da bacia (estação de Araranguá). Também foram utilizados dados de precipitação de reanálises global do modelo ECMWF ERA5 a partir do *Climate Reanalyzer* (<https://climatereanalyzer.org/>). As correlações foram realizadas com o uso do *Excel*.

Resultados

Durante o período entre 2016 e 2022 a Bacia do Rio Mampituba, bem como o estado do Rio Grande do Sul, passou por quatro períodos de estiagem (2018, 2020, 2021 e 2022) o que refletiu em problemas de abastecimento e/ou racionamento, falta de água para irrigação e aumento dos pedidos de outorga para uso de recursos hídricos (tanto superficial como subterrâneo). A figura 1 mostra a anomalia de precipitação para os anos de 2020, 2021 e 2022 em relação aos anos de 2015, 2016 e 2017 (anos com precipitação considerada normal).

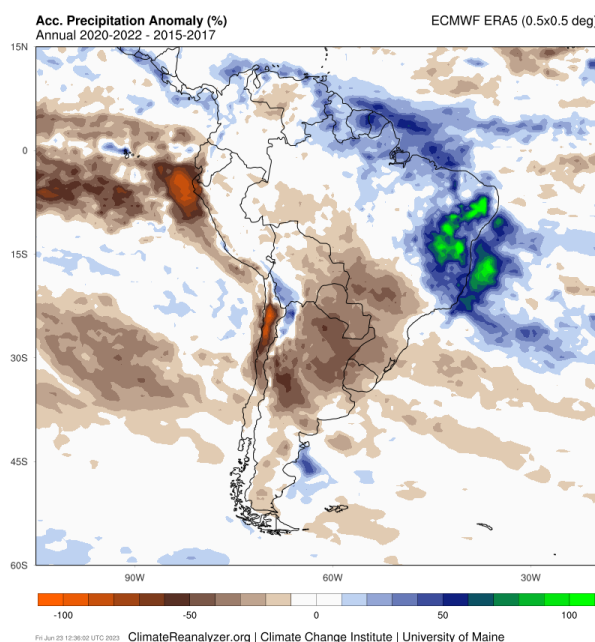


Figura 1: Anomalia de precipitação para os anos de 2020, 2021 e 2022 em relação aos anos de 2015, 2016 e 2017.

A bacia apresentou um aumento nos pedidos de uso de água nos anos associados as estiagens (Figura 2). Em relação ao uso dessa água percebe-se que ocorre um aumento dos pedidos para irrigação nos anos mais secos enquanto nos outros anos os pedidos para desassoreamento de rios são os que prevalecem. Por exemplo, para o ano de 2017, 42,55% dos pedidos foram para desassoreamento de rios enquanto apenas 24,47% foram para irrigação, por outro lado para 2020 (ano conhecido por uma forte estiagem) os pedidos para irrigação chegaram a 34,55% enquanto os pedidos para desassoreamento foram de apenas 23,64%.

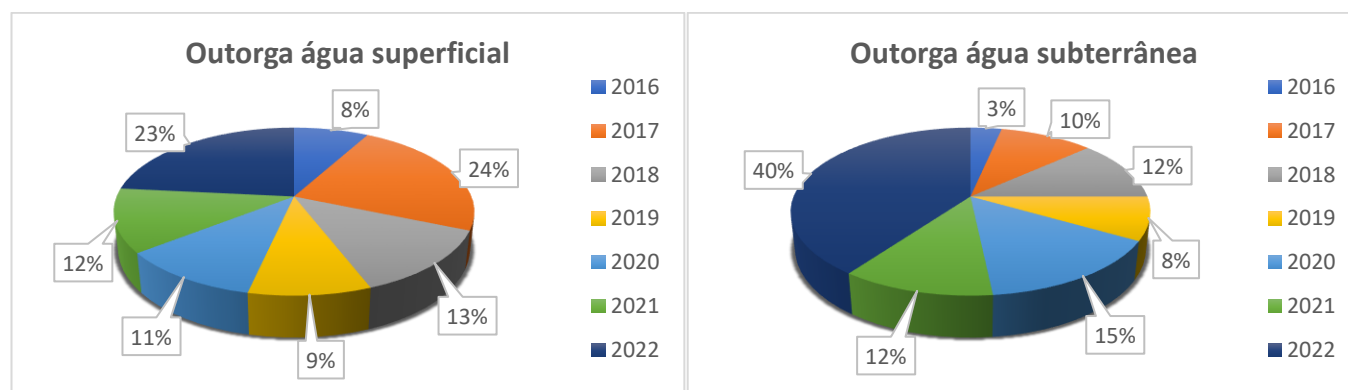


Figura 2: Pedidos de outorga para água superficial e subterrânea por ano para a Bacia do Rio Mampituba.

Fazendo a correlação dos dados de precipitação total das estações meteorológicas disponíveis e dos dados de reanálises global pelos pedidos de outorga é possível observar correlações positivas e negativas significativas (nesse trabalho correlações maiores que 0,4 e menores que -0,4 foram consideradas significativas) (Tabela 1). Na análise desses dados chama a atenção o ano de 2021 onde todas as correlações com as diferentes estações apresentaram relações negativas, indicando um aumento dos pedidos de outorga em face à diminuição da precipitação total (característica de estiagem), estiagem que de fato ocorreu no período. Em 2017 é observada uma correlação positiva entre precipitação e pedidos de outorga, o ano de 2017 é o segundo na série de dados analisados com mais pedidos de outorga (94 pedidos) ficando atrás apenas de 2022 (112 pedidos), o ano também apresenta a maior precipitação total do período, no caso específico deste ano 42,55% dos pedidos estão relacionados a desassoreamento de rios. Para os demais anos são observadas correlações não significativas porém ainda chama

a atenção as correlações negativas para 2018 e 2020 (anos considerados de estiagem), a baixa correlação nestes casos pode estar associada a falta de dados de precipitação para alguns meses da série.

Tabela 1: Correlação dos dados de precipitação total das estações meteorológicas disponíveis e dos dados de reanálises global pelos pedidos de outorga.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
E. Torres	0.139	0.150	-0.089	0.154	0.091	-0.480	0.183
E. Cambará	ND	0.415	-0.052	-0.027	-0.211	-0.412	0.331
E. Araranguá	0.289	0.360	-0.017	-0.074	0.459	-0.565	0.071
Reanálises	-0.083	-0.054	-0.011	0.064	0.093	-0.738	0.377

Conclusão

Quaisquer mudanças nos padrões de precipitação podem afetar os processos e recursos hídricos. As tendências de aquecimento também podem afetar os padrões globais de circulação atmosférica, o que tem implicações diretas para a sustentabilidade dos recursos hídricos. As projeções do IPCC mostram aquecimento global significativo e alterações na frequência e quantidade de precipitação entre o ano de 2000 e 2100, embora os impactos mais perceptíveis destas mudanças possam ser mudanças nos níveis e na qualidade das águas superficiais, existem efeitos potenciais na quantidade e qualidade das águas subterrâneas. No presente trabalho se procurou demonstrar a relação entre períodos de estiagem e o aumento dos pedidos de uso d'água a fim de suprir a demanda existente. Embora se reconheça que um trabalho mais aprofundado, bem como uma série de anos mais longa seja importante para a realização deste tipo de correlação, fica claro com os resultados encontrados que a mudança ambiental já apresenta efeitos na área estudada. Outro ponto problemático nessa análise é a falta de dados de precipitação, uma cobertura melhorada com mais estações de medida pode contribuir com a melhora das correlações, bem como futuras simulações para a área.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, por meio do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015.

Referências Bibliográficas

Bates, B.; Kundzewicz, Z. W.; Wu, S. & Palutikof, J. P. 2008. Climate Change and Water. Technical Paper VI of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat, Geneva, 210 pp.

Bovolo, C. I.; Parkin, G. & Sophocleous, M. 2009. Groundwater resources, climate and vulnerability. Environmental Research Letters, v. 4 (3), 035001.

Cavalcanti, I. F. de A.; Ferreira, N. J.; Dias, M. A. F. da S. & Silva, M. G. A. J. da. 2009. Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos.

CPRM. 2018. Atlas Pluviométrico do Brasil: Equações-Intensidade-Duração-Frequência. Porto Alegre, CPRM.

Green, T. R.; Taniguchi, M. & Kooi, H. 2007. Potential impacts of climate change and human activity on subsurface water resources. Vadose Zone Journal, v. 6 (3), p. 531-532.

Green, T. R.; Taniguchi, M.; Kooi, H.; Gurdak, J. J.; Allen, D. M.; Hiscock, K. M.; Treidel, H. & Aureli, A. 2011. Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. Journal of Hydrology, v. 405, p. 532-560.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

Sophocleous, M. 2004. Climate change: why should water professionals care? Ground Water, v. 42(5), p. 637.

Viana, D. R.; Aquino, F. E. & Muñoz, V. A. 2009. Avaliação de desastres no Rio Grande do Sul associados a complexos convectivos de mesoescala. Sociedade & Natureza, v. 21(2), p. 91-105.

INFERÊNCIA DO MODELO DE PRODUÇÃO DE ALIMENTOS NA PERDA DE BIODIVERSIDADE NO CONTEXTO DA MUDANÇA CLIMÁTICA

¹André Luiz Ramos Lino, ²Lucila Adriani de Almeida Coral, ³Renata Ruaro

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Curitiba, e-mail: andreino@alunos.utfpr.edu.br; ²Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Curitiba, e-mail: lucilacoral@utfpr.edu.br; ³Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Curitiba, e-mail: renataruaro@utfpr.edu.br

Palavras-chave: Perda de biodiversidade; Mudança Climática; Sistema Alimentar;

Resumo

O atual modelo de produção de alimentos tem contribuído para o estado alarmante da mudança climática e perda de biodiversidade, dois grandes desafios da crise ambiental (IPBES & IPCC, 2021). Em particular, a agricultura e a pecuária intensiva atuam como uma das principais atividades antropogênicas que degradam o meio ambiente (BOER & AIKING, 2021), impactando na regulação do clima, na captura de carbono, equilíbrio dos ecossistemas terrestres e aquáticos e consequentemente em toda manutenção da biodiversidade (CAFARO *et al.*, 2022; KASTNER *et al.*, 2021; GÖTMARK *et al.*, 2023; IPCC, 2018). Neste sentido, este trabalho possui como objetivo construir uma análise argumentativa sobre as influências da produção alimentar contemporânea na mudança climática e perda de biodiversidade, com base na literatura científica.

Os modelos econômicos de produção de alimentos no mundo contribuíram para a perda de 83% dos mamíferos terrestres e mais de 50% de todas as plantas, principalmente nos últimos 50 anos (GREN *et al.*, 2016; WEF, 2020a). O relatório “Living Planet” da World Wild Life Fund (WWF – Sigla em Inglês), sobre o estado das populações globais de vertebrados selvagens, mostra que ocorreu um declínio médio de 68% na abundância relativa das populações monitoradas entre 1970 e 2018 em todo mundo, sendo que a abundância média das populações na América Latina apresentou o maior declínio regional do mundo, com índices chegando a 94% no mesmo período (WWF, 2022). De acordo com a lista vermelha de espécies ameaçadas publicada pela International Union for Conservation of Nature (IUCN – Sigla em Inglês), mais de 42.100 espécies estão ameaçadas de extinção, sendo este valor aproximadamente 25% das espécies de todo o mundo já estudadas (IUCN, 2022). Apenas a agricultura está relacionada a perda de cerca de 5400 espécies (MAXWELL *et al.*, 2016). Desta forma, o estado atual negativo da natureza e da biodiversidade pode sofrer severas consequências, como o aumento exponencial das taxas de perdas e de distribuição das espécies e a diminuição na regulação de seus serviços ecossistêmicos (DÍAZ *et al.*, 2019).

O declínio da biodiversidade associado a agricultura é reflexo das práticas adotadas e do aumento da população mundial (GODFRAY *et al.*, 2010). O Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES – Sigla em Inglês), identificou como resultante da superpopulação humana cinco principais atividades de influência para perda da biodiversidade, incluindo as alterações do uso e ocupação do solo e do mar, a superexploração da fauna e da flora, as mudanças climáticas, a poluição e as espécies exóticas invasoras (IPBES, 2019).

A problemática da associação entre a perda de biodiversidade, a mudança climática, e as alterações do uso e ocupação do solo (KAPITZA, 2021; WARREN *et al.*, 2021; NUNEZ & ALKEMADE, 2021), fica evidente ao entender a relação entre o panorama global do aumento populacional, a demanda de alimentos e à temática da segurança alimentar (FAO, 2019), com seus desafios para que todas as pessoas tenham acesso a um comportamento alimentar saudável e um sistema produtivo ecologicamente sustentável (FAO, 2022; MULUNEH, 2021). Estima-se que 750 milhões de pessoas ainda passam fome ou apresentam subnutrição com projeção desse montante chegar a 840 milhões em 2030 (FAO *et al.*, 2021), principalmente em países subdesenvolvidos, destoando-se da realidade em países desenvolvidos, como por exemplo nos Estados Unidos, onde os números de pessoas acima do peso em 2030 podem chegar a quase 50% da população (WARD *et al.*, 2019). Garnett *et al.* (2013) projeta que o crescimento populacional implicará um aumento na produtividade alimentícia entre 60 e 110% até 2050. Como também suas relações com a produção e disponibilidade energética, do acesso e da disponibilidade de água potável (CLIFT *et al.*, 2017) e do consumo de produtos derivados da natureza, sendo uma preocupação alarmante visto o impacto dos modelos de produção em possuírem uma alta dependência da natureza (WEF, 2020b).

O sistema alimentar é uma complexa rede de atividades envolvendo a produção, processamento, transporte, consumo e o descarte de alimentos (FAO, 2022). Convencionalmente, a implementação de um modelo alimentar opera baseados em monoculturas, dependente de grandes extensões de terra e do uso intenso de mecanização, com alto consumo de água doce (70% de toda água doce consumida anualmente) e energia (30% da energia produzida anualmente) (MINISTÉRIO DA SAUDE, 2014; PREISS & SCHNEIDER, 2020).

De acordo com a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO – Sigla em Inglês) a maior contribuição para as emissões de gases do efeito estufa estão associadas ao sistema alimentar contemporâneo, apenas em 2018, foram emitidos cerca 9,3 bilhões de toneladas de CO₂e (FAO, 2020). As emissões associadas ao sistema de produção de

alimentos são responsáveis por cerca de terço das emissões de gases do efeito estufa (GHG's – Sigla em Inglês) provenientes de atividades antrópicas em todo o mundo (Crippa *et al.*; 2021; Tubiello *et al.*, 2021). O relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC – Sigla em Inglês) classificou os potenciais efeitos das emissões de gases do efeito estufa com alto grau de impacto na natureza, na perda de espécies e em sua amplitude geográfica, implicando também mudanças estruturais na biodiversidade e nas sociedades humanas (IPCC, 2022).

Rosenzweig *et al.* (2020) sugerem que as emissões variam cerca de 21% a 37% de GT (Gigatoneladas) de CO₂e por ano contribuindo consideravelmente com as mudanças climáticas, sendo que 66% do total das emissões do sistema alimentar está associado ao setor agropecuário, aquacultura e pesqueiros, 21% ao setor energético, 4% no setor industrial e 9% das emissões associados as perdas e desperdícios. Nos estágios do ciclo de vida do sistema alimentar as emissões são distribuídas em 32% para o uso e cultivo de animais em pastoreio e no manejo da terra pela agricultura, 40% são associados a produção e uso energético, 5% ao transporte, 4% ao processamento do alimento, 4% para o varejo, 3% o consumo e 9% no fim do ciclo (disposição e descarte final). As emissões de GHG's associadas ao sistema agropecuário são altamente nocivas ao clima do planeta, sendo dominadas por óxido nitroso – N₂O - (9-14%) na atmosfera e no solo através da ação microbiana no ciclo do nitrogênio através de fertilizantes nitrogenados não absorvidos pelas plantas (Nitrificação de NH₄⁺ para NO₃⁻, e incompleta desnitrificação de NO₃⁻ até N₂) (COSKUN *et al.*, 2017), pelos processos pecuários (alimentação, estrume, urina e aplicações de fertilizantes nitrogenados), por metano - CH₄ - (32-37%) e gás carbônico – CO₂ - (52%) derivados da ação microbiana no solo, digestão dos animais, cultivos de arroz, decomposição de matéria orgânica, maquinário e transporte, HFC's (hidrofluorcarbonetos) e SF₆ (hexafluoreto de enxofre) (2%), como também outros gases no solo como a amônia (NH₃).

Entretanto, as atividades em todo ciclo produtivo implicam também responsabilidades ao setor por significativa contribuição para as desflorestações e fragmentação de florestas primárias para plantações e pastoreio (HAN & ZHU, 2020), impactos ambientais em todo ciclo biogeoquímico, poluição, acidificação e eutrofização dos ecossistemas aquáticos, como também a perda de nutrientes e da atividade microbiana do solo (YANG *et al.*, 2013). Estudo de Habibullah *et al.*, (2021) sugere que a perda da biodiversidade é mais impactada pela variação climática, especificamente pela variação de temperatura e das taxas de precipitação.

Dessa forma, a apresentação das implicações dos impactos/riscos nos ecossistemas e na biodiversidade representam a necessidade de que políticas públicas sejam baseadas nas evidências científicas com estratégias aplicadas nas diferentes vulnerabilidades dos sistemas naturais e humanos, e que a tomada de decisões seja direcionada para minimização dos impactos provocados pelos sistemas de produção alimentar e recuperação dos danos causados.

Pesquisas científicas recentes sobre a transformação dos sistemas alimentares identificam a necessidade de redirecionar a agricultura e os meios de subsistência rurais para novas trajetórias que reduzam as emissões e a temperatura, sejam resilientes ao clima e implementem soluções baseadas na natureza (GIRARDIN *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2022; ZOUGMORÉ *et al.*, 2021), podendo ser construída a partir do desenvolvimento de tecnologias direcionadas para novas práticas mais eficientes dos sistemas produtivos, aumentando sua capacidade de produção e sua diversificação (PINGALI *et al.*, 2017). Deve-se considerar também os estudos que consideram a utilização de matéria orgânica reciclada na diminuição das perdas, desperdícios, e na demanda energética e aquática, para fomentar uma economia circular mais sustentável baseada no consumo e produção consciente (CODERONI & PERITO, 2020). No nível individual, enquanto consumidor, uma alta qualidade no compartilhamento de informações sobre os conceitos abordados na discussão ambiental e os impactos de determinadas escolhas de consumo, colaborando na criação de um sentimento de empatia pelas pautas pró-ambientais, promovendo a adoção de rotinas e práticas mais sustentáveis.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer à Universidade Tecnológica Federal do Paraná e à organização responsável pelo 7º Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis.

Referências Bibliográficas

Boer, J.; Aiking, H.; 2021. Exploring food consumers' motivations to fight both climate change and biodiversity loss: Combining insights from behavior theory and Eurobarometer data. *Food Quality and Preference*. v. 94.

Cafaro, P.; *et al.*; 2022. Overpopulation is a major cause of biodiversity loss and smaller human populations are necessary to preserve what is left. *Biological Conservation*. v. 272.

Clift, R.; *et al.*; 2017. The Challenges of Applying Planetary Boundaries as a Basis for Strategic Decision-Making in Companies with Global Supply Chains. *Sustainability*, v. 9 (2).

Coderoni, S.; Perito, M.; 2020. Sustainable consumption in the circular economy. An analysis of consumers' purchase intentions for waste-to-value food. *Journal of Cleaner Production*, v. 252.

Coskun, D.; *et al.*; 2017. "Nitrogen transformations in modern agriculture and the role of biological nitrification inhibition." *Nature Plants*, v. 3.

- Crippa, M.; *et al.*; 2021. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food*, v. 2, pp. 198-209.
- Díaz S.; *et al.*; 2019. Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*, v.366 (n° 6471).
- FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations].; 2019. The state of food security and nutrition in the world – safeguarding against economic slowdowns and downturns. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations].; 2020. Emissions due to agriculture. Global, regional and country trends 2000–2018. FAOSTAT Analytical Brief Series, N° 18. Rome.
- FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations] *et Al.*; 2021. The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Rome, FAO.
- FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations].; 2022. The State of Food and Agriculture 2022. Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems. Rome, FAO.
- Garnett, T.; 2013. Food sustainability: problems, perspectives and solutions. *Proceedings of the Nutrition Society*, v. 72(1), pp.29–39.
- Girardin, C.; *et al.*; 2021. Nature-based solutions can help cool the planet – if we act now. *Nature*, v.593, pp. 191-194.
- Godfray H.; *et al.*; 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, v.327, pp. 812-818.
- Götmark, F.; *et al.*; 2021. Discussing population concepts: overpopulation is a necessary word and an inconvenient truth. *Indian Journal of Population and Development*, v. 1, pp. 51-60.
- Gren, IM.; *et al.*; 2016. Economic development, institutions, and biodiversity loss at the global scale. *Regional Environmental Change*, v.16, pp. 445–457.
- Habibullah, S.; *et al.*; 2021. Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, pp. 1073–1086.
- Han, M.; ZHU, B.; 2020. “Changes in soil greenhouse gas fluxes by land use change from primary forest.” *Global Change Biology*, v. 26, pp. 2656–67.
- IPBES [Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services].; 2019. Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES, secretariat.
- IPBES [Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services].; IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change].; 2021. Co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change. Versão 2.
- IPCC.; 2018. Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.*
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change].; 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press.
- IUCN [International Union for Conservation of Nature].; 2022. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-2.
- Kapitza, S., *et al.*; 2021 Assessing biophysical and socio-economic impacts of climate change on regional avian biodiversity. *Scientific Reports*, v. 11.
- Kastner, T.; *et Al.*; 2021. Global agricultural trade and land system sustainability: Implications for ecosystem carbon storage, biodiversity, and human nutrition, *One Earth*, v. 4 (10), pp. 1425-1443.

- Liu, M.; *et al.*; 2022. Integrating Land Use, Ecosystem Service, and Human Well-Being: A Systematic Review. *Sustainability*, vol. 14.
- Maxwell, S.; *et Al.*; 2016. Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature*, v. 536, pp. 143-145.
- Ministério da Saúde. Brasil.; 2014. Guia alimentar para a população brasileira.
- Muluneh, M.G.; 2021. Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective—a review article. *Agriculture & Food Security*, vol. 10 (36).
- Nunez, S.; Alkemade, R.; 2021. Exploring interaction effects from mechanisms between climate and land-use changes and the projected consequences on biodiversity. *Biodiversity Conservation*, v. 30, pp. 3685–3696.
- Pingali, P.; *et al.*; 2017. The bumpy road from food to nutrition security – Slow evolution of India’s food policy. *Global Food Security*, v.15, pp. 77-84.
- Preiss, P.; Schneider, S.; 2020. Sistemas alimentares no século 21: Debate contemporâneos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pp. 11-21.
- Rosenzweig, C.; *et al.*; 2020. Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nature Food*, v. 1, pp. 94-97.
- Tubiello, F; *et al.*; 2021. Greenhouse gas emissions from food systems: building the evidence base. *Environmental Research*,v16.
- Ward, ZJ.; *et al.*; 2019 Projected U.S. State-Level Prevalence of Adult Obesity and Severe Obesity. *New England Journal of Medicine*. v. 381(25) pp. 2440-2450.
- Warren, R.; *et al.*; 2021. Chapter 4 - Climate change and terrestrial biodiversity. *The Impacts of Climate Change*, Elsevier, pp. 85-114.
- WEFa [World Economic Forum].; 2020. Nature Risk Rising: Why the Crisis Engulfing Nature Matters for Business and the Economy. WORLD ECONOMIC FORUM.
- WEFb [World Economic Forum].; 2020. The Global Risks Report 2020. WORLD ECONOMIC FORUM.
- WWF [World Wild Life Fund].; 2022. Relatório Planeta Vivo 2022 – Construindo uma sociedade positiva para a natureza. Almond, R.E.A., Grooten, M., Juffe Bignoli, D. & Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Suíça.
- Yang L.; *et al.*; 2013. “Ecological effects of cow manure compost on soils contaminated by landfill leachate,” *Ecological Indicators*, v. 32, pp. 14-18.
- Zougmore, R.B.; *et al.*; 2021. Transforming Food Systems in Africa under Climate Change Pressure: Role of Climate-Smart Agriculture. *Sustainability 2021*, vol. 13 (8).

INFLUÊNCIA DE FATORES BIOFÍSICOS NA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM UMA CIDADE DE MÉDIO PORTE NO SUL DO BRASIL

¹Rafael Zini Ouriques, ²Rutineia Tassi, ³Waterloo Pereira Filho

¹Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: rafaziniouriques@gmail.com; ²Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: rutineia@ufsm.br; ³Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: waterloo@ufsm.br

Palavras-chave: Clima Urbano; Temperatura de Superfície Terrestre; Google Earth Engine (GEE)

Resumo

As estruturas urbanas são complexas, com a presença de grandes superfícies impermeáveis verticais e horizontais, que alteram os fluxos de ar (maiores estruturas dificultam a circulação dos ventos), absorvem e retêm maiores quantidades de radiação solar (Gartland, 2010; Oke et al., 2017). A reflectância solar, a emissividade térmica e a capacidade de armazenamento de calor com relação às propriedades dos materiais usados em áreas urbanas determinam como a energia é refletida, emitida e absorvida (U.S. Environmental Protection Agency, 2008; Oke et al., 2017), e podem resultar em fenômenos como ilhas de calor urbana. Assim, é necessário explorar alternativas para o enfrentamento dos desafios urbanos, especialmente o problema das altas Temperaturas de Superfície Terrestre (TST). As Soluções baseadas na Natureza (SbN) são estratégias inspiradas, apoiadas ou copiadas da natureza e são importantes para o planejamento urbano, especialmente na mitigação dos efeitos negativos das TST que podem ser agravados pelos impactos das mudanças climáticas (Herzog, 2013; Norton et al., 2015; Dumitru; Wendling, 2021).

Porém, antes de projetar e implementar essas soluções, conhecer a realidade da área de interesse é imprescindível. A utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR), a partir de dados obtidos por sensores a bordo de satélites, é uma das maneiras para atingir esse propósito. Sensores que medem a radiação eletromagnética em diferentes comprimentos de onda (λ) possuem alguns benefícios, como: (i) a disponibilidade de dados temporais (muitas vezes de livre acesso); (ii) a representação da heterogeneidade de superfícies urbanas; (iii) dados da região do infravermelho termal para estimar a TST; dentre outros (Yang, 2011; Oke et al., 2017). Dessa forma, o SR aliado às tecnologias dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) se constituem em ferramentas úteis para monitorar o padrão das TST em diferentes áreas e escalas (Norton et al., 2015; Kemarau; Eboy, 2020).

Isso é importante, pois a TST varia tanto de forma espacial como temporal, e pode ser influenciada pela complexidade das feições da superfície terrestre, principalmente pela urbanização que altera as propriedades físicas e biológicas da paisagem (Oke et al., 2017; Gavsker, 2023). Os fatores biofísicos se referem a indicadores que auxiliam na quantificação da influência humana em um determinado ambiente, a exemplo de áreas de vegetação e as áreas construídas, que são as coberturas do solo amplamente estudadas em pesquisas sobre as TST no meio urbano (Norton et al., 2015; Kemarau; Eboy, 2020; Gavsker, 2023).

Fatores biofísicos referem-se a indicadores que auxiliam na quantificação da influência humana em um determinado ambiente, a exemplo de áreas de vegetação e as áreas construídas, que são as coberturas do solo amplamente estudadas em pesquisas sobre as TST no meio urbano (Khan; Ullah; Chen, 2021; Gavsker, 2023), dentre estes podem ser destacados o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) para quantificar o verde da vegetação (Tucker, 1979; Renard et al., 2019) e o *Normalized Difference Built-Up Index* (NDBI) para identificar áreas de superfícies impermeáveis/construídas (Zha; Gao; Ni, 2003; Renard et al., 2019; Feng; Fan, 2021).

Nesta pesquisa foi investigada a influência de fatores biofísicos na temperatura de superfície em uma cidade de médio porte no Sul do Brasil. O Município de Santa Maria - RS com área territorial aproximada de 1.796,60 km² foi selecionado para o desenvolvimento desse estudo. O clima da região é subtropical do tipo Cfa com estações bem definidas (classificação de Köppen), temperaturas médias do mês mais frio entre 11°C-14°C e do mês mais quente entre 23°C-26°C (Rossato, 2011).

Conforme o Censo de 2022, o Município possui 271.633 pessoas com densidade demográfica de 152,59 hab./km², e está inserida na 9ª posição do cenário estadual (IBGE, 2023). O Distrito Sede de Santa Maria (DSSM), com área aproximada de 134km² e onde está concentrada a maior parte da população do Município, foi o foco da presente pesquisa (Santa Maria, 2018).

A imagem do dia 01/01/2022 do satélite Landsat 9 (L9), sem a presença de nuvens sobre o DSSM, foi selecionada para esse estudo (U.S. Geological Survey, 2022). Dados de temperatura e reflectância de superfície (sensores OLI/TIRS) são fornecidos como produtos científicos (Coleção 2) com resolução espacial de 30m.

A plataforma online de computação baseada em nuvem do *Google Earth Engine* (GEE) foi utilizada para a obtenção dos dados (Gorelick et al., 2017), conversão da TST em graus Celsius (Equação 1), e para a determinação do NDVI (Equação 2) e do NDBI (Equação 3). Todos os índices, equações, referências e demais elementos utilizados estão apresentados na Tabela 1.

Para investigar a influência dos fatores biofísicos na TST foi utilizado o método de Transectos de linha (Khan; Ullah; Chen, 2021; Gavsker, 2023). Assim, dois transectos foram traçados na área de estudo, um da região Norte para a região Sul (TI) e outro da região Oeste para a região Leste (TII), como pode ser visualizado na Figura 1. Para a extração do conjunto de

dados dos transectos, e elaboração dos mapas foi utilizado *software* de código aberto QGIS 3.22.6.

Equações	Bandas (sensores OLI/TIRS)	Referências
$TST = B10 - 273,13^{\circ}C$	(1) B10 = Termal ($\lambda = 10.60-11.19$)	U.S. Geological Survey (2022).
$NDVI = (B5-B4)/(B5+B4)$	(2) B5 = Infravermelho próximo ($\lambda = 0.85-0.88$) B4 = Vermelho ($\lambda = 0.64-0.67$)	Tucker (1979); Renard et al. (2019).
$NDBI = (B6-B5)/(B6+B5)$	(3) B6 = Infravermelho médio ($\lambda = 1.57-1.65$) B5 = Infravermelho próximo ($\lambda = 0.85-0.88$)	Zha; Gao; Ni (2003); Feng; Fan (2021).

Tabela 1: Equações, bandas e referências utilizadas para determinação da TST, NDVI e NDBI com dados Landsat 9.

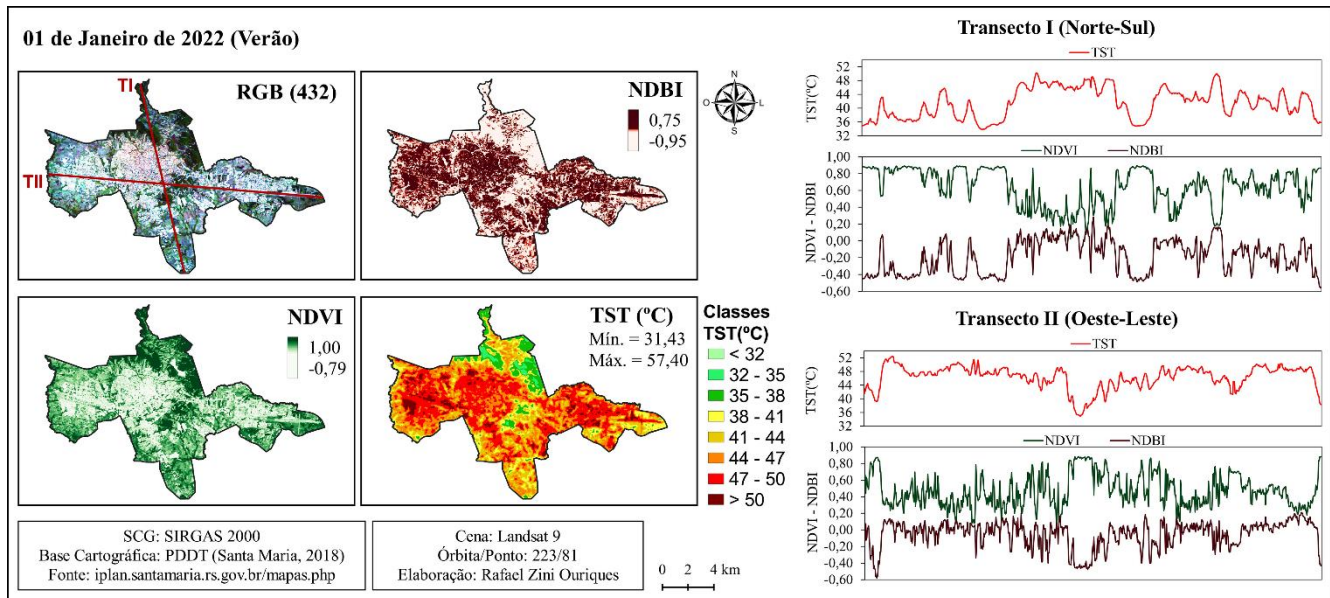


Figura 1: Distribuição espacial da TST e do NDVI e NDBI no sítio urbano de Santa Maria.

Os resultados demonstram que as TST variaram entre 31,43°C-57,40°C, com média de 44,26°C. As classes de TST 44-47°C e 47-50°C estão presentes em mais de 50% da área, principalmente nas regiões Oeste, Centro e Leste. TST acima de 50°C podem ser verificadas em áreas de diferentes tamanhos em todas as regiões. Em torno de 8% do DSSM as TST ficaram abaixo de 38°C, principalmente na região Norte e em algumas áreas isoladas no Centro.

A distribuição espacial do NDVI e do NDBI estão representadas nos mapas da Figura 1, e seus valores variaram de -0,79 a 1,00 (média de 0,55) e o de -0,95 a 0,75 (média de -0,11), respectivamente. Nas regiões Leste, Centro e Oeste tem-se altos NDBI e baixos NDVI, enquanto na região Norte, em pontos do Centro e nas extremidades da área, altos NDVI e baixos NDBI.

Desse modo, foi possível verificar a variabilidade das TST sob os dois fatores biofísicos investigados. Nas áreas com menores TST (classes abaixo de 38°C) obteve-se alto NDVI e baixo NDBI, que indicam maior presença de vegetação (Tucker, 1979; Renard et al., 2019). Nas áreas com TST elevadas obteve-se baixos NDVI e altos NDBI, que indicam a existência de superfícies impermeáveis e áreas construídas, além de solo exposto (Zha; Gao; Ni, 2003; Renard et al., 2019; Feng; Fan, 2021).

As menores TST na região Norte e em partes do Centro, podem ser justificadas pela densa cobertura vegetal (morros de maiores altitudes com remanescentes da Mata Atlântica), que influenciam no efeito de resfriamento natural por sombreamento e evapotranspiração (U.S. Environmental Protection Agency, 2008; Norton et al., 2015; Rio Grande do Sul, 2021). Já, as maiores TST estão diretamente relacionadas às regiões de maior urbanização (Leste, Centro e Oeste), devido a diminuição da cobertura vegetal e o emprego de materiais que alteram as propriedades radiativas, térmicas e de umidade da superfície (Oke, et al., 2017).

Os valores de TST, NDVI e NBI oscilaram ao longo dos transectos aplicados na área de estudo. No gráfico do transecto I, é possível identificar, da esquerda para a direita, que as TST começam baixas, oscilam e apresentam picos elevados, e atingem valores mínimos em um trecho de rápido decréscimo (trecho que passa pela região Norte da área). Na sequência do TI, as TST se elevam e atingem seus valores máximos, apresentam novamente um rápido decréscimo (trecho da região central), voltam a se elevar e seguem com oscilações (trecho da região Sul). Esse padrão também foi observado nos valores de NDBI, enquanto os altos valores de NDVI foram verificados nos trechos onde a TST foi menor.

Em grande parte do transecto II as TST foram mais elevadas do que no TI. Observa-se no gráfico do TII, da esquerda para a direita, que as TST começam baixas (extremo Oeste), aumentam atingindo seus picos (início do trecho na região Oeste) e seguem com pequenas oscilações (sentido Oeste-Centro) até alcançar seus valores mínimos (rápido decréscimo no trecho que passa pela região central). Na sequência, as TST voltam a subir com pequenas oscilações e

apresentam valores mais baixos em dois trechos (região Leste). Conforme destacado na análise do TI, nos trechos do TII com elevadas TST obteve-se baixo NDVI e alto NDBI.

A variação das TST é justificada pelos locais onde os transectos cruzaram. A maior variação da TST e dos índices são observados no TI devido à paisagem ser mais heterogênea que no T2. Em uma paisagem mais heterogênea (presença de diversos elementos físicos), os valores de TST e NDVI mostraram flutuação máxima em direções opostas, principalmente nos locais com maiores manchas de vegetação. O contrário se observa com os valores de TST e NDBI, que mostraram flutuação máxima em direções semelhantes, onde a presença de áreas construídas (superfícies impermeáveis) e solo exposto são maiores.

Com os resultados encontrados foi possível verificar a influência do tipo de cobertura do solo na temperatura de superfície na área de estudo. O desafio das elevadas TST não é uma exclusividade de grandes centros urbanos, como também de cidades de médio porte, conforme observado nesse estudo de caso sobre a área urbana de Santa Maria.

Desse modo, explorar alternativas para o enfrentamento do desafio urbano das altas TST deve ser priorizado, a exemplo das SbN, que além de atuar na TST, fornecem diferentes serviços ecossistêmicos (Herzog, 2013; Dumitru; Wendling, 2021). Contudo, para a concepção e implementação eficaz dessas soluções é crucial a realização de estudos sobre a situação do local de interesse. Nesse contexto, esta pesquisa é considerada uma etapa preliminar para atingir tais propósitos.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Fundação de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Financiamento Código 001, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

Dumitru, A.; Wendling, L. 2021. Evaluating the impact of nature-based solutions: a handbook for practitioners. European Commission EC, p. 1-373.

Feng, S.; Fan, F. 2021. Impervious surface extraction based on different methods from multiple spatial resolution images: a comprehensive comparison. *International Journal of Digital Earth*, p. 1-27.

Gartland, L. 2010. Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. *Oficina de Textos*, 2010. p. 1-248.

Gavsker, K. K. 2023. Urban growth, changing relationship between biophysical factors and surface thermal characteristics: a geospatial analysis of Agra City, India. *Sustainable Cities and Society*, v. 94, p. 104542.

Gorelick, N. et al. 2017. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing Environment*, v. 202, p. 18-27.

Herzog, C. P. 2013. Cidades para todos: (re) aprendendo a conviver com a natureza. Rio de Janeiro, p. 1-311.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Cidades@ - Santa Maria, RS. <https://cidades.ibge.gov.br>.

Kemarau, R. A.; Ebov, O. V. 2020. Urbanization and its impacts to land surface temperature on small medium size city for year 1991, 2011 and 2018: case study Kota Kinabalu. *Journal of Borneo Social Transformation Studies*, v. 6, p. 58-76.

Khan, M. S.; Ullah, S.; Chen, L. 2021. Comparison on land-use/land-Cover indices in explaining land surface temperature variations in the city of Beijing, China. *Land*, v. 10, p. 1018.

Norton, B. A. et al. 2015. Planning for cooler cities: a framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, v. 134, p. 127-138.

Oke, T. R. et al. 2017. *Urban Climates*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 1-519.

Renard, F. et al. 2019. Evaluation of the effect of urban redevelopment on surface urban heat islands. *Remote Sensing*, p. 1-31.

Rio Grande do Sul. Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 1-205.

Rossato, M. S. 2011. Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 1-240.

Santa Maria. 2018. Lei complementar nº 118, de 26 de julho de 2018. Santa Maria, p.1-36.

Tucker, C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v. 8, p. 127-150.

U.S. Environmental Protection Agency. 2008. *Reducing urban heat islands: compendium of strategies*. Washington. (<https://www.epa.gov/heatislands/heat-island-compendium>)

U.S. Geological Survey. 2023. *Landsat Collection 2 Level-2 Science Products*. (<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-2-science-products>)

Yang, X. (Ed.). 2011. *Urban remote sensing: monitoring, synthesis and modeling in the urban environment*. Oxford: Wiley-Blackwell, p. 1-388.

Zha, Y.; Gao, J.; Ni, S. 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International journal of remote sensing*, v. 24, p. 583-594.

RESUMOS



ÁREA TEMÁTICA
Bacias Hidrográficas e Gestão de Recursos Naturais

SERVIÇOS AMBIENTAIS HÍDRICOS: RESILIÊNCIA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS IMPACTADAS PELO ROMPIMENTO DE BARRAGENS EM MINAS GERAIS, BRASIL

¹Alisson Prieto Souza Duarte, ²José Augusto Costa Gonçalves, ³Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes

¹Universidade Federal de Itajubá, e-mail: alissonpsd@yahoo.com.br; ²Universidade Federal de Itajubá, e-mail: jaucosta@unifei.edu.br; ³Universidade do Minho, Portugal, e-mail: imantunes@uct.unimho.pt

Palavras-chave: Águas Subterrâneas; Barragem de Rejeito; Serviços Ecosistêmicos.

Resumo

Em virtude de sua localização, as águas subterrâneas são mais protegidas e são de grande valor por estocar e regular diversos serviços ecossistêmicos. Muitos dos sistemas de águas subterrâneas atuam como filtros e atenuantes de poluentes, especialmente os contaminantes microbianos. As águas subterrâneas executam serviços essenciais ainda sem valoração tais como: produção, transporte, estratégico, filtro, energético, armazenamento, regularização e perenização dos deflúvios superficiais. No entanto, devido a suas características físicas e geográficas, ela ainda não possui um papel de destaque na governança ambiental local/regional. Este trabalho objetiva avaliar e analisar o processo de resiliência dos recursos hídricos pós-rompimento da barragem, a partir do diagnóstico dos parâmetros de qualidade das águas na bacia do rio Paraopeba, em Minas Gerais, em especial nas regiões diretamente atingidas pelos rejeitos da barragem. Para a execução da pesquisa, realizou-se a integração dos dados de monitoramento da qualidade das águas do rio Paraopeba, fornecidos pelo IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas), após o rompimento da barragem, visando estabelecer critérios para mensurar os serviços ecossistêmicos prestados pelos compartimentos territoriais das bacias hidrográficas como: zona de recarga e descarga dos aquíferos e suas relações com o manejo e as formas de uso e ocupação do meio físico, deposição inadequada de resíduos, implantação de obras hidráulicas nos rios e controle de enchentes. Nesta bacia impactada pelo desastre ambiental, o território recebe uma boa quantidade de chuvas (em média 1400 mm/ano) e as interações entre o clima e as condições hidrogeológicas condicionam os processos de recarga, da estocagem, do escoamento subterrâneo e da manutenção do nível de base, influenciando a qualidade das águas subterrâneas.

A hidrogeologia local abrange seis domínios hidrogeológicos, sendo eles: Sistema Aquífero Embasamento Cristalino; Sistema Aquífero Poroso/Fissural; Sistema Aquífero Cárstico (carbonatos/Metacarbonatos); Sistema Aquífero Formações Cenozóicas; Sistema Aquífero Metassedimentos/metavulcânicas; Sistema Aquífero Vulcânicas (Figura 1).

Em termos da disponibilidade hídrica subterrânea dos sistemas aquíferos, deve-se abordar a estimativa da parcela da chuva que se infiltra no solo, denominada RPD (Recarga Potencial Direta), e sua parcela que pode ser utilizada de forma a não interferir nas vazões mínimas ecológicas e de referência para solicitações de outorga, denominada como RPE (Reserva Potencial Explotável) (CRPM, 2018).

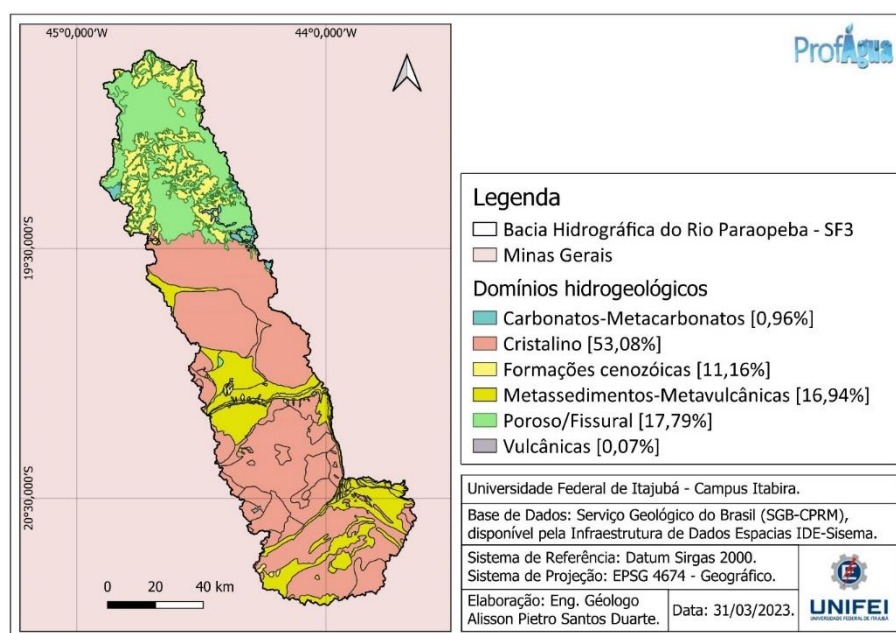


Figura 1: Domínios Hidrogeológicos da Bacia do Rio Paraopeba.

Conclusão

Em uma perspectiva ecológica, os aquíferos devem ser reconhecidos pelas funções desempenhadas pelas águas subterrâneas e suas interações com os ecossistemas na prestação de serviços ecossistêmicos. Numa bacia hidrográfica os serviços ecossistêmicos são aqueles prestados pelos ecossistemas propiciando a sustentação das condições do ciclo hidrológico. Desta forma, as águas subterrâneas desempenham papel fundamental na manutenção de ecossistemas resilientes e na provisão de serviços ecossistêmicos essenciais para a humanidade.

Os rejeitos da barragem depositados na calha do rio Paraopeba continuam constituindo-se um risco potencial à qualidade das águas e representando um dos principais agentes responsáveis pelo retardo da resiliência das áreas atingidas.

O arcabouço geológico da bacia contribui para o retardo da resiliência, uma vez que elementos químicos são carreados para os cursos d'água a partir de sedimentos, especialmente no período chuvoso. Diante dos estudos apresentados, esta hipótese se mostra válida, especialmente sobre os elementos químicos Alumínio, Ferro e Manganês, os quais ocorrem naturalmente nas fórmulas químicas dos minerais que compõem as rochas pertencentes a diversas unidades geológicas mapeadas na área de estudo.

Existem também a possibilidade de as cargas poluidoras provenientes de atividades antrópicas representarem risco à contaminação dos recursos hídricos no rio Paraopeba, com possível retardo do processo de resiliência, também se mostra pertinente, uma vez que a origem do Chumbo total, Cobre dissolvido e Mercúrio total não foi diretamente associada à origem geogênica. Além destes elementos, há indícios de outros elementos químicos e biológicos oriundos de cargas poluidoras comprometerem a qualidade das águas no rio Paraopeba, porém recomendam-se mais estudos para que sejam estabelecidas as fontes pontuais e não pontuais de contribuição a esta poluição.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

CRPM. SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br>>. Acesso em: março de 2023.

RESUMOS



ÁREA TEMÁTICA
Educação Ambiental

A EDUCAÇÃO AMBIENTAL NAS ESCOLAS PÚBLICAS DA REGIÃO DO SERIDÓ POTIGUAR

¹Sebastião Carlos Derick, ²George do Nascimento Ribeiro, ³Maria Dapaz Pereira do Patrocínio, ⁴Matheus Ferreira de Medeiros.

1Universidade Federal de Campina Grande, e-mail: sebastião.carlos@estudante.ufcg.edu.br; 2Universidade Federal de Campina Grande, e-mail: george.nascimento@professor.ufcg.edu.br; 3Universidade Estadual da Paraíba, e-mail: mdapa13@gmail.com; 4Universidade Estácio de Sá, e-mail: matheusengflorl@gmail.com

Palavras-chave: Educação Básica; Meio Ambiente; Sustentabilidade.

Resumo

A promoção da educação ambiental em todos os níveis de ensino é uma das formas estabelecidas pelo art. 225 da Constituição Federal (BRASIL, 1988), para efetivar o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, em razão da sua essencialidade a uma sadia qualidade de vida. Por ser considerado, pela própria constituição, bem de uso comum do povo, impôs ao Poder Público e a toda a coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo, para as presentes e futuras gerações. Nesse contexto, a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA) por meio da Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, entende, por Educação Ambiental (EA), os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade, estabelecendo-a como um componente da educação nacional que, de forma articulada, deve estar presente em todos os níveis e modalidades da educação formal e não-formal. A EA tem como objetivo, conscientizar todos os cidadãos que os problemas ambientais fazem parte de suas vidas e que só podem ser resolvidos com sua participação ativa, possibilitando o desenvolvimento de atitudes para o exercício da cidadania e promovendo a conscientização e o envolvimento das pessoas com atividades em defesa da sustentabilidade do nosso planeta (OLIVEIRA e NEIMAN, 2020).

Muito embora a norma esculpida na Lei que criou a PNEA se mostrasse suficiente para introduzir a EA no ensino formal, tal iniciativa só foi inserida, no ambiente escolar, com a aprovação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) no final de 1990, com o "Tema Transversal Meio Ambiente". Em 2012, o Conselho Federal de Educação por meio do Parecer CNE/CP nº 14 de 06 de junho de 2012 aprovou as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental (DCNEA) que deu origem a Resolução CNE/CP nº 02 de 15 de junho de 2012, estabelecendo as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental. A Resolução nº 02/2012 do Conselho Nacional da Educação, considerou, dentre outros "O reconhecimento do papel transformador e emancipatório da Educação Ambiental torna-se cada vez mais visível diante do atual contexto nacional e mundial em que a preocupação com as mudanças climáticas, a degradação da natureza, a redução da biodiversidade, os riscos socioambientais locais e globais, as necessidades planetárias evidencia-se na prática social,"

Para a Resolução CNE/CP nº 02/2012, a EA deve estar presente nos currículos de toda as disciplinas, não sendo necessária a criação de uma disciplina específica, devendo ser, em razão do seu caráter transversal, integrada, contínua e permanente com toda as outras disciplinas e atividades escolares de todos os níveis educacionais. É enfatizada a interdisciplinaridade e a construção de uma "cidadania ambiental". Trata-se de um documento amplo que foi criado para auxiliar e Instituições de Ensino a abordarem adequadamente a Educação Ambiental (OLIVEIRA e NEIMAN, 2020).

Posteriormente, mais precisamente a partir de 2017, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), foram substituídos por um novo documento denominado de Base Nacional Comum Curricular (BNCC), cuja versão final para a Educação Infantil e Ensino Fundamental, não contemplou de forma explícita, a educação ambiental, se limitando, tão somente, a deixar para os sistemas de ensino e as escolas, em razão de suas autonomias, incorporar aos currículos e às propostas pedagógicas a abordagem de temas contemporâneos que afetam a vida humana em escala local, regional e global, preferencialmente de forma transversal e integradora, destacando entre os temas sugeridos, Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999, Parecer CNE/CP nº 14/2012 e Resolução CNE/CP nº 2/2012).

O objeto do presente trabalho foi de entender a atual situação da Educação Ambiental nas escolas públicas da Região do Seridó Potiguar em razão dos graves problemas ambientais que afetam a região formada por 24 (vinte e quatro) municípios, localizada no interior do Estado do Rio Grande do Norte e encontra-se totalmente inserida na Bacia Hidrográfica região semiárida do Nordeste, além de ser caracterizada por seu clima árido e pela imprevisibilidade de chuvas o que acarreta deficiência hídrica. O Seridó Potiguar também se caracteriza por estar localizado em uma área importante de desertificação no Brasil. No Estado do RN compete ao IDEMA (Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente), por meio da Subcoordenadoria de Planejamento e Educação Ambiental, discutir, planejar e executar planos, programas e projetos de Educação Ambiental, em parceria com instituições governamentais em níveis federal, estadual, municipal, instituições de ensino e pesquisa, movimentos sociais e demais segmentos da sociedade, que atuam nas áreas de educação e meio ambiente (RIO GRANDE DO NORTE, 2008).

A partir dessa informação, iniciamos uma pesquisa nos 24 (vinte quatro) municípios onde foram selecionadas 65 (sessenta e cinco) escolas para aplicação de um questionário sobre educação ambiental. Das escolas entrevistadas, quando indagadas se promovem Educação Ambiental, 100% responderam positivamente, sendo que 41,5% responderam que somente em datas específicas, como semana do meio ambiente. Já quando a pergunta foi se os professores recebem formação em educação ambiental, 53,8% responderam que sim. Quando perguntadas sobre o conhecimento dos diretores, coordenadores e professores acerca da Política Nacional de Educação Ambiental, 47,7% responderam que sim. Quando perguntadas sobre projetos pedagógicos específicos que contemplam a educação ambiental, 72,3% das escolas afirmaram que tinham projetos dessa natureza.

Especificamente sobre projetos de educação ambiental, a Escola Municipal Francisco Quinino de Medeiros, juntamente com a secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Município de Ipueira desenvolve uma disciplina chamada de Educação Ambiental, inspirada nas diversas ações de educação ambiental realizadas pela escola no ano de 2022, como por exemplo a Gincana da Sustentabilidade 2022, que recolheu pilhas e baterias usadas, para, em seguida, encaminhá-las para um ponto de coleta que fica na cidade de Caicó RN.

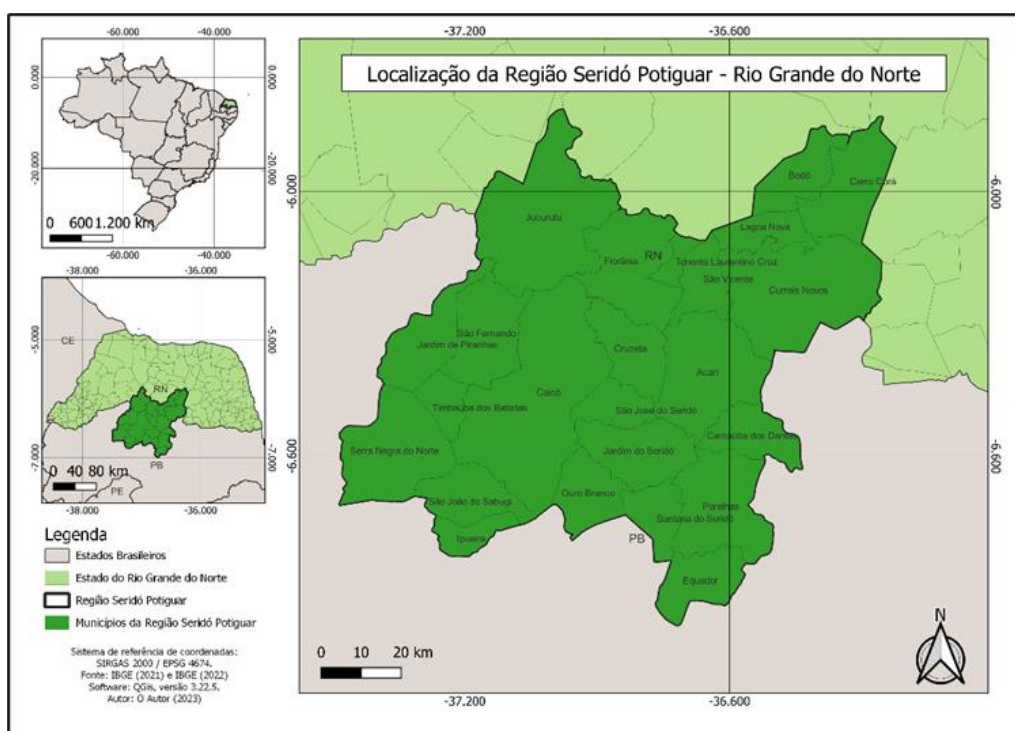


Figura 1: Localização da Região do Seridó Potiguar: Adaptado Autor (2023).

As escolas públicas da Região do Seridó Potiguar têm sido, pelo que se constatou, protagonista, mesmo que de forma indireta na preservação do meio ambiente. É de fundamental importância que o IDEMA RN, como responsável por implementar a educação ambiental nas escolas do Rio Grande do Norte, promova ações pedagógicas mais efetivas de modo a tornar a educação ambiental uma importante ferramenta de discussão sobre o meio ambiente, despertando nos alunos uma consciência ambiental que se fortaleça a cada etapa do conhecimento, em especial nos temas ambientais mais caros à população do semiárido que são os recursos hídricos e o seu consumo consciente.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

BRASIL, Constituição (1988). Lex: Constituição da República Federativa do Brasil, de 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 29 de maio de 2023.

_____, Ministério da Educação. Política Nacional de Educação Ambiental. Lei 9597/99, 1999, Acesso em: 29 de maio de 2023.

_____, Lei n° 9795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a Educação Ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9795.htm>. Acesso em: 29 de maio de 2023.

Oliveira, L. de, & Neiman, Z. (2020). Educação Ambiental no Âmbito Escolar: Análise do Processo de Elaboração e Aprovação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). *Revista Brasileira De Educação Ambiental (RevBEA)*, 15(3), 36–52. <https://doi.org/10.34024/revbea.2020.v15.10474>.

Oliveira, A. N. de, Domingos, F. de O., & Colasante, T. (2020). Reflexões sobre as práticas de Educação Ambiental em espaços de educação formal, não-formal e informal. *Revista Brasileira De Educação Ambiental (RevBEA)*, 15(7), 9–19. <https://doi.org/10.34024/revbea.2020.v15.10064>.

ESTUDO DE APLICABILIDADE DOS PRINCÍPIOS ESG EM OBRA DE SANEAMENTO NO INTERIOR DO CEARÁ

¹Andrêza Leite de Araújo, ²Julia Mendes de Lima ³Giselly Batista Landim Dantas, ⁴Adriana Alves de Lima, ⁵Paulo da Costa Medeiros

¹Universidade Federal de Campina Grande-UFCCG, e-mail: alaraujocivil@gmail.com; ²Universidade Federal de Campina Grande, e-mail: julia.lima@estudante.ufcg.edu.br; ³Universidade Federal de Campina Grande, e-mail: giselly.batista@estudante.ufcg.edu.br; ⁴Universidade Federal de Campina Grande-UFCCG, e-mail: adriana.lima@estudante.ufcg.edu.br; ⁵Universidade Federal de Campina Grande-UFCCG, e-mail: paulo.costa@professor.ufcg.edu.br

Palavras-chave: Sustentabilidade; Gestão; Governança

Resumo

ESG é o acrônimo de Environmental, Social and Governance, numa tradução literal, diz respeito às questões ambientais, sociais e de governança, cada vez mais evidentes no mundo dos negócios. A área objeto da pesquisa refere-se a uma obra de implantação de sistema de esgoto, drenagem e mobilidade localizado no município de Iguatu, região do Sertão-Central do Estado do Ceará. É notória a eficiência das práticas ESG e do ganho para a sociedade e meio ambiente com a sua aplicação, especialmente por incorporar diretamente essas vertentes da sustentabilidade permeando pelos objetivos do desenvolvimento sustentável. Para realização da análise foi necessária a elaboração de um checklist com alguns critérios mínimos para a aplicabilidade do ESG na empresa que está executando a obra. Diante das abordagens ESG e do checklist elencado para este estudo alguns pontos foram prontamente observados no que diz respeito aplicação de melhoras práticas ambientais, sociais e administrativas, no que diz respeito às respostas positivas, a maior parte das medidas adotadas pela empresa estudada são exigidas por lei. Desta forma, entende-se que a ação dos poderes executivos e legislativos são fundamentais na difusão desse cenário e aplicação eficiente dessas diretrizes.

Introdução

O significado de ESG (Environmental, Social and Governance) perpassa mais que a governança, pois incorpora o conceito de desenvolvimento sustentável que integra desenvolvimento econômico, proteção ambiental e justiça social (WAN et al, 2023), bem destacado no ODS 12, assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis (ONU, 2015). Seu objetivo é trazer à tona diretrizes e recomendações sobre como incluir fatores ambientais, sociais e aspectos de governança no mercado como um todo, desde os investimentos até suas operações. Trata-se de um termo consolidado referente ao impacto de um determinado negócio na sociedade e no meio ambiente, sendo dependente de uma governança robusta e transparente incorporando-se à identificação, avaliação e gestão dos riscos e oportunidades relacionados à sustentabilidade envolvendo as partes interessadas e ao meio ambiente. (OLIVEIRA e GEBREYES, 2022; SAYGILI et al., 2022).

Essa estrutura é usada com o intuito de avaliar a sustentabilidade e o impacto ético de investimentos e negócios. Cada componente do ESG representa um aspecto diferente das operações de uma empresa. Tudo isso para que o setor corporativo não precise mais escolher entre construir um mundo mais sustentável ou ter bons resultados financeiros. As boas práticas ESG, ou seja, governança, responsabilidade social e cuidado com o meio ambiente, são hoje fatores que contribuem para o resultado das empresas.

A implementação e um bom monitoramento das atividades relacionadas ao ESG garante a coexistência da natureza com todas e quaisquer áreas da Empresa em questão. Há muitas maneiras de reduzir os efeitos negativos da ação humana sob o meio ambiente e maximizar os positivos. As boas práticas ESG aplicadas no meio industrial ajudam a mitigar esses impactos e a gerenciar segurança e consciência da água, um benefício precioso, fundamental e finito.

Entre os setores industriais, a construção civil é conhecido por ser um dos maiores contribuintes no impacto ambiental, consumindo aproximadamente 40% do total de recursos naturais extraídos no planeta (JOHN, V. M, 2017). Vale ressaltar que o setor é responsável por 36% das emissões de carbono (IEA, 2021). Segundo Zyght (2021), a implementação efetiva dessas iniciativas do ESG é bastante complexa, pois necessita de recursos financeiros, sem falar na dificuldade de obtenção de dados relevantes. De acordo com a UNESCO, o setor da construção civil consome 21% da água tratada do mundo.

Diante disso, o objetivo dessa pesquisa é analisar a aplicabilidade dos princípios ESG em uma obra de saneamento no interior do Ceará, visando conscientizar os colaboradores e demais envolvidos na busca por mitigar os seus impactos ambientais e sociais.

Materiais e Métodos

Para iniciar o estudo foi realizada uma revisão bibliográfica para delimitar o problema da pesquisa, uma etapa crucial que ajudou na identificação de novas linhas de investigação e evitou abordagens infrutíferas (BRIZOLA et al., 2017).

A pesquisa é de natureza qualitativa, a coleta de dados foi realizada no ambiente em estudo, com observação direta

intensiva para abordagem da problemática, além de levantamento bibliográfico, fotográfico e documental. De acordo com Zanella (2013), a análise documental envolve a investigação de documentos tanto internos quanto externos. Por isso a importância do trabalho in loco é imensurável no que se diz respeito ao acesso das informações e comprovação das mesmas.

Para realização da análise foi necessária a elaboração de um checklist com alguns critérios mínimos para a aplicabilidade do ESG na empresa que está executando a obra. São eles:

1. Controlar emissões de gases do efeito estufa.
2. Investir em eficiência energética e energia limpa
3. Boa gestão dos resíduos e efluentes (Redução da poluição dos recursos hídricos)
4. Garantia de políticas voltadas aos direitos humanos dentro da corporação
5. Investimentos por parte da empresa em projetos destinados à comunidade (Destinar fundos a programas sociais ou ONGs)
6. Garantir um ambiente de trabalho seguro e saudável para os colaboradores
7. Ter políticas de inclusão e diversidade nos processos seletivos.
8. Garantir uma gestão livre de corrupção com políticas de transparência e integridade em seus contratos.

O objeto da pesquisa é uma obra de implantação de esgoto, drenagem e mobilidade no município de Iguatu, situado na região do Sertão-Central do Estado do Ceará, conforme a Figura 01.



Figura 01: Localização da obra. Fonte: Google Maps (2023).

Após o confronto das informações obtidas in loco e análise documental foi possível responder o checklist de ações balizadoras e aplicação de melhoras práticas ambientais, sociais e administrativas.

Resultados e Discussão

Diante das abordagens ESG e do checklist elencado para este estudo alguns pontos foram prontamente observados. Para o controle de emissões de gases causadores do efeito estufa, a empresa busca realizar a aquisição e locação de equipamentos que sejam compatíveis com o agente redutor essencial ARLA 32 (Agente Redutor Líquido Automotivo) com esse agente é possível evitar até 98% das emissões de óxido de nitrogênio para a atmosfera.

Como prática de boa gestão dos resíduos e efluentes, a empresa realiza a coleta seletiva de resíduos sólidos, além do reuso de materiais, como papel, madeira e aço.

No que diz respeito ao ambiente de trabalho, segurança e saúde dos colaboradores, foi possível observar diversas normas de segurança aplicadas aos serviços praticados, como uso de acessórios e EPI'S (Equipamentos de Segurança Individual) fundamentais para garantir a saúde e a proteção dos trabalhadores.

Em relação às políticas de inclusão e diversidade, a empresa realiza processos seletivos para PCD'S (Pessoas com Deficiência) conforme a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência, Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015.

Para garantir uma gestão com políticas de transparência e integridade em seus contratos, a empresa possui diversos sistemas integrados que compilam as informações dos setores para uma maior transparência nos processos e na gestão de contratos.

Por outro lado, não foram observadas nenhuma medida direta de redução da poluição dos recursos hídricos, ou otimização do uso das águas. Isso mostra que precisa haver uma maior interação e completa inserção do ESG nessa obra, que não é impossível.

Considerações Finais

É notória a eficiência das práticas ESG e do ganho para a sociedade e meio ambiente com a sua aplicação, especialmente por incorporar diretamente essas vertentes da sustentabilidade permeando pelos objetivos do desenvolvimento sustentável, agregando-se neste trabalho a um empreendimento fortemente relacionado aos ODS: 6 – saneamento; e 12 –

produção e de consumo sustentáveis. Destaca-se a partir desta pequena amostra de pesquisa, a participação governamental como sendo fundamental na difusão desse cenário, tendo em vista que, a maior parte das medidas adotadas pela empresa em estudo são exigidas/derivadas de legislação vigente.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Prof.Água, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015 e ao Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, o campus de Sumé da Universidade Federal de Campina Grande, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a lei brasileira de inclusão da pessoa com deficiência (estatuto da pessoa com deficiência). Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/Lei/L13146.htm>. Acesso em: 16 julho 2023.

BRASIL. UNESCO. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2020: água e mudança climática. São Paulo: Wwap, 2020. 12 p.

BRIZOLA, J., & FANTIN, N. (2017). Revisão da Literatura e Revisão Sistemática da Literatura. Revista de Educação do Vale do Arinos - RELVA, 3(2). <https://doi.org/10.30681/relva.v3i2.1738>

CORPORATION, International Finance. Who Cares Wins: connecting financial markets to a changing world. [S.I]: Departamento de Informação Pública das Nações Unidas, 2004. 58 p. Disponível em: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-atifc/publications/publications_report_whocareswins_wci_1319579355342. Acesso em: 20 maio 2023.

FEROLLA, G. RANKING DE SUSTENTABILIDADE DOS ESTADOS. Centro de Liderança Pública. 2022. Disponível em: Ranking-dosEstados_2022_ESGODS_Relatorio-1-2.pdf (clp.org.br). Acesso em: 23 julho 2023.

GEOINOVA. <https://geoinova.com.br/esg/>. Acesso em: 12 julho 2023.

IEA. World Energy Outlook 2021. 2021. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf> Acesso em 23 julho 2023.

IRIGARAY, Hélio Arthur Reis; STOCKER, Fabricio. ESG: novo conceito para velhos problemas. Cadernos Ebape.Br, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 1-4, ago. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1679-395186096>

JOHN, V M. Desafios e oportunidades para a reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil. In: Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto, São Paulo, SP, Brasil, 2017. p. 1241-1255. Acesso em: 04 julho 2023

OLIVEIRA, J. B.; GEBREYES, W.A.. One Health: Connecting environmental, social and corporate governance (ESG) practices for a better world. One Health, v. 15, 2022. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352771422000672#bb0020>.

ONU. Organização das Nações Unidas, Objetivo 12. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis. 2015 Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12>

SAYGILI, E.; SERAFETTIN, A.; BIRKAN, A.O. ESG practices and corporate financial performance: evidence from Borsa Istanbul. Borsa Istanbul Review., 22 (2022), pp. 525-533 Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214845021000752>.

WAN, G.; DAWOD, A. Y.; CHANAIM, S.; RAMASAMY, S. S. Hotspots and trends of environmental, social and governance (ESG) research: a bibliometric analysis, Data Science and Management, Volume 6, Issue 2, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666764923000097>>.

ZANELLA, L. C. H. (2013). Metodologia da pesquisa. 2. ed. reimp. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC. 134 p.

ZYGHT. Barriers to ESG Integration. 2021. Acesso em: 30 julho 2023.

RESUMOS



ÁREA TEMÁTICA
Energias Renováveis

DISCUSSÃO SOBRE ENERGIAS RENOVÁVEIS EM PILAR DE GOIÁS - GO

¹Gustavo Santana de Souza, ²Daniele Rosa da Silva

¹ Universidade Federal de Goiás, e-mail: gustavossouzageo@gmail.com; ² Universidade Federal de Goiás, e-mail: danielerosageo@gmail.com;

Palavras-chave: Energia; Sustentabilidade; Goiás.

Resumo

As fontes de energia são de suma importância para o desenvolvimento das atividades humanas. O desenvolvimento de novas tecnologias no mundo se apresenta de maneira constante, causando a necessidade de se buscar novas alternativas para fontes energéticas.

Fontes de energia limpa, mais conhecidas como energia renovável, se caracterizam por serem provenientes da natureza. Alguns exemplos de fontes limpas são a solar, eólica, geotérmica, energia de ondas, biomassa e a de hidrelétricas, na qual se apresenta como a espinha dorsal do setor de geração de eletricidade brasileira, sendo a principal fonte no Brasil (BONDARIK, PILATTI & HORST, 2018).

Uma das formas mais amplamente utilizadas de energia renovável é a energia solar, que é gerada pela conversão da luz solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas. A energia eólica é gerada a partir do movimento do vento e é transformada em eletricidade por meio de turbinas eólicas. A energia geotérmica é gerada pelo calor da Terra, que é usado para gerar eletricidade ou aquecimento. A biomassa é gerada a partir de resíduos de plantas e animais, como madeira, resíduos agrícolas e dejetos animais, e é utilizada para gerar energia térmica ou elétrica. A energia das ondas, por sua vez, é gerada pelo movimento das ondas do oceano. A energia hidrelétrica é gerada pela energia da água em movimento, que é usada para impulsionar turbinas e produzir eletricidade.

Segundo Bondarik, Pilatti & Horst (2018) as mudanças climáticas e a segurança surgiram como as maiores preocupações do presente século. Uma vez que as fontes energéticas convencionais degradam o meio ambiente, assim comprometendo as dinâmicas sustentáveis para as gerações futuras.

O município de Pilar de Goiás se localiza há 244,9 km da capital Goiânia, faz parte da mesorregião centro goiano no estado de Goiás. O surgimento segundo a prefeitura local é datado no ano de 1736, foi um dos municípios protagonistas no cenário de mineração de ouro, quando a atividade econômica era a principal no estado. A Vila de Papuã como era conhecido o município, tinha uma certa abundância do metal mas os recursos hídricos eram escassos, assim dificultando a mineração, com isso os garimpeiros fizeram promessa a santa Senhora do Pilar, na qual foram 'atendidos' e assim começou a brotar água.

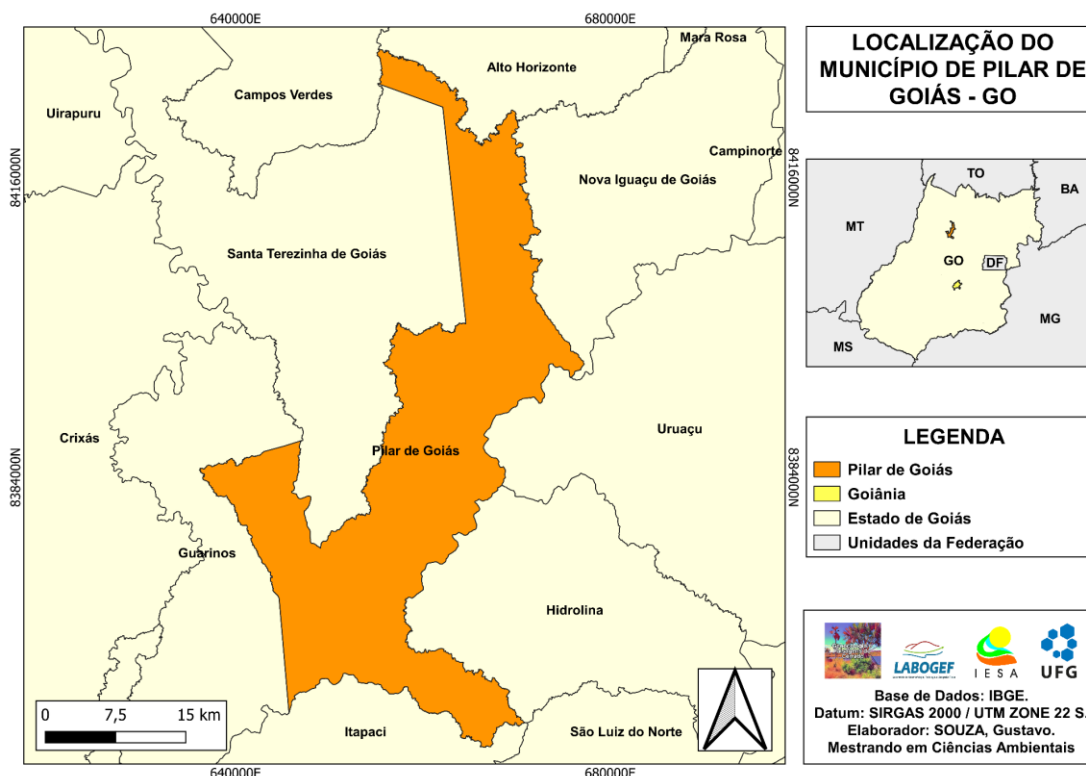


Figura 1: Mapa de localização do município de Pilar de Goiás.

Em relação às energias renováveis, a situação de Pilar de Goiás ainda é incipiente. Embora o estado de Goiás tenha grande potencial para a geração de energia eólica e solar, ainda há poucos investimentos nesse setor na região de Pilar de Goiás. Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 2020 Goiás foi o 7º estado que mais realizou novas instalações de energia solar no Brasil.

Contendo ainda nos dias atuais mineradoras no território de Pilar de Goiás, o desenvolvimento destas atividades econômicas, tende a causar a emissão de gases do efeito estufa, como por exemplo, o gás carbônico. Então há a necessidade de se adotar práticas sustentáveis, uma vez que as energias alternativas causam impactos ambientais menores, evitando a emissão de grandes quantidades de gás carbônico na atmosfera (BERMANN, 2008).

Tratando do segmento industrial responsável pela geração, transmissão e distribuição de eletricidade, o estado de Goiás vem apresentando constantes variações entre aumentos e quedas no seu potencial em geração de energia, entre os anos de 2006 a 2022 (Figuras 2 e 3).

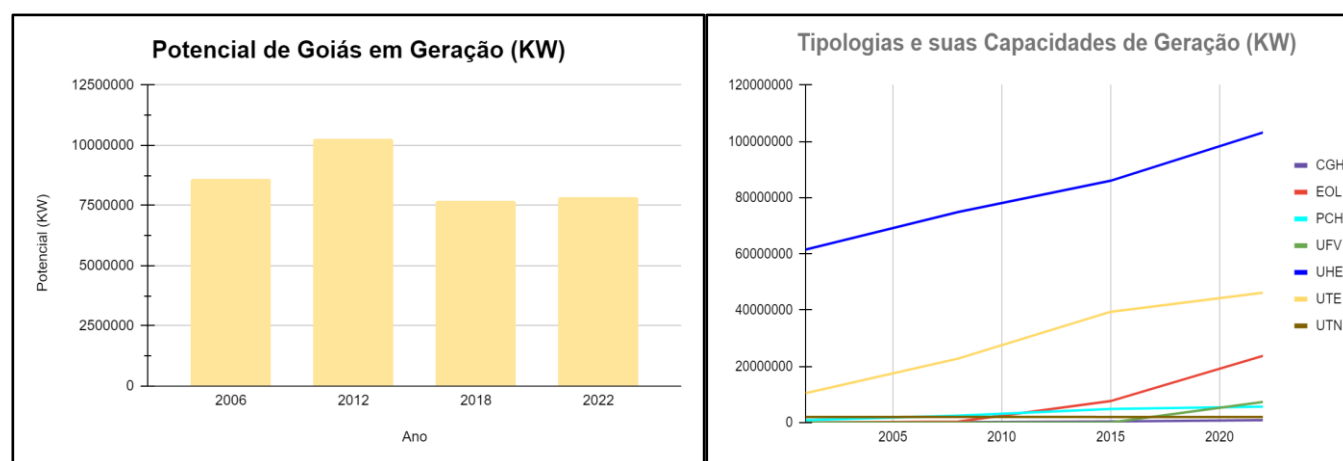


Figura 2 e 3: Gráfico Potencial de Goiás em Geração (KW) e Tipologias e suas capacidades de geração (KW)

Entre os documentos emitidos pela ANEEL referentes aos empreendimentos de geração de energia a partir de 2015, encontram-se os pedidos de outorga datados de 2021 a 2023 referentes às instalações das Talismãs Pilar de Goiás de 1 a 5. As quais, apresentam regime de exploração independente pela Agência Safira *Trading* e Geração de Energia *Ltda*, contando com a presença de sua fonte de combustível a radiação solar, cada estrutura proporcionará a geração de 27,5 MW (Quilowatt).

Segundo o SEBRAE (2020) o estado de Goiás não apresenta potencial de uso de energia eólica, pois a quantidade de ventos que incidem sobre a região é insuficiente para que se atinja viabilidade econômica voltada à produção de energia elétrica, considerando um período de vida útil de 10 anos, ainda o que expõe o órgão, dentre as regiões brasileiras, o Centro-Oeste que apresenta menor potencial elétrico.

Atualmente há o incentivo por parte de instituições financeiras para a geração de energias renováveis, oferecendo linhas de créditos especiais com baixas taxas de juros, podemos citar o Banco BNDES com uma taxa de 1,45% ao ano. Por parte da gerência do estado, o governo de Goiás lançou em 2017, o Programa Goiás Solar, que possui condições especiais de financiamento e de desburocratização.

No Brasil e em mais especificamente no município de Pilar de Goiás, estão sendo realizados esses investimentos e a estruturação para a geração de energia renovável para um futuro próximo visando o desenvolvimento sustentável, assim garantindo o equilíbrio da biodiversidade para as gerações futuras.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, Karla. Demanda por novas instalações aquece setor de energia solar em Goiás. O popular. Disponível em: <https://opopular.com.br/economia/demanda-por-novas-instalac-es-aquece-setor-de-energia-solar-em-goias-1.2259226>. Acesso em: 29 mar. 2023.

BERMANN, Célio. Crise ambiental e as energias renováveis. *Ciência e Cultura*, v. 60, n. 3, p. 20-29, 2008.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). BNDES Finem Energia. Disponível em: [https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-energia#:~:text=1%2C45%25%20ao%20ano%20\(a.a.\),-1&text=gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia%20solar%20atrav%C3%A9s,\(CFI\)%20do%20Sistema%20BNDES](https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-energia#:~:text=1%2C45%25%20ao%20ano%20(a.a.),-1&text=gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia%20solar%20atrav%C3%A9s,(CFI)%20do%20Sistema%20BNDES). Acesso em: 10 abr. 2023.

BONDARIK, R.; PILATTI, L. A., & HORST, D. J. (2018). Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil. *Interciência*, 43(10), 680-688.

BRASIL. Agência Nacional de Energia. Aneel (comp.). **Dicionário de Dados:** dm-atos-de-outorgas-de-geracao.pdf. dm-atos-de-outorgas-de-geracao.pdf. 2022. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/2d8a4c72-ed48-4afc-b4f-cc8f5c499a68/resource/1ee73090-a1cd-4021-941f-897cb5b69b79/download/dm-atos-de-outorgas-de-geracao.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2023.

PREFEITURA DE PILAR DE GOIÁS. História. Disponível em: <https://pilar.go.gov.br/historia/>. Acesso em: 29 mar. 2023.

SEBRAE. **Energias Renováveis Goiás:** o que você sabe sobre esse assunto?. Goiás: Sebrae, 2020. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/go/sebraeaz/energias-renovaveis,6a5820025e91f610VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acesso em: 12 abr. 2023.

A EVOLUÇÃO DA MATRIZ ELÉTRICA NO PIAUÍ DE 2012 A 2022: O DESTAQUE DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

¹Carlos Eduardo Almada Freire, ²Angelo Miguel Martins dos Santos, ³Girleiane Santos de Sá, ⁴Ailton Soares Freire, ⁵Mauro César de Brito Sousa

¹UNIFEI, e-mail: d2021005764@unifei.edu.br; ²IFPI, e-mail: catzs.2020112becv0092@aluno.ifpi.edu.br;

³IFPI, e-mail: catzs.20192eng0344@aluno.ifpi.edu.br; ⁴IFPI, e-mail: ailton.freire@ifpi.edu.br;

⁵IFPI, e-mail: mauro.sousa@ifpi.edu.br

Palavras-chave: Energias renováveis; Piauí; Matriz elétrica

Resumo

Este artigo tem como finalidade realizar um estudo da evolução histórica piauiense quanto à produção de energia através de fontes de energias renováveis. Para isso, foi realizado um levantamento de dados a partir de uma revisão bibliográfica e consulta a dados primários de órgão públicos e privados relacionados a temática. Os dados mostram uma passagem acentuada da geração elétrica de base não renovável, a partir do ano de 2010, para uma geração a base de renováveis, com destaque para a geração hídrica, eólica e solar. A ampliação da capacidade instalada, oriunda de fontes de energias limpas e renováveis pode estar abrindo uma nova frente de industrialização para o estado, a partir da obtenção do hidrogênio verde.

Introdução

A matriz energética representa o conjunto de fontes geradoras utilizadas para suprir a demanda de energia de um país, estado ou região e dentro dessa matriz energética, as fontes utilizadas para produzir energia elétrica, iram compor a matriz elétrica. As fontes não renováveis de geração de energia predominam na matriz energética mundial e de quase todos os países individualmente, e isso segue na construção da matriz elétrica mundial, como pode ser observado na figura 1.

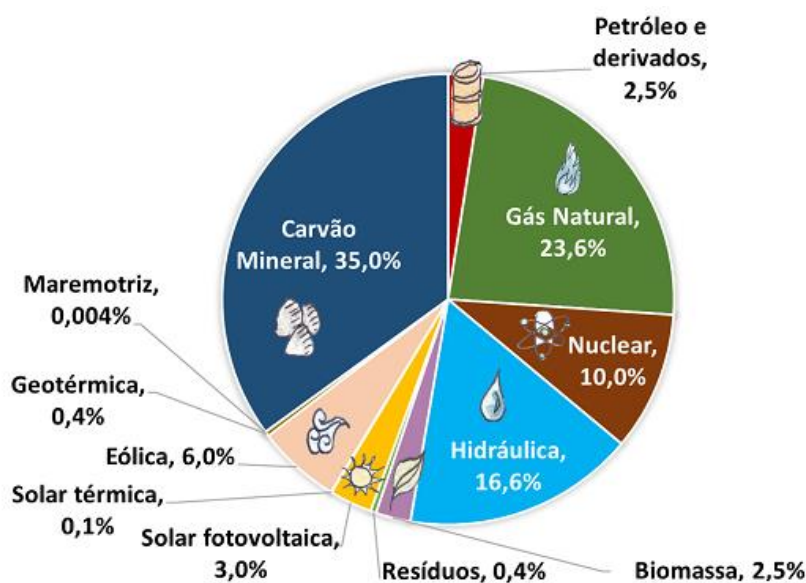


Figura 1: Matriz elétrica mundial (IEA, 2022).

No Brasil, a composição da matriz elétrica é de predominância renovável, composta de 78,10%, tendo esse valor destacado, principalmente, pelo crescimento das energias de fonte eólica, fotovoltaica e biomassa (BEN, 2022). Esse fato pode ser observado na figura 2.

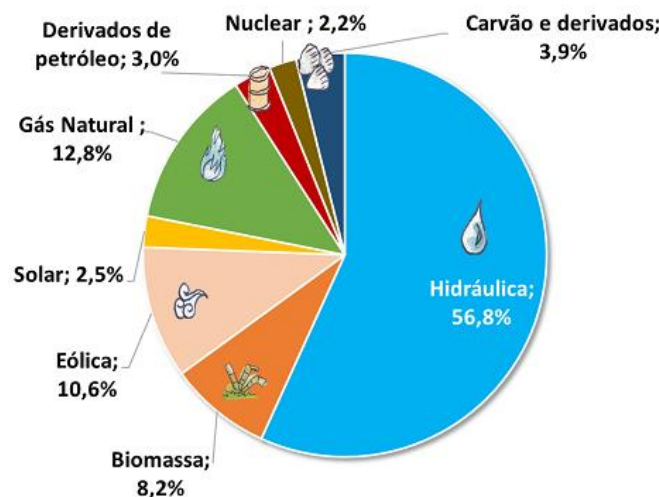


Figura 2: Matriz elétrica brasileira (BEN, 2022).

Ao comparar a matriz elétrica brasileira e mundial, é perceptível uma maior participação das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira, resultado de incentivos e medidas tomadas pelo poder público, capitaneada pela criação da Eletrobrás em 1962. Nessa matriz elétrica o destaque para a fonte eólica e fotovoltaica pode ser justificável a partir da observação de que o Brasil possui uma oscilação baixa de velocidade de vento e a média anual dessa velocidade é duas vezes maior que a média mundial (ABEEólica, 2023), e que a localização geográfica do Brasil propicia maiores índices de radiação solar ao comparar com diversas outras regiões do globo (EPE, 2023).

No Piauí, a energia elétrica utilizada até os anos 70 era gerada através de sistemas térmicos à lenha ou a óleo diesel, isolados uns dos outros. (Magalhães, Soares e Lira, 2016). Em abril de 1970 é inaugurada a Usina Hidrelétrica Marechal Castelo Branco, atualmente denominada de Boa Esperança, localizada no rio Parnaíba, a 380 km ao sul da capital do estado, Teresina, com uma capacidade total instalada de 237 MW. Desde então, a matriz elétrica piauiense torna-se predominantemente de fonte hidráulica, até o início de 2008, com a entrada em operação da Central eólica da pedra do sal, com capacidade instalada de 18 MW, dando início ao processo de mudança na representatividade da fonte de energia da matriz elétrica do estado.

A partir disso, esse artigo apresenta o resultado de um estudo da evolução histórica piauiense quanto à produção de energia através de fontes de energias renováveis.

Materiais e métodos

A metodologia aplicada foi uma revisão bibliográfica, com foco no levantamento de dados e informações necessárias para a análise dos resultados sobre a temática estudada neste trabalho. Na etapa inicial foram consultados, sobretudo os dados públicos e privados disponíveis nos principais portais de dados relacionados ao tema, além de artigos publicados em periódicos e eventos, que foram tratados a partir da estatística descritiva.

Resultados e discussões

Com o levantamento de dados, feito a partir da revisão bibliográfica, foi possível observar uma variação pouco expressiva na matriz elétrica do estado do Piauí entre 1970 e 2010, praticamente sem variação na geração e consumo em todo o estado. A partir de 2010 começa a ser perceptível um incremento na capacidade instalada, e esses dados são apresentados na tabela 1.

FONTE DE ENERGIA	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Hidráulica	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237
Eólica	12	18	88	715	915	1443	1638	1638	2156	2437	3527
Solar	0	0	0	0	0	270	270	466	1074	1203	1432
Térmica	61	61	61	61	70	70	70	70	70	70	70
Outras	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Capacidade instalada (MW)	312	317	386	1014	1223	2021	2216	2412	3538	3949	5267

Tabela 1: Capacidade instalada por fonte de energia: 2012 – 2022.
Fonte: Câmara de comercialização de energia elétrica – CCEE (2023).

Para a construção da tabela 1 o mês de referência para o fechamento dos dados é sempre o mês de dezembro de cada ano. A fonte de energia consideradas térmica é a obtida a partir da queima de um combustível, tais como gás, petróleo, óleo diesel e madeira, tendo esses dois últimos uma representatividade maior nessa geração para esse trabalho.

Com os dados dessa tabela foi construído o gráfico 1, onde é possível visualizar o desempenho das fontes de energia citada no período entre 2012 e 2022.

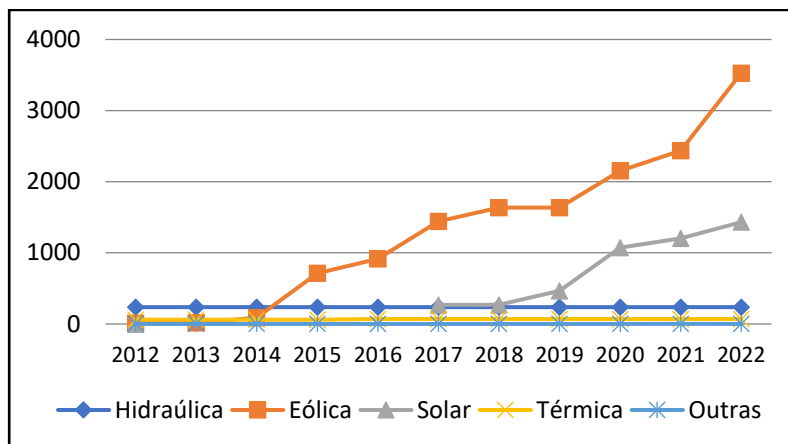


Gráfico1: Capacidade instalada por fonte de energia.

Neste gráfico é possível observar que a energia elétrica de geração hidráulica no Piauí permaneceu praticamente constante durante o período temporal analisado, e esta energia é fornecida pela hidroelétrica de Boa esperança, localizada no rio Parnaíba. Existe um avanço significativo na capacidade instalada no estado a partir do ano de 2015, com destaque para a energia eólica e este fato coincide com a entrada em operação da primeira etapa da usina eólica ventos de santo Onofre, localizada no município de Simões e com a ampliação da capacidade instalada do que Parque eólico complexo Delta na cidade de Parnaíba, colaborando para um maior incremento nesse modo de geração no estado.

A geração a partir da fonte solar, com predominância da fotovoltaica, tem uma participação mais expressiva a partir de 2017, com aumentos significativos a partir do ano de 2019. Desde então, as fontes de energia eólica e solar tem destaque na matriz elétrica piauiense, contribuindo com um aumento de aproximadamente 17 vezes a capacidade instalada, passando de 312MW em 2012 para 5267MW em 2022.

Considerações finais

Este artigo apresentou uma visão geral da evolução da matriz elétrica no estado do Piauí entre os anos de 1970 e 2022, mostrando que até o ano de 2014 a matriz elétrica piauiense tinha um predomínio de fonte hidráulica, representando aproximadamente 75% da matriz, e esse fato já vinha semelhante nos últimos 40 anos.

Durante a revisão bibliográfica para a construção desse trabalho foi constatado que programas como o PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios), instituído em 1994 e o PROINFA (Programa de incentivo a fontes alternativas), criado em 2004, contribuíram para ampliar a geração de energia elétrica a partir de fontes eólicas e solares fotovoltaica em todo o Nordeste.

A ampliação da capacidade instalada de geração de eletricidade oriunda de fontes energias limpas e renováveis, como a eólica e solar, pode também está abrindo uma nova frente de industrialização para o estado, como por exemplo, a partir da obtenção do hidrogênio verde.

Referências Bibliográficas

ABEEólica - Associação Brasileira de Energia Eólica. Com a força dos ventos a gente vai mais longe. São Paulo, 2023. Disponível em <http://www.abeolica.org.br>. Acesso em: 12 maio. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA. Balanço Energético Nacional – BEN, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-interativo>. Acesso em 10 maio, 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA. NOTA TÉCNICA PR 04/18 - Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte2050. 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites/pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/NT04%20PR_RecursoEnergeticos%202050.pdf. Acesso em: 12 maio, 2023.

INTERNATIONAL ELECTRIC AGENCY - IEA, Energy Statistics Data Browser, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics>. Acesso em: 10maio. 2023.

MAGALHÃES, A. L. da C.; SOARES, G. F.; LIRA, M. A. T.; 2016. Evolução histórica do potencial de energia renovável do Piauí, Anais do Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016, pp, 1-5.

RESUMOS



ÁREA TEMÁTICA
Estudos sobre Reservatórios e Lagos

AS CIANOBACTÉRIAS COMO INDICADORES DE QUALIDADE DE ÁGUA EM DOIS RESERVATÓRIOS URBANOS

¹Vinicius de Leles Almagro, ²Marcelo Luiz Martins Pompêo, ³Viviane Moschini-Carlos

¹Instituto de Ciência e Tecnologia - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - campus Sorocaba, e-mail: vinicius.leles@unesp.br; ²Instituto de Biociências - Universidade de São Paulo, e-mail: mpompeo@ib.usp.br;

³Instituto de Ciência e Tecnologia - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - campus Sorocaba, e-mail: viviane.moschini@unesp.br

Palavras-chave: cianobactérias; cianotoxinas; reservatórios urbanos

Resumo

A degradação de corpos hídricos em decorrência de sua eutrofização tem se tornado um fenômeno de cada vez mais preocupação, em especial aqueles destinados a abastecimento público. O aumento de nutrientes nas águas de reservatórios pode ocasionar florações de cianobactérias, que podem atribuir à água características impróprias para consumo, como por exemplo cianotoxinas sintetizadas por algumas espécies de cianobactérias. Reservatórios que já apresentam grau de trofia mais elevado e que são de grande importância para abastecimento, como os reservatórios Jaguari (JG) e Jacaré (JC), integrantes do Sistema Cantareira, requerem especial atenção e monitoramento quanto à sua qualidade e saúde. Levando-se em consideração os potenciais riscos ambientais e de saúde pública, o presente trabalho foi realizado com o intuito de analisar a comunidade fitoplanctônica (biovolume e cianotoxinas) e averiguar suas adequações à legislação vigente. As coletas foram realizadas em três pontos dos reservatórios Jaguari (JG) e Jacaré (JC) durante os meses de junho e novembro de 2022. As concentrações das cianotoxinas mais comuns, saxitoxinas (STX) e microcistinas (MC), foram analisadas com kits Eurofins Abraxis em leitora de microplacas ELISA. A classe mais representativa para ambos os reservatórios foi Cyanobacteria, embora Dinophyceae tenha apresentado maior biovolume durante a estação seca no Jaguari em decorrência de uma floração. Os valores de STX foram mais elevados que os de MC durante o ano em ambos os reservatórios, sendo que as maiores concentrações foram observadas no reservatório Jaguari, atingindo o valor mais elevado das campanhas durante o mês de novembro (0,64 ppb). Apesar dos valores de cianotoxinas estarem de acordo com a legislação nacional e diretrizes da OMS, os valores de biovolume foram elevados para ambos os reservatórios, atingindo valores característicos das Classes II e III da Resolução CONAMA nº 357/05 para água doce. A partir dos dados analisados, é possível que as águas dos reservatórios possam representar um risco à saúde pública.

Introdução

A eutrofização dos corpos hídricos é um fenômeno preocupante devido à proliferação de cianobactérias potencialmente tóxicas, especialmente em corpos dedicados a abastecimento público ou recreação, como reservatórios urbanos e represas (CHORUS & WELKER, 2021).

As cianotoxinas, quando em elevada concentração, podem representar um risco ambiental, devido à sua capacidade de acumulação em organismos aquáticos (FUJIBAYASHI et al., 2021; HAUSER-DAVIS et al., 2015). Em humanos, o risco pode se dar através da ingestão de alimentos irrigados com água contaminada (CORDEIRO-ARAÚJO et al., 2017), usos recreativos ou consumo direto. Um dos casos mais relevantes de intoxicação por cianotoxinas ocorreu em Caruaru, Pernambuco, onde 76 pacientes vieram a óbito devido à contaminação, por microcistinas, de filtros de equipamentos em um centro de hemodiálise da cidade em 1996 (YUAN et al., 2006).

Os reservatórios Jaguari (JG) e Jacaré (JC) são integrantes do Sistema Cantareira, responsável pelo abastecimento de 9 milhões de habitantes da região metropolitana de São Paulo; ambos os reservatórios, integrados ao sistema em 1982, se encontram à montante do mesmo e são seus maiores fornecedores de água, produzindo mais de 20 mil L/s e apresentando o mais longo tempo de residência dentre seus pares, com aproximadamente 368,5 dias (ANA, 2020; POMPÊO & MOSCHINI-CARLOS, 2020).

O entorno desses reservatórios apresenta atividades como pecuária, mineração e olarias, além de centros urbanos e turismo, o qual representa grande risco à paisagem e meio ambiente da região. Não obstante, os reservatórios apresentam estados eutrófico na porção Jaguari e mesotrófico na porção Jacaré, contrastando com os localizados à jusante do sistema Cantareira, caracterizados como oligo a mesotróficos (POMPÊO et al., 2017; 2021). Tais índices de estado trófico e relevância para o abastecimento público tornam importante o monitoramento e acompanhamento da saúde desses reservatórios.

Portanto, o presente trabalho, integrante de um projeto mais amplo, tem por objetivo quantificar o biovolume fitoplanctônico, em especial de membros da classe Cyanobacteria, assim como a concentração de cianotoxinas (microcistinas e saxitoxinas), potencialmente produzidas pelos gêneros mais comumente encontrados nesses reservatórios e avaliá-los quanto aos limites vigentes determinados pela OMS e legislação brasileira.

Metodologia

Foram coletadas amostras de água bruta em duas campanhas (junho e novembro de 2022) em três pontos representativos dos reservatórios Jaguari (JG) e Jacaré (JC). As amostras destinadas às análises de fitoplâncton foram fixadas com solução de lugol acético, enquanto as amostras para análises de cianotoxinas foram armazenadas em frascos de polietileno e congeladas até a data do ensaio.

As análises quantitativas foram realizadas em microscópio binocular invertido Zeiss, modelo AxioVert, equipado com campo escuro e oculares com retículo micrometrado segundo as metodologias de Lund (1958) e Utermöhl (1958). Os cálculos de densidade celular foram realizados conforme a Norma CETESB L5.303 (2012), enquanto o biovolume foi estimado conforme os modelos geométricos propostos por Hillebrand (1999) e Sun & Liu (2003).

Para a quantificação de cianotoxinas, utilizaram-se kits ELISA e ADDA ELISA Eurofins Abraxis para saxitoxinas e microcistinas, respectivamente; os protocolos utilizados foram fornecidos pelo fabricante. A leitura das absorvâncias foi realizada com uma leitora Biochrom EZRead e os resultados foram obtidos através do software Galapagos; as concentrações foram calculadas com o auxílio da calculadora online GainData (ArigoBio).

Resultados e Discussão

Os resultados dos cálculos de biovolume e da densidade celular de cianobactérias e concentração de cianotoxinas estão expressos nas figuras 1 e 2, respectivamente. Os maiores valores de biovolume foram observados nos reservatórios durante a campanha de junho de 2022, em especial nos pontos amostrados do reservatório Jaguari, em decorrência de uma floração de *Peridinium willei*, resultando em um maior biovolume da classe Dinophyceae. Enquanto que no reservatório Jacaré houve elevada representação de cianobactérias.

Em novembro de 2022, para ambos os reservatórios, a classe Cyanobacteria, representou o maior biovolume. Esse biovolume foi devido em grande parte à elevada frequência de indivíduos da espécie *Raphidiopsis raciborskii*, potencial produtora de saxitoxinas.

O gráfico de concentrações de cianotoxinas (Figura 2) reflete essa maior presença de cianobactérias, uma vez que não há registros de produção das toxinas quantificadas por *P. willei*. A análise de Pearson resultou em um grau de correlação forte entre o biovolume de Cyanobacteria e a concentração de saxitoxinas ($r=0,87$).

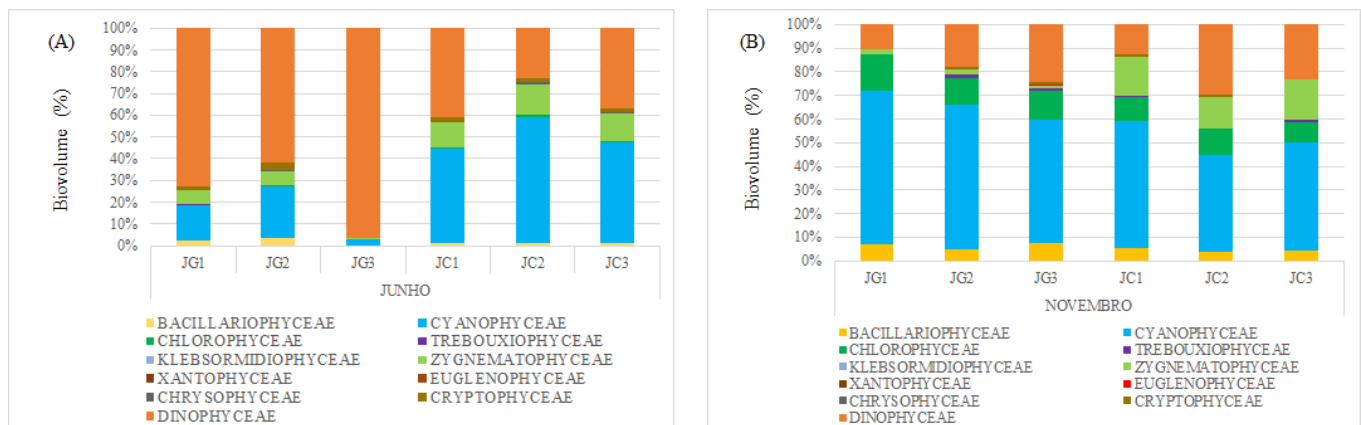


Figura 1: Gráficos de Biovolume do Fitoplâncton (%) dos reservatórios por estação de coleta. (A) Biovolume do mês de junho; (B) Biovolume do mês de novembro.

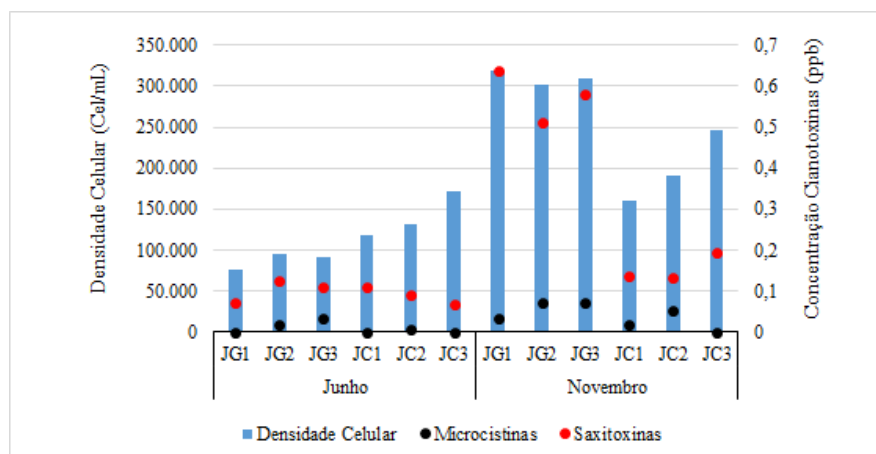


Figura 2: Gráfico de Densidade Celular de Cianobactérias (cél/mL) e de Concentração de Cianotoxinas (ppb) dos reservatórios por estação de coleta.

Deve-se ressaltar, entretanto, que um aumento do biovolume de cianobactérias não necessariamente implica no aumento da concentração de cianotoxinas, uma vez que uma população de um mesmo táxon pode conter células produtoras e não produtoras de toxinas (CHORUS & WELKER, 2021).

Conforme a legislação brasileira e as diretrizes da OMS, o limite aceitável para cianotoxinas em águas para consumo é de 3 µg/L (3 ppb) de saxitoxinas e 1,0 µg/L de microcistinas (WHO, 2022; BRASIL, 2021), de tal modo, as concentrações de cianotoxinas encontradas para ambos os reservatórios se encontram dentro do limite. Entretanto a densidade celular obtida para cianobactérias variou de 75.192,0 – 95.284,0 céls/mL para o JG em junho de 2022 e 301.760,0 – 319.782,0 céls/mL em novembro de 2022, enquanto o JC variou de 117.675,0 – 172.206,0 céls/mL em junho e 160.378,0 – 247.173,0 céls/mL em novembro. Em ambos os reservatórios, a densidade ultrapassou os valores de 10.000 céls/mL estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/21, sendo dessa forma, recomendado monitoramento semanal.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05 (BRASIL, 2005), nenhum dos reservatórios estudados se adequou ao limite de biovolume de cianobactérias indicado para Classe I (máximo 2 mm³/L), sendo que o reservatório JG ultrapassou, em novembro, o biovolume aceitável até mesmo para águas doces de Classe III (limite de 10 mm³/L, sendo que o reservatório apresentou 10,82 a 12,09 mm³/L). Tais valores também são considerados altos perante as diretrizes da OMS, que recomenda que corpos hídricos com biovolume acima de 4 mm³/L sejam colocados em nível de Alerta 2, o mais elevado da diretriz, e requisitando monitoramento periódico das concentrações de cianotoxinas e biomassa (WHO, 2022).

Conforme mencionado, o valor de densidade e biovolume são preocupantes, uma vez que há constante presença de Cyanobactéria, o que pode resultar em constante produção de toxinas ao longo do ano. Tal exposição prolongada pode resultar em intoxicação crônica, ocasionando possíveis danos à fauna aquática (como alterações endócrinas, reprodutivas e danos teciduais, como revisado por Mehinto et al., 2021), acumulação e alteração de crescimento em espécies vegetais irrigadas com águas contaminadas (WERALUPITIYA et al., 2022) e até mesmo efeitos carcinogênicos em seres humanos através da atividade de hepatotoxinas como as microcistinas (RICKERT, CHORUS & SCHMOLL, 2016).

Não obstante, a alternância de cianobactérias pode gerar um ciclo de retroalimentação para seu crescimento e possível formação de mais florações persistentes, devido ao aumento de nutrientes e redução de luminosidade e pH, gerando condições adequadas para sua proliferação e dificultando o controle de qualidade dos reservatórios (AMORIM et al., 2021).

Considerações Finais

Os reservatórios Jaguari e Jacareí apresentaram concentrações de saxitoxinas e microcistinas aceitáveis conforme a legislação nacional. Entretanto, as densidades celulares de cianobactérias para ambos se encontraram acima de 10.000 céls/mL. Além disso, a presença constante de elevado biovolume de cianobactérias durante o ano, inclusive ultrapassando limites indicados para Classe III de águas doces em novembro, torna urgente o monitoramento das cianobactérias. Porém, para total compreensão da dinâmica da comunidade de cianobactérias nos reservatórios, é fundamental os resultados das variáveis físicas, químicas e biológicas, tais como clorofila-a, nitrogênio e fósforo e o Índice de Estado Trófico. Essas análises encontram-se em andamento como parte do projeto.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP – 2021/11283-0) pelo financiamento recebido e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

Referências Bibliográficas

AMORIM, C. A.; MOURA, A. DO N. Ecological impacts of freshwater algal blooms on water quality, plankton biodiversity, structure, and ecosystem functioning. *Science of The Total Environment*, v. 758, p. 143605, mar. 2021.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Sistema Cantareira. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/sistema-cantareira/sistema-cantareira-saiba-mais>. Acesso em: 14 maio 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Brasília, DF.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 357. Classificação das águas doces, salobres e salinas do território nacional. Brasília (DF): Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 17 de março de 2005. 36 p.

CETESB. L5.303: Fitoplâncton de água doce: Métodos qualitativo e quantitativo. 4 ed. São Paulo, 2012. 24 p.

CHORUS, I.; WELKER, M. (ed.). *Toxic Cyanobacteria in Water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. 2 ed. 859 p. 2021.

CORDEIRO-ARAÚJO, M. K.; CHIA, M. A.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. DO C. Potential human health risk assessment of cylindrospermopsin accumulation and depuration in lettuce and arugula. *Harmful Algae*, v. 68, p. 217–223, set. 2017.

FUJIBAYASHI, M. et al. Dominance of harmful algae, *Microcystis* spp. and *Micrasterias hardyi*, has negative consequences for bivalves in a freshwater lake. *Harmful Algae*, v. 101, p. 101967, jan. 2021.

HAUSER-DAVIS, R. A. et al. Accumulation and toxic effects of microcystin in tilapia (*Oreochromis niloticus*) from an eutrophic Brazilian lagoon. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 112, p. 132–136, fev. 2015.

HILLEBRAND, H. et al. BIOVOLUME CALCULATION FOR PELAGIC AND BENTHIC MICROALGAE. *Journal of Phycology*, v. 35, n. 2, p. 403–424, abr. 1999.

LUND, J. W. G.; KIPLING, C.; LE CREN, E. D. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia*, v. 11, n. 2, p. 143–170, abr. 1958.

MEHINTO, Alvine C.; SMITH, Jayme; WENGER, Ellie; et al. Synthesis of ecotoxicological studies on cyanotoxins in freshwater habitats – Evaluating the basis for developing thresholds protective of aquatic life in the United States. *Science of The Total Environment*, v. 795, p. 148864, 2021.

POMPÊO, M. et al. Nitrogen and phosphorus in cascade multi-system tropical reservoirs: water and sediment. *Limnological Review*, v. 17, n. 3, p. 133–150, 1 set. 2017.

POMPÊO, M. et al. Water quality assessment using Sentinel-2 imagery with estimates of chlorophyll a, Secchi disk depth, and Cyanobacteria cell number: the Cantareira System reservoirs (São Paulo, Brazil). *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 26, p. 34990–35011, jul. 2021.

POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V. Reservatórios que abastecem São Paulo: problemas e perspectivas. p. 144, 2020.

RICKERT, Bettina; CHORUS, Ingrid; SCHMOLL, Oliver (ed.). Protecting surface water for health: identifying, assessing and managing drinking-water quality risks in surface-water catchments. Genebra, Suíça: Who Document Production Services, 2016. 196 p.

SUN, J.; LIU, D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. v. 25, n. 11, p. 16, 2003.

UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik: Mit 1 Tabelle und 15 abbildungen im Text und auf 1 Tafel. *SIL Communications*, 1953-1996, v. 9, n. 1, p. 1–38, jan. 1958.

WERALUPITIYA, C. et al. Cyanotoxins uptake and accumulation in crops: Phytotoxicity and implications on human health. *Toxicon*, v. 211, p. 21–35, maio 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. 4th ed + 1st add + 2nd add ed. Geneva: World Health Organization, 2022.

YUAN, M.; CARMICHAEL, W. W.; HILBORN, E. D. Microcystin analysis in human sera and liver from human fatalities in Caruaru, Brazil 1996. *Toxicon*, v. 48, n. 6, p. 627–640, nov. 2006.

RESUMOS



ÁREA TEMÁTICA
Ferramentas Aplicadas aos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM ÁREA DECLARADA DE CONFLITO PELO USO DA ÁGUA UTILIZANDO A PLATAFORMA GOOGLE EARTH ENGINE (GEE)

¹Manuela Augusta Diniz Siqueira, ²Marco Túlio Frias de Lima Costa, ³Eliane Maria Vieira

¹Universidade Federal de Itajubá, e-mail: d2023102794@unifei.edu.br; ²Universidade Federal de Itajubá, e-mail: d2023102800@unifei.edu.br; ³Universidade Federal de Itajubá, e-mail: elianevieira@unifei.edu.br

Palavras-chave: conflito pelo uso da água; acurácia; classificação

Resumo

Os conflitos pelo uso da água são resultados da grande demanda hídrica existente em todo o mundo. Nesse sentido, no Brasil, várias bacias hidrográficas apresentam conflitos declarados, o que corrobora com a situação de escassez hídrica enfrentada por várias regiões do país. O uso e ocupação do solo, fator que pode contribuir para a intensificação ou atenuação dos conflitos hídricos em uma bacia, é empregado para que se possa analisar como ocorreu e como está o desenvolvimento das superfícies da região, ou seja, a evolução das atividades presentes na superfície da bacia delimitada. Assim, através de cinco algoritmos de classificação supervisionadas disponíveis na Plataforma *Google Earth Engine* - GEE, o solo foi classificado pelo seu uso e ocupação na área da sub-bacia do Ribeirão Paciência, região declarada de conflito, localizada na cidade de Pará de Minas, Minas Gerais. A classificação teve sua acurácia verificada através dos índices de Acurácia Geral, Kappa, Acurácia do Produtor e Acurácia do Usuário. Dessa forma, foi constatado que o método CART apresentou os melhores resultados estatísticos e visuais na classificação do mapa de uso e ocupação do solo, com valor de Acurácia Geral e Índice Kappa igual a 1,0. O método CART apresentou os melhores resultados visuais e estatísticos na classificação do mapa de uso e ocupação do solo, demonstrando que na sub-bacia do Ribeirão Paciência as áreas de urbanização recobrem 19,518 km², vegetação densa 37,119 km², vegetação esparsa 38,578 km², solo exposto 18,678 km² e água 28,912 km². Os resultados e informações obtidas neste estudo, podem subsidiar, posteriormente, a elaboração de políticas públicas relacionadas à gestão e ao planejamento territorial da sub-bacia do Ribeirão Paciência.

Introdução

Os conflitos pelo uso dos recursos naturais sempre estiveram presentes na história da humanidade, assim como as mediações em situações de disputas e escassez por esses recursos (HARHAY, 2011).

No Brasil, vive-se um período de crise hídrica desde 2012, quando houve uma redução dos índices pluviométricos históricos em algumas áreas do país, como na região Sudeste e semiárido brasileiro. A redução desses índices impacta diretamente na oferta de água destinada ao abastecimento público, onde os principais reservatórios passam a operar com seus níveis de água abaixo do ideal (MAGALHÃES, 2017).

Os conflitos pelo uso da água são ocasionados pela volumosa demanda hídrica por parte de diferentes usuários de água situados numa mesma bacia hidrográfica, onde as captações de água são maiores do que a vazão disponível nos respectivos cursos d'água em que os volumes de água são retirados (SANTOS et al. 2011; VILARINHO et al. 2021).

As modificações no uso e ocupação do solo são fatores inerentes e intrínsecos ao desenvolvimento social e econômico, entretanto, precisam ser planejadas e gerenciadas para que os impactos decorrentes dessas intervenções sejam devidamente identificados e mitigados. Dessa forma, o mapeamento do uso e ocupação do solo através das imagens de satélite tornou-se essencial para a compreensão dos padrões de disposição do uso e ocupação do solo no espaço.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi realizar o mapeamento do uso e ocupação do solo na Área de Conflito Declarada da sub-bacia do Ribeirão Paciência através da plataforma GEE por meio de cinco algoritmos de classificação, sendo estes o Classification and Regression Trees (CART), Minimum Distance - Euclidean (MMD), Random Forest (RF), Naive Bayes (Bayes) e LIBSVM. A fim de analisar e validar as classificações produzidas foram calculados, para cada método de classificação, os índices de Acurácia Geral, Kappa, Acurácia do Produtor e Acurácia do Usuário, também através da plataforma GEE. Foram identificados, a partir dos resultados de acurácia, os métodos de classificação mais aderentes ao uso e ocupação real da bacia.

Procedimento Metodológico

A sub-bacia do Ribeirão Paciência é integrada por áreas dos municípios de Pará de Minas, Florestal e Onça do Pitangui, totalizando, aproximadamente, 452 km² de extensão. Foi declarada como área de conflito pelo uso dos recursos hídricos através da Declaração de Área de Conflito – DAC/IGAM nº 002/2009.

Para a classificação do uso e ocupação do solo foi utilizada imagens do satélite Landsat 8 (LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA), composição de cores naturais aplicando os índices de diferença normalizada NVDI, NBDI e MNDWI, resolução espacial de 30 metros e cobertura de nuvem menor que 10%, disponíveis na base de dados do GEE. Para composição da imagem final de referência para o estudo foi aplicado um filtro que calcula a mediana de cada pixel para as

imagens obtidas a partir das condições supracitadas entre as datas de 03/09/2021 a 09/09/2022, resultando em uma única imagem composta pelos valores medianos dos pixels calculados. Para a composição dessa imagem aplicou-se um índice de diferença normalizada para a vegetação (NVDI), para as áreas construídas (NBDI) e para áreas inundadas (MNDWI) a partir das bandas B2, B4, B8 e B11 referentes ao satélite supracitado, que está na órbita. Nesse sentido, essa composição resultou em uma imagem única e representativa da sub-bacia do Ribeirão Paciência para o intervalo de tempo definido.

A fim de se compreender o desenvolvimento atual da sub-bacia do Ribeirão Paciência foram estabelecidas as seguintes classes de uso e ocupação do solo: Urbanização, Vegetação Densa, Vegetação Rasteira, Solo Exposto e Corpo Hídrico.

A classificação supervisionada foi realizada a partir de cinco algoritmos disponíveis no Google Earth Engine, sendo: Classification and Regression Trees (CART), Minimum Distance - Euclidean (MMD), Random Forest (RF), Naive Bayes (Bayes) e LIBSVM.

Para a realização da amostragem foram coletadas amostras em 803 pixels distribuídos homogeneamente na imagem de satélite. As 803 amostras coletadas foram divididas em 153 pontos para Urbanização, 201 pontos para Vegetação Densa, 203 pontos para Vegetação Rasteira, 145 pontos para Solo Exposto e 101 pontos para Corpo Hídrico.

Com o objetivo de validar a classificação supervisionada de cada um dos métodos citados anteriormente, foram utilizados os seguintes índices de acurácia de classificação: Índice Kappa, Acurácia Geral, Acurácia do Produtor e Acurácia do Usuário. Todos os índices foram calculados através do *Google Earth Engine* a partir da Matriz de Confusão gerada para cada algoritmo de classificação supervisionada. Portanto, a partir dos índices de acurácia calculados foi avaliada a qualidade das classificações dos mapas desenvolvidos.

Resultados

Foram elaborados cinco mapas de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Ribeirão Paciência através dos algoritmos de classificação supervisionada disponíveis no GEE: Classification and Regression Trees (CART), Minimum Distance - Euclidean (MMD), Random Forest (RF), Naive Bayes (Bayes) e LIBSVM (Figura 1).

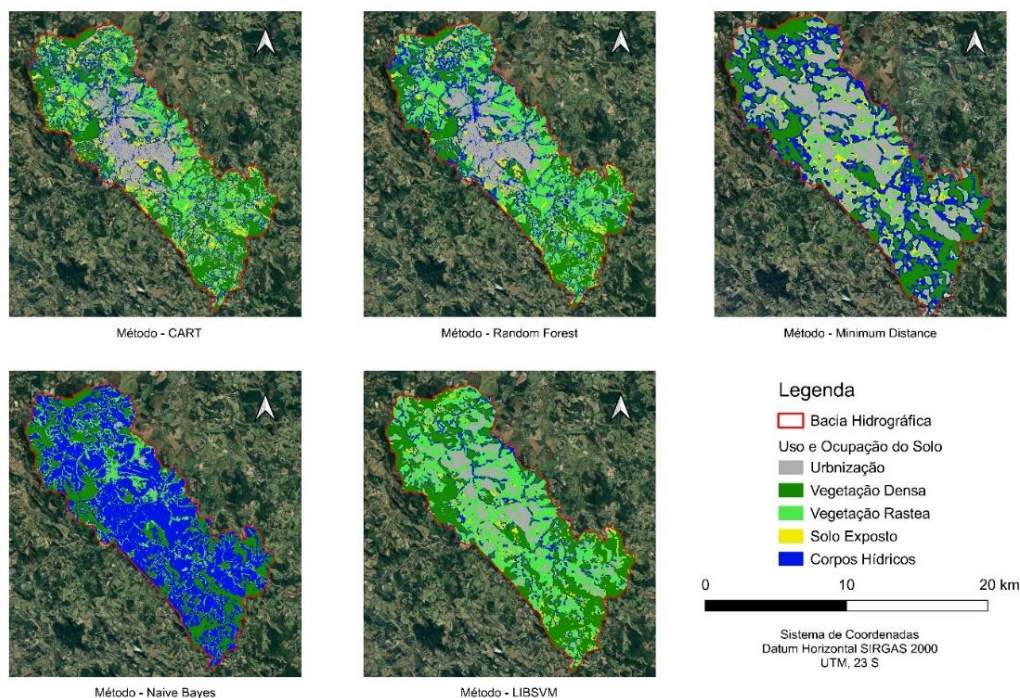


Figura 1: Mapa de uso e ocupação do solo para as classificações realizadas pelos métodos CART, RF, MMD, Naive Bayes e LIBSVM.

A partir de uma análise visual dos cinco mapas de uso e ocupação do solo produzidos, pode-se constatar que o algoritmo de classificação que apresentou a maior aderência a imagem de satélite foi o método de Classification and Regression Trees (CART), seguido do Random Forest (RF). Ou seja, estes métodos obtiveram resultados mais assertivos no processo de identificação da cobertura do solo.

Posteriormente, com o intuito de reforçar e comprovar a análise visual realizada, foram calculadas a Matriz de Confusão para cada método de classificação automática, juntamente com todos os índices de acurácia referentes às metodologias de classificação utilizadas.

Assim, comprovou-se numericamente, através dos resultados encontrados, que os métodos de CART e Random Forest realmente possuíram processos de classificação mais assertivos em relação aos demais. Essa constatação está em acordo com a análise visual realizada. Destaca-se que índices mais próximos de 1,0 significa classificações cada vez mais aderentes.

O método CART apresentou os melhores resultados visuais e estatísticos na classificação do mapa de uso e ocupação do solo, verificando-se que na sub-bacia do Ribeirão Paciência as áreas de urbanização recobrem 19,518 km², vegetação densa 37,119 km², vegetação esparsa 38,578 km², solo exposto 18,678 km² e água 28,912 km² (Figura 2).

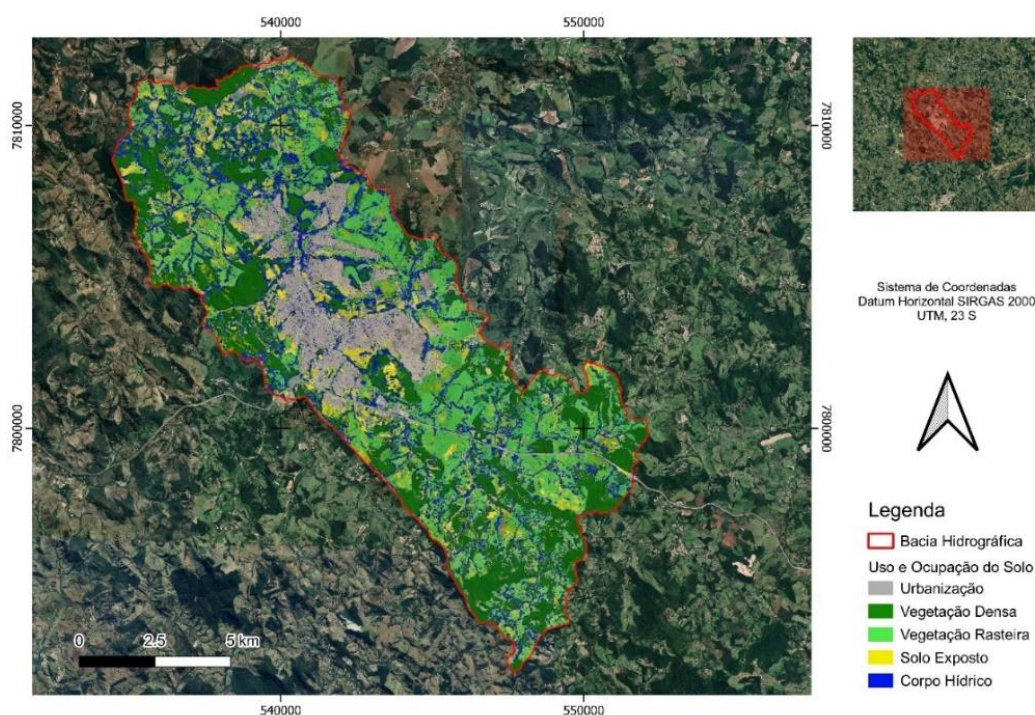


Figura 2: Mapa de uso e cobertura do solo sub-bacia Ribeirão Paciência pelo Método CART

Considerações Finais

Através da classificação automática supervisionada realizada para a área de conflito da sub-bacia do Ribeirão Paciência, constatou-se que o método CART apresentou os melhores resultados estatísticos e visuais na classificação do mapa de uso e ocupação do solo, com valor de Acurácia Geral e Índice Kappa igual a 1,0. O Método Random Forest também apresentou valores suficientes de Acurácia Geral e Índice Kappa. Os métodos Minimum Distance, Bayes e LIBSVM apresentaram valores baixos de Acurácia Geral e Índice Kappa, sendo Naive Bayes o método com o menor valor obtido para ambos os índices.

O GEE se mostrou muito eficiente e aplicável ao mapeamento do uso e ocupação do solo, permitindo a utilização dos mais diversos dados geoespaciais disponíveis gratuitamente na plataforma.

Assim, o estudo contribuiu para uma gestão mais eficiente do uso e ocupação da sub-bacia, minimizando, portanto, as possibilidades de intensificação de conflitos pelo uso da água.

Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

Harhay, M. O., 2011. Water Stress and Water Scarcity: A Global Problem. American Journal of Public Health. 101(8): 1348–1349. Disponível em: <https://doi.org/10.2105/AJPH.2011.300277>. Acesso em 25 de abr. 2023.

Magalhães J., H.; Lopes, F. W. A. 2017. Levantamento e análise dos conflitos pelos usos da água na bacia do Ribeirão da Prata-MG, p. 1 a 4.

Santos, J. Y. G.; Cunha, T. B.; Vianna, P. C. G., 2011. Conflito pelo uso da água no sertão Paraibano: o estudo de caso do Açude São Francisco II. Revista Cadernos do Logepa, João Pessoa, v.6, n.2, p.140-160.

Vilarinho, C. M. R.; Costa, M. M. L.; Pires, A. S. C.; Muller, M. G.; Monte-Mor, R. C. A.; Gonçalves, J. A. C. 2021. Eficácia da Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos condicionada ao IQA: Estudo de Caso, Minas Gerais, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, 14, 1. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.1.p%p>. Acesso em 25 de abr. 2023.

UMA METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A ALAGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE SINOP-MT.

¹J. Garcia Hurtado, ²F. Lledo dos Santos, ³E. F. Oliveira Martins e ⁴R. Bruno Zanin

¹Universidade do Estado de Mato Grosso, Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Prof^ªÁgua, Cuiabá, Brasil, e-mail: jonatas.garcia@unemat.br, franciscolleddo@unemat.br, profericomartins@unemat.br e rodrigo.zanin@unemat.br

Palavras-chave: AHP, MAPEAMENTO DE ALAGAMENTO, ALAGAMENTO URBANO

1 - Introdução

Os alagamentos em centros urbanos são problemas recorrentes devido ao acelerado processo de urbanização e as ações antrópicas como o desmatamento, canalização de trechos hídricos e à impermeabilização do solo, que são fatores que facilitam e intensificam a inundação em centros urbanos (Pruski 2003). Esse problema não é local ou regional, uma vez que em escala mundial no decorrer da história o poder público não deu a devida atenção para a infraestrutura de drenagem, agravando os cenários de alagamentos em centros urbanos (Tucci, 2005). Nesse sentido, uma metodologia para mapear áreas com maior risco de alagamento poderá ser uma ferramenta muito útil na tomada de decisão dos gestores públicos, bem como no planejamento e gestão da área urbana. Esse trabalho utiliza como piloto para o estudo o município de Sinop, no estado de Mato Grosso, um município de apenas 44 anos com uma população de mais de 190 mil habitantes, segundo o último censo. Para desenvolver o mapa de áreas suscetíveis a inundação no município, utilizou-se uma metodologia com o método AHP (Analytic Hierarchy Process), proposto por Saaty (1997). Neste método considera-se a nota/peso de cada variável (altitude, declividade e uso e ocupação do solo) com auxílio de ferramentas de geoprocessamento, utilizando para isso o software Arcgis®. A metodologia proposta gera um mapa ou carta de suscetibilidade a alagamentos, que poderá proporcionar a população e gestores a fácil identificação de áreas com maiores tendências a inundações.

2 - Área de estudo

O município de Sinop, localizado na região norte do estado de Mato Grosso, começou a ser ocupado no ano de 1972, sendo elevado ao grau de município em 1979. O plano de ocupação dessa área no bioma amazônico se deu através de estudos geopolíticos da Escola Superior de Guerra no período da ditadura militar (Almeida, 2017).. A especulação imobiliária, presente na região, fomenta a transformação de áreas “verdes” em loteamentos, geralmente, em áreas estratégicas para a lógica de valorização imobiliária (Almeida, 2017). Neste estudo foi utilizado apenas a região urbana do município de Sinop-MT como área de estudo. Essa área compreende aproximadamente 170.108,00 km² (IBGE 2022) e é nesse piloto que o projeto focou em identificar as áreas com maior suscetibilidade a alagamento, levando em consideração as características das micro bacias da região urbana de município.

3 - Metodologia

A metodologia proposta pode ser dividida em 03 etapas indicadas a seguir, as quais são Aplicação do Método AHP, Definição dos Parâmetros do Método AHP e por último a Aplicação da Matriz de Comparação.

3.1 - Aplicação do Método AHP

O método Analytic Hierarchy Process (AHP) foi proposto por Thomas L. Saaty para tomar decisões de forma estruturada e baseada em critérios pré-definidos, ou seja baseado em multicritérios, usado para auxiliar de forma quantitativa a tomada de decisão entre um conjunto de alternativas. Dessa forma o AHP pode ser definido como uma abordagem matemática que ajuda a avaliar alternativas e selecionar a melhor opção com base em critérios de importância e prioridade (SAATY, 1990). O método AHP é baseado em uma hierarquia de critérios, que podem ser decompostos em subcritérios e alternativas, de forma que, em seguida, atribui-se os valores numéricos de cada um dos elementos da hierarquia com base em sua importância relativa. Essa hierarquia é usada para avaliar as alternativas em relação a cada critério e subcritério. Em cada nível hierárquico, as alternativas são comparadas com base em pesos relativos a cada critério e subcritério.

A integração do método AHP com parâmetros hidrológicos e hidráulicos é realizado com base na compreensão dos fatores que influenciam nos alagamentos urbanos. Hora e Gomes (2009) afirmam que os elementos que apresentam maior importância no estudo de risco à alagamento, são os que tem como referência aos aspectos geológicos (pedologia), geomorfologia (declividade, hipsometria) e uso do solo (classificação das ocupações coberturas vegetais). Estes elementos podem ser considerados itens fundamentais para o desenvolvimento do mapa de suscetibilidade à inundação, tendo como hierarquia de fatores a escala de Saaty e Vargas (1991).

3.2 - Definição dos Parâmetros do Método AHP

Segundo Filho (2009), bacia hidrográfica se compreende por limites de relevo de sua topografia, divisores de águas, onde áreas de contribuição escoam para o ponto mais baixo, estes pontos são de conhecimento fundamental para o planejamento de sistemas drenantes. Quanto maior a altitude, menor a probabilidade de inundação para uma determinada região devido à ação da lei da gravidade que direciona a água para as regiões mais baixas (MAGALHÃES et al., 2011). O AHP utiliza uma escala numérica de 1 a 9 para avaliar as alternativas em relação a cada critério e subcritério, onde 1 representa menor importância e 9 representa a maior importância. Esses valores foram usados para calcular o peso relativo de cada alternativa em relação a cada critério e subcritério, utilizando cálculos matemáticos específicos.

Para a captação de informação da declividade e altitudes, foi utilizado um arquivo proveniente do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), que é uma missão espacial realizada em 2000, pela NASA e pelo NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) dos Estados Unidos. Seu objetivo era obter dados de elevação topográfica da superfície da Terra com alta precisão.

A tecnologia utilizada na missão SRTM utilizou um radar de abertura sintética (SAR - Synthetic Aperture Radar) embarcado a bordo do ônibus espacial Endeavour. Esse radar emitia pulsos de micro-ondas e registrava o tempo necessário para esses pulsos retornarem à antena do radar. Com base nessa informação, foi possível medir as variações de elevação do terreno com alta precisão. A cobertura global do SRTM cobriu quase toda a superfície terrestre entre as latitudes 60° Norte e 56° Sul. Isso incluiu áreas montanhosas, planícies, oceanos, desertos e outras regiões geográficas. A cobertura incluiu tanto áreas urbanas quanto áreas rurais, permitindo uma ampla gama de aplicações em diferentes campos. No que tange a resolução espacial e vertical do SRTM, importante ressaltar que forma produzidos dados com resolução espacial de 90 metros para grande parte da superfície terrestre. No entanto, em algumas áreas selecionadas, especialmente nos Estados Unidos, foram gerados dados com resolução de 30 metros. Quanto à resolução vertical, os dados SRTM possuem uma precisão de cerca de 16 metros.

O arquivo utilizado na metodologia foi o 11S57_SN, disponível no site <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata>, que é um dos responsáveis pela distribuição das informações do SRTM.

A metodologia utilizou a diferença de nível da altitude de Sinop para ponderar as notas de altitudes (Tabela 1), onde será adotada como nível 0 (zero) sua altitude que é de 348m, obtendo as notas indicadas na Tabela 1 a seguir.

Segundo Borges et al. (2015) as características da declividade da região estão vinculadas ao fato de que o escoamento superficial é proporcional à está declividade, ou seja, ela determina e influencia na vazão. Sinop por sua vez está situada em uma região de planalto, com baixa declividade, dessa forma as notas utilizadas na metodologia são ponderadas considerando o percentual de variação na declividade do ponto avaliado, como indica a Tabela 2.

Segundo Martins (2019), as hierarquias de notas para uso e ocupação do solo têm como principal determinante a característica de impermeabilização que o uso e ocupação do solo oferecem quanto à presença de corpos d'água. Por exemplo, superfícies impermeáveis, geradas pela expansão urbana e o desenvolvimento de áreas urbanizadas levam à criação de superfícies impermeáveis, como estradas, calçadas, estacionamentos e edifícios. Essas superfícies impedem a infiltração natural da água no solo, resultando em um aumento da impermeabilização. A pavimentação e o concreto e outras estruturas pavimentadas contribui para a impermeabilização do solo de forma que o uso extensivo de pavimentos de asfalto, concreto e materiais similares reduz significativamente a capacidade de absorção e drenagem natural do solo, resultando em um aumento do escoamento superficial.

Além dos critérios mencionados aqui, também tem a drenagem inadequada, uma vez que a falta de sistemas de drenagem eficientes em áreas urbanas pode agravar a impermeabilização do solo, ou seja, sem uma infraestrutura adequada para coletar e direcionar a água da chuva, essa água pode se acumular em superfícies impermeáveis e causar enchentes e alagamentos. A notas hierarquizada para o uso e ocupação do solo neste projeto estão na Tabela 03.

Tabela 1 – Notas estabelecidas para altitudes

Níveis (m)	Nota
0-5	10
5-10	5
10-15	3
15-30	2
30-50	1
50-108	1

Fonte: Mantis et al, 2019

Tabela 2 – Notas estabelecidas para declividade

Declividade (%)	Nota
0-3 (plano)	10
3-8 (suave ondulado)	9
8-20 (ondulado)	5
20-45 (forte ondulado)	3
45-75 (montanhoso)	1
200-250 (escarpado)	1

Fonte: Borges et al, 2015

Tabela 3 – Notas estabelecidas para o uso e ocupação do solo.

Uso do Solo	Nota
Água / Rio Permanente / Eixos de rio	10
Área Antropizada (alta impermeabilidade)	10
Solo exposto / Vegetação rasteira	8
Áreas florestadas e Fragmentos de Vegetação	1

Fonte: Mantis et al, 2019

3.3 - Aplicação da Matriz de Comparação

Estes fatores serão confrontados entre si por meio de uma matriz de comparação e ajustados de acordo com as características da região. Dessa forma a hierarquização trará uma segurança nos resultados, conforme a importância de cada característica no que diz respeito a alagamento, buscando representar de forma precisa as condições físicas encontradas na área de estudo.

Com base nos pesos e nas notas dos fatores aplicadas na matriz de comparação, será possível utilizar o método AHP para fazer a modelagem matemática da suscetibilidade das áreas à alagamentos utilizando a escala de Saaty e Vargas (1991), indicada na equação 1.

$$A_{ij} = \sum(P_k * N_k) \quad [1]$$

Na equação 1, A_{ij} é o risco de alagamento de cada célula da matriz; P é o peso atribuído ao plano, transposto o percentual para escala de 0 a 1 e N é a nota do fator na escala de 0 a 10; sendo k constante igual a 1. Assim será possível determinar o peso de cada fator, considerando as Variáveis: Uso e Ocupação do Solo, com peso $P1$, Declividade com peso $P2$ e Altitude com peso $P3$. Para as análises e cálculos pluviométricos, serão utilizados dados da estação pluviométrica nº 115503, localizada no município de Sinop e devidamente registrada na ANA (Agencia Nacional de Águas).

Produto Gerado

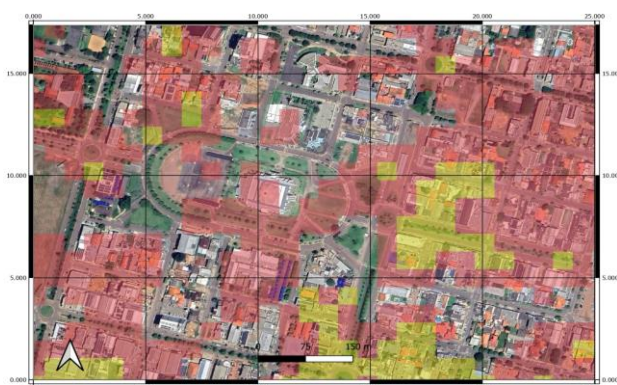


Figura 1: Região da catedral de Sinop, Cruzamento entre Av. Júlio Campos e Av.: das Itaúbas



Figura 2: Praça Plínio Callegaro em Sinop-MT, Cruzamento entre Av.: Júlio Campos e Avenida das Acácias

Com base nos parâmetros levantados na metodologia e processadas por meio do GIS, foram realizados os primeiro mapas de áreas suscetíveis a alagamentos (Figuras 01 e 02). Os resultados são satisfatórios e as estratificação apresentadas por cores, que representam o grau de probabilidade dos locais sofrerem com alagamentos (mapa de calor), nestas figuras foram processadas apenas o parâmetro da altitude, mas suas áreas em vermelho (possibilidade de alagamento) coincidiram com áreas comumente alagadas na cidade. O mapa de suscetibilidade a alagamento esta sendo gerado a partir da equação [1], com arquivos raster, utilizando a ferramenta “Raster Calculador” presente no software ArcGis®.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

Almeida, G.R., “Expansão de Sinop e o mercado imobiliário”, Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades. ISSN 2318-8472, v 05, n. 34, 2017.

Borges, M.P.; Cruivinel, A.S.; Flores, W.M.F.; Barbosa, G.R., “Utilização de técnicas de geoprocessamento para a elaboração de cotas de inundações: estudo de caso do parque ecológico do rio Paranaíba”, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR XVII, João Pessoa, 5897- 5903 pp., 2015

IBGE. Agência de Informação IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/sinop/panorama>. Acesso em: 18 nov. 2022.

FILHO, Carlos F.M. Microdrenagem. Capítulo I: Sistema de Drenagem Pluvial. Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/sanemanto/dre01.html>. Acesso em 1 de mar. 2022.

Magalhães, I.L; Thiago, C.R.; Agrizzi, D.V.; Santos, A.R., “Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos”, Cadernos de Geociências, v. 8, n. 2, 63-70 pp., 2011

MANTOVANI, J. R.; BACANI, V. M. Uma proposta metodológica de mapeamento de áreas suscetíveis a inundação e alagamentos na bacia hidrográfica do córrego Indaia-MS. Geosp – Espaço e Tempo (online), v.22, n.3, p.687-706, dez. 2018. ISSN 2179-0892

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. Prediction: projection and forecasting. Boston, MA: Kluwer Academic, 1991.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

MANTIS, A. B.; VAZ, J. A. Mapeamento de áreas de risco de alagamento do município de Guarujá-SP utilizando método de análise hierárquica.

PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S., SILVA, D.D. Escoamento superficial. Viçosa: UFV, 2003, 88 p.

TUCCI, C.E.M. Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos. Agência Nacional de Águas: Câmara Temática sobre Recursos Hídricos - Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. 2002.

TUCCI, C. E. M. Gestão de Inundações Urbanas. Ministério das Cidades – Global WaterPartnership - Wolrd Bank - Unesco. Ministério Público Federal, 2005.

OS IMPACTOS DOS USOS INSIGNIFICANTES DA ÁGUA NA BACIA DO RIO SANTO ANTÔNIO/MG

¹Bianca Louise de Abreu, ²Ana Paula Lima Rocha, ³Karinne Reis Deusdará Leal

¹Unifei, e-mail: d2023102749@unifei.edu.br; ²Unifei, e-mail: d2023202720@unifei.edu.br;

³Unifei, e-mail: karinne.deusdara@unifei.edu.br

Palavras-chave: Outorgas; vazão; diagnóstico

Introdução

As outorgas de direitos de uso de recursos hídricos visam assegurar o controle quantitativo, qualitativo e o efetivo direito de acesso à água. Estão sujeitos à outorga pelo poder público vários usos, tais como derivação ou captação de água para consumo final, inclusive para abastecimento público ou insumo de processo produtivo, extração de água de aquífero subterrâneo, entre outros, sendo que independem de outorga as derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes (BRASIL, 1997).

Em Minas Gerais, de acordo com a Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH-MG n.º 09, de 16 de junho de 2004, as captações e derivações de águas superficiais menores ou iguais a 1 L/s são consideradas como usos insignificantes (MINAS GERAIS, 2004), exceto para bacias específicas. Os usuários com demanda de água inferior a tal limite ficam obrigados apenas a realizar cadastro de uso das águas para controle e gerenciamento da bacia hidrográfica. O cadastramento dos usos considerados “insignificantes” é de grande importância, principalmente nas bacias em estado de escassez hídrica, pois estes usos, podem ocasionar impactos em relação a disponibilidade hídrica, não garantindo a oferta entre os múltiplos usos (MOREIRA, *et. al*, 2022). Em uma avaliação conceitual, é possível inferir como insignificante a quantidade de vazão demandada, isto é, a vazão retirada que é insignificante (CONEJO, [s.d]), e não a finalidade do uso, propriamente. Diante disso, o presente estudo avalia os usos considerados como insignificantes (dispensados de outorgas), em detrimento das outorgas de direitos de uso, na Bacia do Rio Santo Antônio, em Minas Gerais, objetivando um diagnóstico da atual situação e avaliar os possíveis impactos dos usos insignificantes.

Materiais e Métodos

A Bacia Hidrográfica Rio Santo Antônio faz parte da macrobacia do rio Doce e está inserida totalmente no Estado de Minas Gerais, ocupando uma área de 10.429,46 quilômetros quadrados (Figura 1). A Bacia abrange, de forma total ou parcial, 29 municípios mineiros e, através do Decreto Estadual N.º 42.595, de 23/05/2002, teve instituído o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio - CBH Santo Antônio (CBH Santo Antônio, 2023).

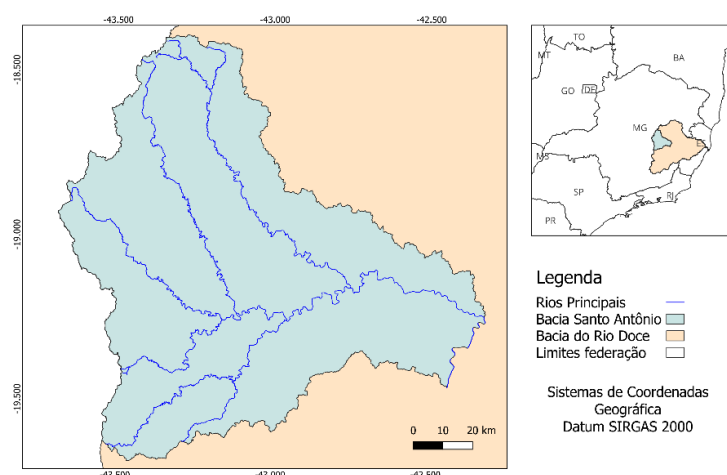


Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio.

Os dados sobre as outorgas de direito de uso e os dados sobre as captações com vazões insignificantes foram obtidos através de arquivos vetoriais disponibilizados na Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Minas Gerais - IDE-SISEMA (IDE-SISEMA, 2023). Os dados foram espacializados em ambiente SIG, através do *software* QGIS®, em sua versão 3.16 e selecionados apenas os que se referem à área de interesse, isto é, a Bacia do Rio Santo Antônio. Posteriormente, para tratar e validar as informações para os propósitos desta pesquisa, foram mantidas apenas as captações superficiais, sendo excluídos os dados sobre captações subterrâneas, dragagem, barramentos em curso de água, cadastros vencidos e também dados cadastrados de municípios pertencentes a outras bacias hidrográficas, abrangendo assim, as captações com previsão de vencimento até o ano de 2055.

Resultados e Discussão

A vazão total captada na bacia é 2.628 m³/h, sendo que o total captado com vazão insignificante corresponde a 619 m³/h, que representou cerca de 24% das captações analisadas, e a vazão total outorgada foi de 2.009 m³/h. Ressalta-se que a vazão de referência (Q_{7,10}) no exutório do Rio Santo Antônio, configura entre 36.000 m³/h a 90.000 m³/h (ANA, 2022). Considerando a vazão outorgável (50% da Q_{7,10}), a vazão disponível para novas captações superficiais é de 15.991 m³/h, levando em conta a estimativa inferior da vazão de referência.

Dentre os municípios da Bacia do Rio Santo Antônio, Santana do Paraíso apresentou a maior vazão de captação para as outorgas de direito de uso (391 m³/h), seguido por Conceição do Mato Dentro (327 m³/h) e Itabira (232 m³/h) (Figura 2a). Para as captações com vazão insignificante, o município Conceição do Mato Dentro apresentou a maior vazão captada (115 m³/h), seguido por Itabira (96,8 m³/h) e Braúnas (44,5 m³/h). Os municípios Carmésia, Congonhas do Norte e São Sebastião do Rio Preto não apresentaram outorgas de direito de uso e, de igual modo, o município Materlândia e Santo Antônio do Itambé não apresentaram captações com vazão insignificante. Salienta-se que o município Naque indicou apenas uma captação com vazão insignificante, entretanto, os dados estavam incompletos, inviabilizando o cálculo da vazão em m³/h, sendo, portanto, desconsiderada. Os municípios Congonhas do Norte, Santo Antônio do Rio Abaixo e Serra Azul de Minas não apresentaram captações válidas para este estudo, sendo também desconsiderados.

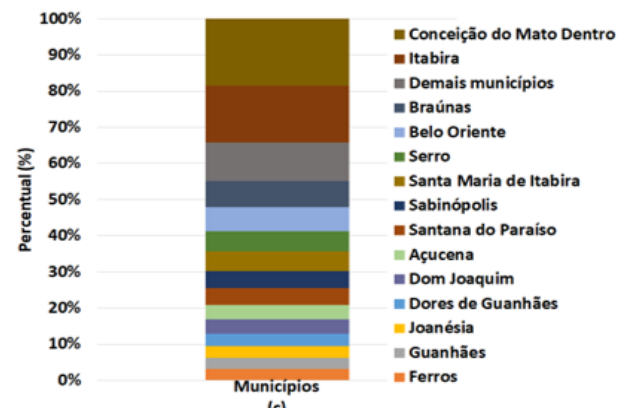
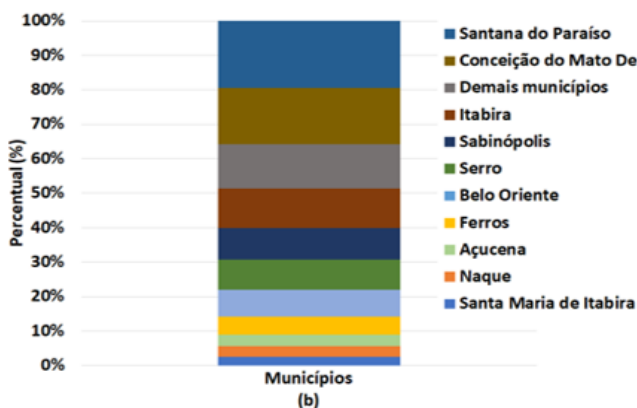
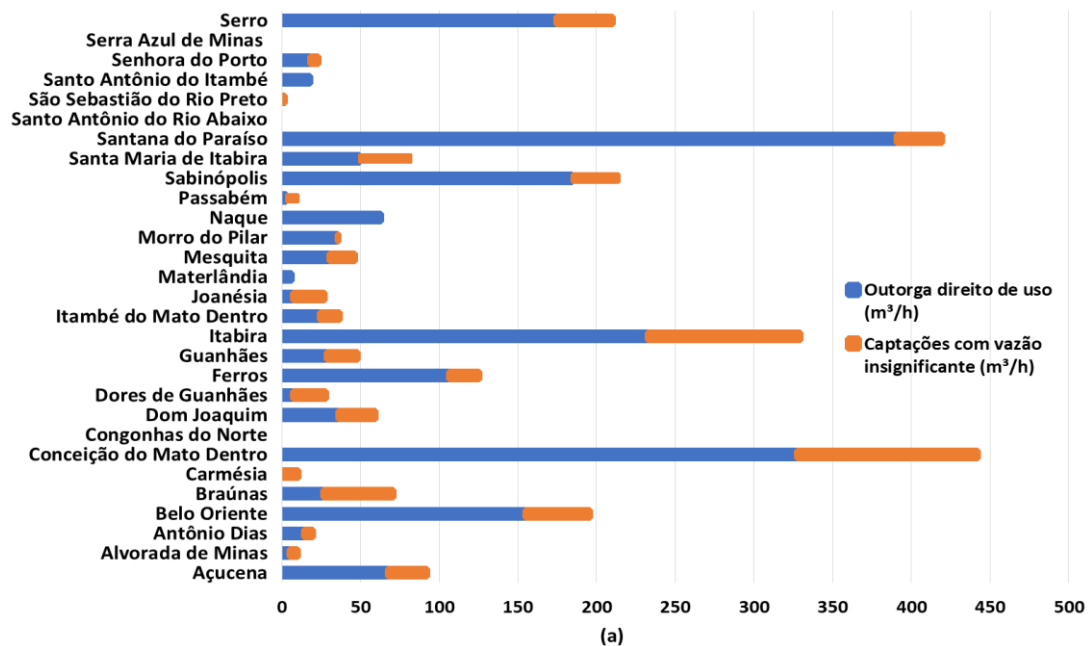


Figura 2: (a) Vazão superficial de captação por município. (b) Outorgas de direito de uso dos recursos hídricos. (c) Captações com vazão insignificante. Fonte dos dados: IDE-SISEMA, 2023.

Os municípios Passabém, Alvorada de Minas, Materlândia, Joanésia, Dores de Guanhães, Antônio Dias, Santo Antônio do Itambé, Senhora do Porto, Itambé do Mato Dentro, Braúnas, Guanhães, Mesquita, Morro do Pilar e Dom Joaquim apresentaram menos de 40 m³/h individualmente, e juntos totalizaram aproximadamente 13% da vazão captada para as outorgas de direito de uso (Figura 2b). Já em relação às captações com vazão insignificante (Figura 2c), os municípios Morro do Pilar, São Sebastião do Rio Preto, Senhora do Porto, Alvorada de Minas, Antônio Dias, Passabém, Carmésia, Itambé do

Mato Dentro e Mesquita apresentaram menos de 20 m³/h individualmente, e totalizaram juntos aproximadamente 11% das captações com vazão insignificante. Estes municípios foram agrupados na classe “Demais municípios”. Na Figura 3(a) observa-se os percentuais captados por finalidade das outorgas de direito de uso: a irrigação apresentou o maior percentual de vazão captada (38%), seguido pelo abastecimento público (37%) e pelo consumo humano (12%). Na Figura 3(b), em relação às vazões com captação insignificante, verifica-se que os dados de dessedentação de animais apresentou o maior percentual vazão captada (22%), seguido pelos dados “sem informação” (20%) e pela irrigação (19%).

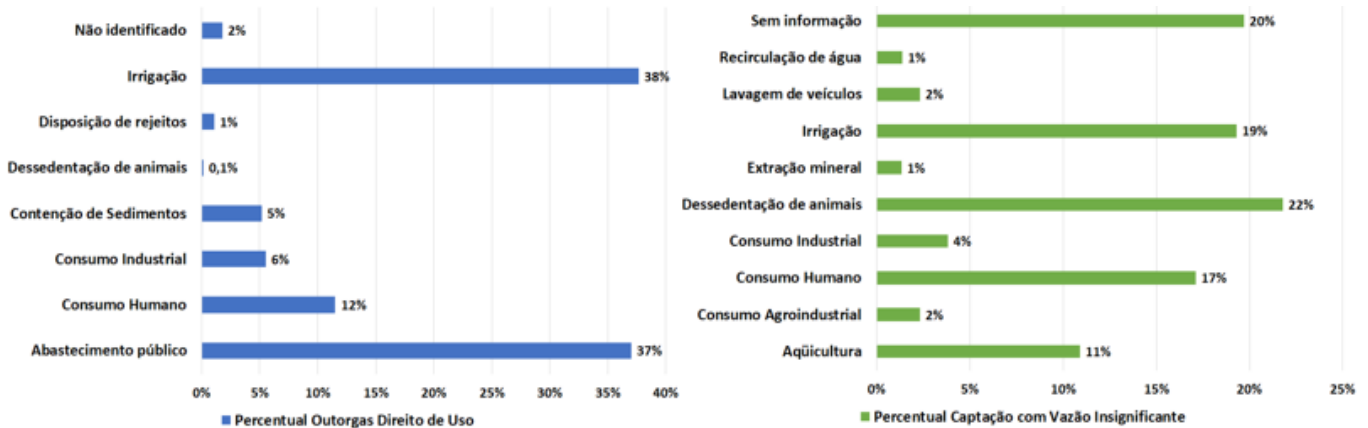


Figura 3: (a) Percentual da vazão captada por finalidade de outorga de direito de uso. (b) Percentual de vazão insignificante captada por finalidade. Fonte dos dados: IDE-SISEMA, 2023.

Considerações finais

No presente estudo, foram avaliados os usos considerados como insignificantes em detrimentos das outorgas de direito de uso, na Bacia do Rio Santo Antônio, localizado na porção alta do rio Doce, considerando apenas as captações superficiais de água. Os municípios Conceição do Mato Dentro e Itabira apresentam as maiores vazões captadas e a irrigação representa uma das finalidades de uso com maior vazão captada, representando respectivamente 38%, para as outorgas de direito de uso e 19% para as captações com vazão insignificante.

A soma da vazão outorgada para 14 municípios representa aproximadamente 13% do total outorgado, isto é, uma grande quantidade de municípios possui captações com baixas vazões. Por outro lado, 3 municípios representam quase metade da vazão outorgada. Estas informações podem auxiliar o gerenciamento e a tomada de decisões no processo de outorga da bacia, assim como nos processos de fiscalização. As finalidades abastecimento público, irrigação e dessedentação animal apresentam os maiores percentuais de captação.

Já em relação às captações com vazões insignificantes, o município Conceição do Mato Dentro apresenta a maior vazão de captação, representando 18,6% e a finalidade denominada “sem informação”, apresentou o segundo maior percentual de captação (20%). Tal finalidade pode estar suprimindo outras, o que pode mascarar a utilização da água na Bacia do Rio Santo Antônio.

Diante disso, as solicitações de dispensa de outorgas para as captações com vazões insignificantes devem ser avaliadas com cautela, observando a real necessidade de captação e assim, balizar a demanda e a disponibilidade hídrica, evitando possíveis conflitos. Recomenda-se a continuidade dos estudos, avaliando-se a disponibilidade e demanda hídrica mensal, assim como as captações subterrâneas, informações não consideradas neste estudo, visando um diagnóstico mais detalhado da bacia.

Agradecimentos

Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico apostado até o momento.

Referências Bibliográficas

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Revisão e Atualização do PDRH Santo Antônio e Propostas de Enquadramento**. ENGEORPS, 2022. Disponível em: <<https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2022/11/DO3-Relatorio-da-Proposta-de-Enquadramento-dos-Corpos-de-Agua.pdf>> Acesso em 31 jul. 2023.

BRASIL. **Lei n. 9.433 de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei no 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA SANTO ANTÔNIO – CBH SANTO ANTÔNIO. **A Bacia**. Disponível em: <<https://www.cbhsantoantonio.org.br/a-bacia>>. Acesso em: 09 mai. 2023.

CONEJO, João Gilberto Lotufo. **Limites quantitativos de utilização dos mananciais**. Disponível em <<https://shre.ink/a8F8>> Acesso em 16 mai. 2023.

IDE-SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Regularização Ambiental**. Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2023. Dado em formato vetorial (shapefile). Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 1 mai. 2023.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa CERH nº 09, de 16 de junho de 2004**. Define os usos insignificantes para as circunscrições hidrográficas no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004.

MOREIRA, Guilherme de Barros. **Diagnóstico da disponibilidade hídrica superficial da bacia hidrográfica do rio Suaçuí-MG e os impactos dos usos insignificantes de água**. 2021. 96 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA), Instituto de Ciências Puras e Aplicadas, Universidade Federal de Itabirá, Campus de Itabira, Minas Gerais, 2021.

RESUMOS



ÁREA TEMÁTICA
Gestão e Tratamento de Águas e Efluentes

REMOÇÃO DE PARACETAMOL E ATENOLOL POR PROCESSOS DE ADSORÇÃO E FENTON

¹Fayola Silva Silveira, ²Keila Guerra Pacheco Nunes, ³Vanessa Jurado-Davila, ⁴Liliana Amaral Féris

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, fayola00323395@gmail.com; ²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, keilagpn@gmail.com; ³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, vannessajd@hotmail.com; ⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul, lilianaferis@gmail.com;

Palavras-chave: Adsorção; Fenton; Fármacos

Resumo

A contaminação das águas representa grave problemática ambiental, causando impactos negativos na saúde humana e nos ecossistemas aquáticos (Jonsson, 2014). Através dos avanços nos métodos analíticos, foi possível identificar uma nova categoria de poluentes encontrados em corpos de água, conhecidos como poluentes emergentes (Rheinheimer, 2016). Esses poluentes são compostos bioativos presentes em medicamentos e produtos de higiene pessoal e têm gerado crescente preocupação devido aos problemas toxicológicos que causam ao ambiente e à população (Rheinheimer, 2016).

Os fármacos podem ser classificados como analgésicos, antibióticos, beta-bloqueadores e diuréticos, apresentam baixa eficiência de remoção nas estações de tratamento de efluentes (ETEs), variando de 30% a 50%. Isso indica que essas substâncias têm maior probabilidade de permanecerem no meio ambiente após o tratamento de águas residuais (Haro, 2017). Grande parte destes medicamentos é excretada na urina e fezes em sua forma original, com taxas de excreção superiores a 60%, sendo levados para os sistemas de esgoto doméstico sem alterações (Lopes, 2014). O lançamento de esgotos residenciais em águas superficiais é reconhecido como a principal fonte de poluição ambiental causada por medicamentos (Carvalho, 2009). Embora as concentrações de fármacos presentes nas águas sejam baixas, as pessoas podem se expor a esses compostos por meio do consumo de água potável, por exemplo (Rodríguez, 2012). Além disso, os efluentes hospitalares apresentam altos níveis de compostos farmacêuticos e uma carga microbiológica mais resistente que efluentes residenciais. Porém, muitos hospitais não possuem estações de tratamento de efluentes próprias, e enviam os efluentes para as mesmas estações de tratamento que os residenciais. Isso significa que as ETEs não são eficientes em eliminar completamente esses compostos e os efluentes, mesmo depois de tratado, ainda contém grande teor destes medicamentos (Frederic; Yves, 2014).

Dentre os diferentes tipos de medicamentos encontrados nas fontes de água, o paracetamol é um dos compostos mais frequentes, devido ser um dos analgésicos mais populares em todo o mundo devido aos seus efeitos de alívio da dor e febre. Grande parte do medicamento é metabolizada pelo organismo, e apenas 5% é excretado pela urina sem sofrer alterações (Najjar, 2014). Apesar de não apresentar efeitos colaterais imediatos, altas concentrações de paracetamol no organismo podem levar a toxicidade hepática e falha renal devido ao acúmulo de metabólitos. Além disso, devido ao seu amplo consumo, pode ser encontrado em forma de micropoluentes em ETEs (Nunes, 2014).

Além do Paracetamol, de acordo com Patel (2019), o atenolol (ATL) também é um dos beta-bloqueadores mais populares e amplamente utilizados no mundo, já que é comumente utilizado no tratamento de doenças cardiovasculares e é conhecido por ter menos efeitos adversos, além de aliviar sintomas de ansiedade e enxaqueca (Edvardsson, 2013). A principal via de eliminação deste fármaco é a urina, na qual cerca de 40% a 50% da dose é excretada inalterada, e o restante excretado inalterado pelas fezes (Küllkamp, 2003). Devido às suas características persistentes, baixa biodegradabilidade e resistência microbiana, os fármacos como o paracetamol e o atenolol não são totalmente removidos, pelos processos convencionais de tratamento de água, como floculação, decantação, filtração e desinfecção, realizados nas estações de tratamento de efluentes (ETE's). Uma vez que os métodos convencionais apresentam eficiências limitada e geram grande quantidade de lodo que pode conter resíduos desses medicamentos, é necessário adicionar um tratamento terciário com tecnologias avançadas, que têm como objetivo a completa eliminação completa de poluentes tóxicos (Haro, 2017). Por tanto, nas últimas décadas os Processos Oxidativos Avançados (POAs) têm se destacado na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de tratamento de águas residuais, por se tratar de métodos eficientes (Araújo, 2016). Os POAs são processos que buscam a oxidação de compostos orgânicos, capazes de degradar contaminantes em fase aquosa ou adsorvidos em uma matriz sólida, transformando a grande maioria dos contaminantes em dióxido de carbono (CO₂), água (H₂O) e ânions inorgânicos (Heberle, 2016).

O objetivo deste trabalho foi explorar a eficiência das técnicas de adsorção e Fenton, para a remoção de Paracetamol e Atenolol. Foi levado em consideração que, a eficácia da adsorção na remoção de poluentes depende de condições específicas, como propriedades do adsorvente, portanto, foi selecionado como material adsorvente o carvão ativado, já que é um sólido amplamente utilizado devido à sua capacidade de adsorver diversos contaminantes. Por outro lado, os processos oxidativos avançados, como o Fenton, são capazes de degradar e mineralizar poluentes, com destaque para o radical hidroxila (\bullet OH) como agente oxidante principal (Wang, 2020). Embora o processo Fenton seja eficiente na degradação de uma ampla gama de fármacos, a mineralização completa desses compostos ainda é desafiadora. Portanto, no presente trabalho foi resolvido analisar os métodos com o objetivo de estudar sua eficiência na mitigação de fármacos.

Metodologia

Adsorção

Foram realizados ensaios de adsorção individuais para os fármacos atenolol e paracetamol em batelada para investigar tempo de contato ideal nos intervalos de 5, 10, 20, 30, 60 e 90 minutos e concentração de sólido adsorvente em 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 g.L⁻¹. Todos os ensaios realizados em pH natural e temperatura controlada de 25 °C. Em cada ensaio de adsorção, utilizou-se 100 mL de solução para cada fármaco na concentração estabelecida, à temperatura ambiente, em erlenmeyers de 250 mL. Depois de preparar as soluções, o carvão ativado granular foi pesado na balança semi-analítica e adicionado à solução. Os experimentos foram realizados em duplicata na Incubadora Shaker Refrigerada de Bancada (modelo LUCA-223, marca Lucadema) na frequência de 28 (± 2) rpm. Depois dos ensaios de adsorção, as amostras foram filtradas em papel filtro e lidas em espectrofotômetro UV/VIS no comprimento de onda de 224 nm e 243 nm. Os resultados do processo de adsorção foram expressos em percentual de remoção do poluente, dado pela equação 1 abaixo:

$$\text{Remoção (\%)} = ((C_o - C_f) / C_o) \times 100 \quad (1)$$

Onde: C_o é a concentração inicial do fármaco e C_f a concentração final do fármaco na solução.

Fenton

No estudo do processo Fenton, foi investigada a influência das concentrações de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e Fe²⁺ em uma proporção de 1:10, conforme descrito por Carvalho (2021). Para os experimentos, foram utilizados 250 mL da solução de fármaco (40 mg.L⁻¹) em um Becker de 250 mL. O pH da solução foi ajustado para 3 a fim de evitar a precipitação dos íons de ferro. Em seguida, uma quantidade pré-determinada de sulfato ferroso heptahidratado (FeSO₄.7H₂O) foi pesada e adicionada à solução sob agitação usando um Agitador Magnético (modelo NL 01-01- A E2, marca New Lab). Uma alíquota de 20 mL foi retirada imediatamente após a adição do H₂O₂, sendo considerada como o tempo zero. O cronômetro foi iniciado neste momento para registrar o tempo de reação. Durante o processo, alíquotas de 20 mL foram retiradas em intervalos de tempo de 5, 15, 30 e 60 minutos, e o pH foi ajustado para 11 para interromper a reação. Todas as alíquotas retiradas da solução foram filtradas em membrana de acetato de celulose com porosidade de 0,20 µm e enviadas para análise de HPLC e TOC. Na análise de HPLC foi observada a eficiência da degradação do fármaco conforme equação 1 e na análise de TOC foi observada a porcentagem da mineralização (M) da amostra, medida através do carbono orgânico total, determinada pela equação 2.

$$M(\%) = (COT_o - COT_f) / COT_o \times 100 \quad (2)$$

Onde: COT_o e COT_f são os valores de Carbono Orgânico Total dos fármacos, respectivamente.

Resultados e Discussão

A FIGURA 1 indica os resultados dos processos de adsorção e Fenton. Analisando os resultados, a FIGURA 1(a), indica que o aumento da concentração de sólido adsorvente resulta em um aumento gradual na remoção dos fármacos, até atingir um ponto de equilíbrio em que a remoção se mantém constante. Para o atenolol, a maior remoção (88%) foi alcançada com 30 g.L⁻¹ de sólido adsorvente, enquanto para o paracetamol, a melhor remoção (97%) foi obtida com 20 g.L⁻¹ de carvão ativado. Esse aumento na remoção pode ser atribuído ao aumento da área de adsorção disponível com a quantidade de sólidos. A remoção no tempo de contato diminui gradualmente após aproximadamente 30 minutos (mostrado na FIGURA 1 (b)), indicando o estabelecimento do equilíbrio do processo. Esse comportamento é causado pela diminuição dos sítios ativos livres na superfície do carvão, que são inicialmente ocupados pelo adsorvato. O equilíbrio é estabelecido quando não há mais transferência de massa ocorrendo entre a fase aquosa e a fase adsorvida no sólido. Nos experimentos realizados com Fenton, mostrados na FIGURA 1(c) foi encontrado que, a degradação total dos fármacos ocorre nos minutos iniciais, mas a mineralização é limitada, não ultrapassando 60% ao final do processo. Isso pode ser devido à baixa seletividade do radical hidroxila nos processos oxidativos avançados (POAs) (Zhang, 2019). A mineralização aumenta com o tempo de reação e a concentração dos reagentes, indicando uma produção inicial rápida de radicais hidroxila, seguida de uma diminuição devido ao consumo de peróxido de hidrogênio e íons ferro. Esse comportamento é consistente com a literatura sobre a degradação de fármacos por processos Fenton (Aboudalle, 2018).

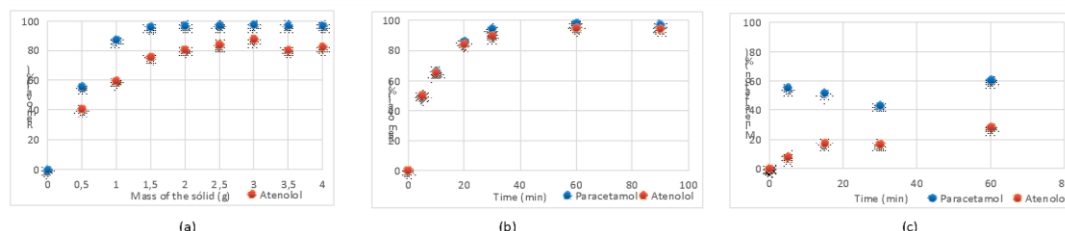


Figura 1: Resultados de adsorção e Fenton. (a) Concentração de sólido adsorvente na adsorção de atenolol e paracetamol (C_o=40 mg.L⁻¹ e T=30 minutos); (b) Influência do tempo de contato na adsorção de atenolol e paracetamol (C_o=40 mg.L⁻¹ e C_{carvão}=30 g.L⁻¹); (c) Mineralização de atenolol e paracetamol (H₂O₂=20 mL 35% (v/v) e Fe²⁺=20 g.L⁻¹);

Conclusão

Os resultados do processo de adsorção indicaram que, para o atenolol, a maior remoção (88%) foi alcançada com 30 g.L⁻¹ de carvão ativado, enquanto para o paracetamol, a melhor remoção (97%) foi obtida com 20 g.L⁻¹ do sólido. Nos experimentos realizados com Fenton, foi encontrado que a degradação total dos fármacos ocorre nos minutos iniciais e a

mineralização atingiu o 60%. Os resultados deste estudo evidenciam a eficiência da adsorção e do processo Fenton na remoção e degradação de fármacos, respectivamente. Após a determinação das condições ideais nos experimentos de adsorção, serão conduzidos experimentos para a mistura de atenolol e paracetamol. Em seguida, serão realizados experimentos de Fenton para a mistura de fármacos, além da combinação dos dois processos - adsorção e Fenton - com as condições ideais de cada um. Adicionalmente, serão realizados ciclos repetidos do processo combinado para avaliar a viabilidade do uso prolongado do carvão ativado por meio do processo Fenton. Essas etapas adicionais contribuirão para uma melhor compreensão da eficiência e potencial aplicação do processo combinado no tratamento de efluentes contendo fármacos.

Referências Bibliográficas

Aboudalle, A.; Fourcade, F.; Assadi, A.; Domergue, L.; Djelal, H.; Lendormi, T.; Taha, S.; Amrane, A. 2018. Reactive oxygen and iron species monitoring to investigate the electro-Fenton performances. Impact of the electrochemical process on the biodegradability of metronidazole and its by-products. *Chemosphere*, v. 199, p. 486–494.

Araújo, K.; Antonelli, R.; Gaydeczka, B.; Granato, A.; Malpass, G. 2016. Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 11, p. 388-389.

Carvalho, E.; Ferreira, E.; Mucini, L.; Santos, C. 2009. Aspectos legais e toxicológicos do descarte de medicamentos. *Revista Brasileira de Toxicologia*, Campinas, v. 22, p.1-8.

Carvalho, C. 2021. Degradação de Ampicilina através de processos combinados: Adsorção e Reação de Fenton. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Edvardsson, B. 2013. Atenolol in the prophylaxis of chronic migraine: a 3-month openlabel study. v. 2, n. 1, p. 479.

Frederic, O.; Yves, P. 2014. Pharmaceuticals in hospital wastewater: Their ecotoxicity and contribution to the environmental hazard of the effluent. *Chemosphere*, v. 115, p. 31–39.

Haro, N. 2017. Remoção dos fármacos Atenolol, Paracetamol e Ampicilina por adsorção em carvão ativado. Tese (Doutorado no Programa de Pós-graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Heberle, A. 2016. Processos oxidativos avançados aplicados na degradação do retardante de chama 2,4,6-Tribromofenol. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Külkamp, I. C. 2003. Avaliação da qualidade de cápsulas manipuladas de antihipertensivos. Validação de metodologias analíticas: titulométrica, espectrofotométrica e cromatográfica. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Lopes, B. 2014. Efeitos da fotólise e fotocatalise heterogênea sobre a dinâmica de fármacos presentes em esgoto sanitário tratado biologicamente. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais.

Najjar, E.; Touffet, A.; Deborde, M.; Journel, R.; Leitner, V. 2014. Kinetics of paracetamol oxidation by ozone and hydroxyl radicals, formation of transformation products and toxicity. *Separation and Purification Technology*, v. 136, p. 137-143.

Nunes, B.; Antunes, S. C.; Santos, J.; Martins, L.; Castro, B. 2014. Toxic potential of paracetamol to freshwater organisms: A headache to environmental regulators. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 107, p. 178-185.

Patel, M. 2019. Pharmaceuticals of Emerging Concern in Aquatic Systems: Chemistry, Occurrence, Effects, and Removal Methods. *Chemical Reviews*, v. 119, p. 3510–3673.

Rheinheimer, Martin Oscar Witzke. 2016. Remoção de paracetamol por adsorção em carvão ativado: processo em batelada e coluna de leito fixo. Trabalho de conclusão de graduação de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Rodriguez, P.; Miralles, S.; Oller, I.; Aguera, A.; Puma, G. L.; Malato, S. 2012. Treatment of emerging contaminants in wastewater treatment plants (WWTP) effluents by solar photocatalysis using low TiO₂ concentrations. *Journal of Hazardous Materials*, v. 211, p 131-137.

Wang, T.; Wang, Z.; Wang, P.; Tang, Y. 2018. An Integration of Photo-Fenton and Membrane Process for Water Treatment by a PVDF@CuFe₂O₄ Catalytic Membrane. *J. Memb. Sci.* v. 572, p. 419–427.

Zhang, M.; Hui, Dong, H.; Zhao, L.; Wang, D. xi; Meng, D. 2019. A review on Fenton process for organic wastewater treatment based on optimization perspective. *Sci. Total Environ.* v. 670, p. 110–121.

ASPECTOS AMBIENTAIS DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS INDIVIDUAIS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO E A UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO

¹Leonardo Rodrigues Moreira, ²Luciana Turatti

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: moreira.leo@gmail.com;

²Universidade do Vale do Taquari, e-mail: lucianat@univates.br

Palavras-chave: Sistemas Individuais de Esgotamento Sanitário; Universalização; Novo Marco Legal do Saneamento;

Resumo

O Novo Marco Legal do Saneamento Básico – Lei n. 14.026 de 15 de julho de 2020, dentre tantos avanços, trouxe consigo o estabelecimento da meta de universalização de 90% do esgotamento sanitário até o ano de 2.033 (Brasil, 2020). Tal proposição apresenta-se como um grande desafio para o setor de Saneamento Básico em nível nacional, visto o estado atual da abrangência da prestação desse serviço. Tal novidade foi ao encontro das imperativas necessidades do aumento da cobertura dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil frente a histórica baixa celeridade de sua expansão. Na Figura 1, pode-se observar a tímida evolução no número de municípios com algum tipo de serviço de esgotamento sanitário no Brasil (IBGE, 2020).

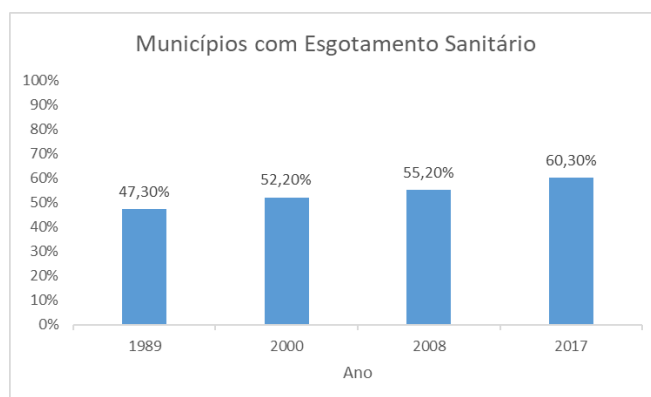


Figura 1: Evolução do número de municípios com algum tipo de serviço de esgotamento sanitário no Brasil.

Fonte: IBGE (2020).

Um dos principais entraves para que a universalização seja atingida no país é o elevado custo para a instalação de infraestrutura. A literatura aponta que as redes coletoras se constituem na parte dos sistemas que requer maior aporte de recursos (Alem Sobrinho e Tsutiya, 1999). Dessa forma, levanta-se a necessidade do estudo de alternativas menos onerosas para ampliação do atendimento.

No Brasil, uma tecnologia amplamente difundida e de baixo custo de instalação, a qual não necessita de redes coletoras, são os Sistemas Individuais de Esgotamento Sanitário – SIES, com a utilização de tanques sépticos individuais, os quais são popularmente chamados de fossas sépticas. A adoção de tal solução requer que seja realizada limpeza periódica da unidade domiciliar, conforme preconizado em normativa técnica (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1993).

Diante do exposto, urge a necessidade da avaliação do emprego dos SIES com vistas à universalização do esgotamento sanitário. Posto isto, é imperativo que seja verificada a viabilidade técnica da adoção desta tecnologia. O objetivo deste trabalho é avaliar o emprego de SIES para o atendimento das metas de universalização, com enfoque em seus aspectos ambientais. Para tanto, o presente trabalho propõe uma revisão bibliográfica para elencar as situações nas quais seja favorável o emprego dos SIES.

Os tanques sépticos individuais são a forma de esgotamento sanitário mais amplamente utilizada ao redor do mundo, mesmo sendo uma solução do tipo fim-de-tubo (Richards et al., 2016; Souza et al., 2023). Sua utilização tem algumas vantagens, incluindo baixo custo e confiabilidade, facilidade construtiva, funcionamento sem necessidade de eletricidade e manuseio simples. As fossas sépticas revelam-se instalações prioritárias em áreas residenciais carentes de redes coletoras de esgoto cloacal ou com baixa densidade populacional (Singh et al., 2019; Ebrahimi et al., 2018).

Uma fossa séptica consiste em um sistema de tratamento passivo, podendo ser classificada como um digestor anaeróbico de baixa taxa. O projeto de fossa séptica mais comum é um sistema de duas câmaras, tendo como principal parâmetro operacional o nível de sólidos acumulados na primeira câmara. Os principais processos que ocorrem dentro do tanque incluem a segregação de sólidos sedimentáveis e sobrenadantes, acumulação, consolidação e armazenamento de

sólidos, digestão de matéria orgânica e descarga de efluentes tratados. A principal função de uma fossa séptica é a remoção de sólidos, onde as partículas tendem a afundar ou flutuar, desenvolvendo uma estratificação de fases separadas – uma camada inferior de lodo, uma camada intermediária de líquido e uma camada superior de sobrenadante composta de graxa e partículas finas. A tecnologia é responsável, além da retenção de sólidos, pela remoção de 30-40% da carga orgânica total das águas residuais domésticas. Se a sedimentação dos sólidos for inadequada, a qualidade do efluente se deteriorará, o que pode ter um efeito prejudicial na próxima etapa do processo. O tempo de retenção hidráulica dentro de uma fossa séptica diminui à medida que a quantidade de lodo digerido acumulado no sistema aumenta, resultando em períodos de tratamento mais curtos. Para manter a eficiência do processo alta, os tanques sépticos devem ser esvaziados, em média, a cada 2 a 3 anos, dependendo da taxa de produção de esgoto e das características construtivas da unidade. No entanto, em geral, a remoção de lodo por caminhão do tipo limpa-fossa apenas ocorre quando há um entupimento ou quando um odor desagradável é percebido. Esses problemas surgem quando o tanque está completamente cheio e o esgoto é lançado no meio ambiente sem tratamento adequado, o que leva à contaminação das águas subterrâneas ou superficiais. Outra questão em relação à tal tecnologia, principalmente nos países em desenvolvimento, se dá pelos desafios associados ao tratamento e disposição do lodo gerado (Mahon et al 2022; Ebrahimi et al., 2018).

A eficiência desses sistemas se reflete na qualidade do efluente e o funcionamento do sumidouro. A utilização de fossas apresenta riscos potenciais à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos, caso atinja águas superficiais ou subterrâneas sem tratamento eficaz, o qual é função do desempenho do tanque, do tempo de retenção hidráulica e dos processos físicos, biológicos e químicos associados. A qualidade do efluente também depende da matéria orgânica presente e uso de produtos químicos em casa, o que afeta crescimento bacteriano e atividade no tanque (Richards et al., 2016).

A geração de lodo e sua composição diferem em alguns aspectos das características do esgoto. Na maioria dos casos, o lodo apresenta maior concentração de componentes sólidos e dissolvidos e alto teor de matéria orgânica. A biodegradação desses componentes produz um alto nível de nutrientes dissolvidos; conseqüentemente, requer um método adequado de manejo e tratamento (Ebrahimi et al., 2018). A operação eficaz de tanques sépticos individuais requer a remoção regular lodo e, portanto, o conhecimento das taxas de enchimento de lodo esperadas é essencial tanto para o proprietário da residência quanto para os responsáveis pela gestão do esgotamento sanitário do município (Mahon et al 2022).

Os métodos disponíveis para o tratamento e eliminação de lodo incluem a digestão anaeróbia (reator UASB), o tratamento físico-químico (precipitação com cal e cloreto férrico e desidratação com um filtro prensa), sistemas ecológicos de tratamento de águas residuais (*wetlands*), processos biológicos de remoção de nutrientes (lagoas ou tanques de estabilização) e o co-tratamento em estações de tratamento de esgoto convencionais. Nos sistemas de co-tratamento, seria necessária uma grande diluição com esgoto para fazer face a choques orgânicos excessivos e à perturbação do funcionamento dos sistemas (Ebrahimi et al., 2018).

Outra necessidade fundamental para a correta operação de tais unidades é que devem ser evitados transbordamentos de efluente. Uma fossa séptica pode transbordar, dentre outros fatores, devido a encanamentos danificados ou bloqueados, refluxo do sistema de esgoto, danos em sua estrutura ou como resultado de níveis de água acima do tubo de escoamento. Portanto, é imperativo que o nível de esgoto na fossa séptica seja monitorado para garantir a evacuação rápida no momento do enchimento para evitar que ela transborde (Oduah e Ogunye, 2023).

No estágio atual, a melhoria das fossas sépticas convencionais concentra-se principalmente em dois aspectos: alterar a direção do fluxo de esgoto na fossa séptica para melhorar a digestão anaeróbica e definir uma camada de enchimento apropriada na fossa séptica tanque para aumentar ainda mais a capacidade de remoção de poluentes; e, a otimização do projeto, o qual é crucial para que as fossas sépticas convencionais melhorem a qualidade do efluente, resolvendo o problema enfrentado pelos sistemas convencionais de tratamento de esgoto, para alcançar as metas de sustentabilidade (Singh et al., 2019).

Com base no processo de saneamento de cada país, é difícil determinar se o país está atingindo o saneamento total apenas considerando a disponibilidade de instalações sanitárias em uma área. Também é importante avaliar as questões aprofundadas relacionadas à geração e disposição de lodo dessas instalações sanitárias, juntamente com sua disponibilidade, a fim de determinar adequadamente 100% de saneamento de uma área (Jakaryia et al., 2023).

Diante do exposto e tendo em vista as metas de universalização propostas no Novo Marco do Saneamento, a implantação de serviço de limpeza programada de SIES apresenta-se como uma alternativa viável técnica e financeiramente. O baixo custo inicial de instalação das unidades, bem como a inexistência da necessidade de redes coletoras fortalece a opção por tal tecnologia em larga escala, revelando-se um caminho promissor para a ampliação no atendimento do esgotamento sanitário. A solução apresenta ainda maiores benefícios em áreas urbanas com baixa taxa de ocupação, além de bairros com ausência de redes coletores e na zona rural. Destaca-se ainda ser de suma importância que a gestão da operação do serviço de limpeza programada atenda a todas as exigências legais e regulamentares a fim de garantir que sua execução seja ambientalmente adequada.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos: Rio de Janeiro. 1993.

Alem Sobrinho, P.; Tsutyia, M. T.; Coleta e transporte de esgoto sanitário. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 1999.

Brasil. Lei Federal nº 14.026, de 17 de julho de 2020.

EBRAHIMI, Atieh; YOUSEFI KEBRIA, Daryoush; NAJAFPOUR, Ghasem D. Co-treatment of septage and municipal wastewater in a quadripartite microbial desalination cell. *Chemical Engineering Journal*, v. 354, p. 1092-1099, dez. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.08.107>. Acesso em: 5 jul. 2023.

IBGE. Pesquisa Nacional do Saneamento Básico 2017: Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de População e Indicadores, 2020.

JAKARIYA, Md et al. ICT-based solution for efficient fecal sludge management: An experience from Bangladesh. *Heliyon*, p. e15200, abr. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15200>. Acesso em: 5 jul. 2023.

MAHON, Joanne Mac; KNAPPE, Jan; GILL, Laurence W. Sludge accumulation rates in septic tanks used as part of the on-site treatment of domestic wastewater in a northern maritime temperate climate. *Journal of Environmental Management*, v. 304, p. 114199, fev. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114199>. Acesso em: 5 jul. 2023.

ODUAH, Uzoma Ifeanyi; OGUNYE, Emmanuel B. A smart solution for preventing environmental pollution caused by overflowing onsite sewage septic tank. *Heliyon*, p. e14925, mar. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14925>. Acesso em: 5 jul. 2023.

RICHARDS, Samia et al. Septic tank discharges as multi-pollutant hotspots in catchments. *Science of The Total Environment*, v. 542, p. 854-863, jan. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.160>. Acesso em: 5 jul. 2023.

SINGH, Rajendra Prasad; KUN, Wei; FU, Dafang. Designing process and operational effect of modified septic tank for the pre-treatment of rural domestic sewage. *Journal of Environmental Management*, v. 251, p. 109552, dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109552>. Acesso em: 5 jul. 2023.

SOUZA, Hugo Henrique de Simone et al. Environmental assessment of on-site source-separated wastewater treatment and reuse systems for resource recovery in a sustainable sanitation view. *Science of The Total Environment*, p. 165122, jun. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165122>. Acesso em: 5 jul. 2023.

SISTEMA WETLANDS CONSTRUÍDOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES EM CAMPUS UNIVERSITÁRIO: PARTIDA E OPERAÇÃO

¹Odorico Konrad, ²Gustavo Stolzenberg Colares, ³Henrique Weizenmann, ⁴Camila Naele Giovannella Stacke, ⁵Lenin Domingues Garcia, ⁶Tainá Conzatti, ⁷Carlos Alexandre Lutterbeck, ⁸Enio Leandro Machado.

¹Universidade do Vale do Taquari, e-mail: okonrad@univates.br; ²Universidade do Vale do Taquari, e-mail: gustavo.colares@univates.br; ³Universidade do Vale do Taquari, e-mail: hweizenmann@universo.univates.br; ⁴Universidade do Vale do Taquari, e-mail: cngiovanella@univates.br; ⁵Universidade do Vale do Taquari, e-mail: lenindg@gmail.com; ⁶Universidade do Vale do Taquari, e-mail: taina.conzatti@universo.univates.br; ⁷Universidade de Santa Cruz do Sul, e-mail: carlosalexandre@unisc.br; ⁸Universidade de Santa Cruz do Sul, e-mail: enio@unisc.br;

Palavras-chave: Soluções Baseadas na Natureza; Fitorremediação; Alagados Construídos.

Resumo

Nas últimas décadas, têm ganhado popularidade pesquisas que visem aproximar os serviços de saneamento do conceito de economia circular. Nesse contexto, os sistemas *Wetlands* Construídos, considerados uma solução baseada na natureza, têm se destacado por sua comprovada eficiência de tratamento de águas residuárias, bem como sua capacidade de promover outros benefícios secundários, tais como recuperação de recursos, integração paisagística, benefícios para a fauna local e sequestro de CO₂ da atmosfera (DELL'OSBEL *et al.*, 2020).

As primeiras experiências com *Wetlands* Construídos começaram na Alemanha ainda na década de 1960. São definidos como sistemas de engenharia projetados e operados visando utilizar mecanismos naturais envolvidos no solo, água e microrganismo para o tratamento de águas residuárias. Existem atualmente diversas configurações de sistemas *Wetlands* Construídos, das quais destacam-se os sistemas de fluxo vertical, fluxo horizontal subsuperficial e fluxo de superfície livre. Uma vez que cada tipo de *Wetland* Construído tem vantagens e limitações, sistemas combinando diferentes arranjos de *Wetlands* Construídos se tornam especialmente interessante por integrar as potencialidades de cada configuração. Estes sistemas são conhecidos como *Wetlands* Construídos Híbridos (VYMAZAL, 2022).

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi de desenvolver e dar partida em um sistema composto por *Wetlands* Construídos Híbridos em escala real para o tratamento e reuso de efluentes oriundos de um prédio em um Campus Universitário na cidade de Lajeado no Rio Grande do Sul.

O sistema foi projetado para receber uma vazão de efluentes de aproximadamente 5 m³/dia (fluxo constante) após tratamento primário (do tipo ETE compacta) sendo operado com fluxo contínuo. As três unidades foram construídas em alvenaria, com cada tanque possuindo 24 m², totalizando 72 m², preenchidas com brita n.3, brita n.2, brita n.1 e pedrisco (brita n.0). O sistema integrou uma unidade de fluxo vertical, seguido por uma unidade de fluxo horizontal subsuperficial, e por último mais unidade com fluxo vertical. A distribuição dos efluentes foi realizada através de tubulações perfuradas conforme indicações do material publicado por Von Sperling e Sezerino (2018)

Os tanques foram vegetados em dezembro de 2022 com diferentes espécies de plantas, visando promover um maior paisagismo no local, e ainda otimizar a eficiência de tratamento. Nas bordas dos tanques foram plantadas mudas de *Agapanthus* sp. e “Mini Papiro” (*Cyperus payrus* Nanus), enquanto nas regiões central e intermediárias dos tanques foram inseridos *Cyperus payrus* e *Canna X generalis*. A Figura 1 apresenta um registro do sistema desenvolvido passados 6 meses de operação, com a indicação da entrada de efluentes e a ordem dos estágios de tratamento.



Figura 1: Registro fotográfico das 3 unidades de *Wetlands* Construídos após aprox. 6 meses de operação.

A partir da Figura 1, é possível verificar-se que as mudas plantadas no primeiro tanque se desenvolveram consideravelmente mais que as mudas do *Wetland 2*, que por sua vez se desenvolveram mais que as mudas presentes no último estágio de tratamento (*Wetland Construído 3*). Esse fenômeno pode estar associado principalmente a dois aspectos: a maior carga de nutrientes presentes na entrada do primeiro tanque, a qual tende a diminuir após cada estágio de tratamento; O plantio das mudas ter sido realizado no verão, um período caracterizado por elevadas temperaturas e pouca precipitação, o qual coincidiu ainda com as férias no campus universitário, diminuindo drasticamente a vazão de efluentes disponíveis para as plantas, principalmente do terceiro (e último estágio). Não somente, é possível observar que as plantas das espécies *C. papyrus* e *C. generalis* se desenvolveram muito mais que as mudas de *Agapanthus* sp., o que pode estar associado ao choque de carga ou as condições de saturação implementadas.

Em relação ao monitoramento analítico, foram monitorados a temperatura, pH e sólidos sedimentáveis (através de Cones Imhoff). Posteriormente, serão conduzidas análises de fósforo solúvel, N amoniacal, turbidez, cor absorciométrica (420 nm), sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica, conforme a legislação ambiental vigente (CONSEMA 355/17e NBR 13969/97). Na Figura 1, são apresentadas amostras nos cones Imhoff após cada uma das etapas de tratamento (WC1, WC2 e WC3).



Figura 2: Ensaio de sedimentação com amostras coletadas após cada uma das etapas de tratamento.

A partir do registro apresentado na Figura 1, é possível verificar-se que o sistema foi eficiente na clarificação dos efluentes, apresentando um aspecto mais “agradável” quando é considerado o potencial reuso local não potável dos efluentes. Entretanto, um monitoramento de parâmetros como cor absorciométrica e turbidez são necessários nesse contexto. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos com a primeira campanha de análises de amostras.

Tabela 1: Análise preliminar (primeira batelada de ensaios) do desempenho de tratamento do sistema desenvolvido.

UNIDADE	TEMPERATURA (°C)	SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL/L)	pH
BRUTO	14,5	9,5	7,89
PÓS REATOR	13,5	1,4	7,67
PÓS WC 1	12,5	4,0	7,57
PÓS WC 2	12,5	1,00	7,64
PÓS WC 3	12,5	0,15	7,41

A partir dos dados apresentados na Tabela 1, observou-se que o efluente sofreu uma leve acidificação (possivelmente resultado da presença de matéria orgânica), enquanto a temperatura se manteve praticamente constante. Já em relação aos Sólidos sedimentáveis (mL/L), o sistema desenvolvido demonstrou ser eficiente na redução desse parâmetro, alcançando uma eficiência de remoção de aproximadamente 98%. O desempenho superior da última unidade de tratamento deve estar associado ao emprego da brita de menor granulometria (brita n.0 ou pedrisco) no *Wetlands Construído 3*, o que promove uma maior capacidade de filtração dos sólidos presentes no efluente.

Apesar de poucos parâmetros terem sido analisados até o presente momento, e um monitoramento por um período superior ser necessário, os resultados preliminares têm mostrado um desempenho promissor do sistema de tratamento desenvolvido. Espera-se ainda que, com um maior desenvolvimento das plantas e de seus sistemas radiculares, o sistema possa apresentar desempenho superior com o passar do tempo. Porém, nesse sentido é fundamental o monitoramento no mínimo anual para verificar-se a influência das estações do ano (principalmente temperatura e precipitação) na eficiência de tratamento. Dessa forma, é importante destacar que o presente trabalho apresenta apenas uma análise preliminar no sistema desenvolvido.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao SEBRAE, Fundação Renova, FAPERGS, CNQP, e Universidade do Vale do Taquari pelo apoio recebido. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento”

Referências Bibliográficas

ABNT-NBR 13969/1997. Norma técnica: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação.

DELL'OSBEL, Naira et al. Hybrid constructed wetlands for the treatment of urban wastewaters: increased nutrient removal and landscape potential. **Ecological Engineering**, v. 158, p. 106072, 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA. Resolução n° 355 de 13 de julho de 2017. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul.

VON SPERLING, Marcos; SEZERINO, Pablo H. DIMENSIONAMENTO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS NO BRASIL. DOCUMENTO DE CONSENSO ENTRE PESQUISADORES E PRATICANTES. **Boletim Wetlands Brasil**, p. 65, 2018.

VYMAZAL, Jan. The historical development of constructed wetlands for wastewater treatment. **Land**, v. 11, n. 2, p. 174, 2022.

SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA A GESTÃO DA ÁGUA EM REGIÕES ÁRIDAS E SEMIÁRIDAS: EXEMPLOS DO CHILE E DO BRASIL

Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro¹, Joel Barraza Soto², Abelardo Antônio de Assunção Montenegro³

¹Universidade do Algarve; Centro de Ciências do Mar e do Ambiente (MARE) - Coimbra, e-mail: jisidoro@ualg.pt;

²Universidad Católica del Norte, e-mail: jbarraza@ucn.cl; ³Universidade Federal Rural de Pernambuco, e-mail: montenegro.ufrpe@gmail.com

Palavras-chave: Gestão da água; Sustentabilidade; Regiões áridas e semiáridas

Enquadramento

A escassez de água representa um obstáculo fundamental para o desenvolvimento sustentável das comunidades locais e indústrias em regiões áridas e semiáridas. Neste trabalho, através da análise de dois casos de estudo, iremos observar como soluções sustentáveis para a gestão da água, a duas escalas distintas, podem fornecer perspectivas valiosas, abrindo caminho para um futuro mais promissor. O primeiro caso estudo leva-nos a La Higuera, na província de Elqui, Chile, para onde se propõe a instalação de um sistema de dessalinização alimentado por energia solar. Este sistema oferece uma fonte confiável de água potável para comunidades que enfrentam o situações muito graves de escassez de água. Ao utilizar a energia solar, o sistema não apenas garante um abastecimento sustentável de água, e economicamente viável, mas também contribui para a redução de emissões de carbono. O segundo caso de estudo transporta-nos para Pesqueira, Pernambuco, Brasil, onde um sistema de reutilização de águas residuais tratadas foi implementado com sucesso. Este sistema desempenha um papel vital no desenvolvimento sustentável da agricultura em pequena escala (familiar) e na produção pecuária. Ao utilizar águas residuais tratadas para fins de irrigação, são utilizadas técnicas controladas para conservação do solo e da água, beneficiando tanto o ambiente como a produção agrícola. Através de monitorização experimental, iremos observar os impactos de diferentes condições de cobertura do solo no controlo do escoamento superficial e do processo erosivo, revelando a eficácia desta abordagem sustentável. Estes casos de estudo enfatizam a importância da inovação, tecnologia e dos processos colaborativos na gestão sustentável da água em regiões com escassez deste bem fundamental. Este trabalho tem como objetivo discutir sobre os benefícios sociais, ambientais e económicos que surgem da implementação de tais soluções. Destacar-se-á o papel essencial desempenhado pela colaboração entre as partes interessadas, incluindo agências governamentais, instituições de investigação e comunidades locais, para garantir o sucesso e a escalabilidade destas iniciativas. As soluções sustentáveis para a gestão da água não são apenas viáveis, mas também imperativas para o desenvolvimento sustentável de regiões áridas e semiáridas. Ao juntarmos inovação e a tecnologia, criamos o potencial para superar os desafios da escassez de água e construir comunidades mais resilientes.

Sistema de dessalinização alimentado por energia solar em La Higuera (Chile)

O caso de estudo abrange duas comunidades situadas na região de Coquimbo (Chile), nomeadamente Chungungo e La Higuera, ambas inseridas na região administrativa de La Higuera. Esta região apresenta uma precipitação média anual de 89 mm, com valores extremos que variam de zero no norte a 220 mm no sul. A principal fonte de água potável na área é a acumulação de neve nas montanhas dos Andes. As comunidades localizadas ao longo da costa norte do Chile enfrentam desafios significativos no acesso à água potável, e frequentemente lidam com problemas relacionados com água e saneamento, tornando assim indispensável o desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis com baixos custos operacionais.

A comunidade de Chungungo é servida por um sistema de gestão de água potável chamado *Comite de Agua Potable Rural Chungungo* (CAPRC). O CAPRC instalou uma estação de dessalinização de água do mar junto à costa, a uma altitude de 10 m metros. Esta estação produz 5 l/s de água potável, que é então bombeada através de uma conduta com 1312 m de comprimento para um tanque de armazenamento localizado a uma altitude de 89 m. Posteriormente, a água é abastecida por gravidade a Chungungo. Atualmente, a procura por água potável na comunidade de Chungungo não excede 1 l/s, resultando numa capacidade excessiva para a estação dessalinizadora. Igualmente, a comunidade de La Higuera, situada à mesma altitude de Chungungo, mas localizada a 12 km da costa, recebe atualmente água potável através do sistema da CAPRC, de um poço situado no desfiladeiro “Los Choros”, localizado a 22 km ao norte de La Higuera. Esse desfiladeiro é ocasionalmente afetado por secas, o que torna necessário o abastecimento de água por camiões-tanque. Uma solução para minimizar a escassez de água nestas duas comunidades poderia envolver a utilização da capacidade excedente da planta de Chungungo para fornecer água potável a La Higuera. No entanto, embora La Higuera esteja apenas a 12 km da costa, a sua altitude média é de 585 m. Para além disto, uma cadeia montanhosa costeira com uma altitude de 700 m encontra-se entre as duas comunidades. Portanto, qualquer sistema para fornecimento de água potável que inclua uma conduta oriunda da estação de dessalinização, precisará ultrapassar este obstáculo. A Figura 1 ilustra o esquema do sistema de abastecimento de água potável de Chungungo para La Higuera.

Neste estudo foram analisados dois esquemas operacionais hidráulicos distintos. Estes dois esquemas envolvem a utilização de uma estação de dessalinização de água do mar utilizando a tecnologia de osmose inversa, bem como um sistema de adução de água potável através de condutas. Ambos os esquemas de operação dependem da radiação solar como fonte de energia primária, em conjunto com a energia potencial gravítica da água acumulada na cordilheira costeira. O primeiro esquema hidráulico utilizada a energia gravítica disponível para gerar energia elétrica. Em contraste, o segundo esquema utiliza água do mar microfiltrada, armazenada numa altitude elevada, para coadjuvar a operação do processo de osmose inversa. Para mais detalhes sobre este caso de estudo consultar Soto *et al.* (2023).



Figura 1: Esquema do sistema de abastecimento de água potável de Chungungo para La Higuera.

Sistema de reutilização de águas residuais para irrigação em Pesqueira, PE (Brasil)

A escassez de recursos hídricos e as condições climáticas extremas na região semiárida brasileira obrigam à adoção de abordagens inovadoras para a gestão da água, com vista à sustentabilidade agrícola e segurança hídrica. Este caso de estudo centra-se no uso de sistemas de tratamento de águas residuais domésticas, à escala familiar, para fins de irrigação, concretamente para o cultivo da *Opuntia ficus-indica* Mill., comumente conhecida como "palma forrageira", devido à sua notável adaptação ao ambiente semiárido. As águas residuais domésticas, quando devidamente tratadas, podem servir como uma fonte valiosa de água para irrigação, reduzindo a dependência de escassos recursos de água doce. Em Pesqueira, Recife-PE (Brasil), a implementação de sistemas de tratamento de águas residuais domésticas permitiu o cultivo da palma forrageira, oferecendo uma solução sustentável para a escassez de água nas práticas agrícolas. Estes sistemas empregam tecnologias de tratamento em reator anaeróbico, com filtração complementar, para assegurar a qualidade da água a utilizar para a irrigação. A Figura 2 ilustra parcelas experimentais com diferentes densidades de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.), irrigadas com água residual tratada.

A *Opuntia ficus-indica* Mill., uma espécie de cacto, oferece numerosas vantagens para o cultivo na região semiárida. Ela apresenta uma excepcional tolerância à seca, requerendo quantidades mínimas de água quando comparada com culturas convencionais. A alta adaptabilidade da palma forrageira a condições áridas bem como o seu valor nutricional tornam-na uma excelente opção de alimento para o gado, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da indústria pecuária local. Com vista a aumentar ainda mais a produtividade agrícola da palma forrageira e, simultaneamente, conservar os recursos hídricos, técnicas de cobertura do solo têm sido implementadas. O uso de cobertura com palha ajuda a manter os níveis de humidade no solo, reduzindo a evaporação e minimizando a perda de água por escoamento superficial. Além disso, a cobertura com palha atua como uma camada protetora, prevenindo a erosão e melhorando a saúde do solo ao promover a retenção de nutrientes e suprimir o crescimento de ervas daninhas. A combinação das práticas eficientes de irrigação e da cobertura do solo maximiza os benefícios já assegurados com a utilização da água proveniente dos sistemas de tratamento de águas residuais domésticas. Para mais detalhes sobre este caso de estudo consultar Almeida *et al.* (2023).



Figura 2: Parcelas experimentais com diferentes densidades de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.).

Conclusões

Os dois casos de estudo apresentados ilustram de forma contundente a importância das práticas de gestão sustentável da água em regiões áridas e semiáridas. Ao abordar desafios críticos de escassez hídrica com soluções inovadoras e colaborativas, como sistemas de dessalinização alimentados por energia solar e reutilização de águas residuais para irrigação, estes exemplos demonstram a viabilidade de um futuro onde o equilíbrio entre desenvolvimento humano e preservação ambiental é alcançado. Essas abordagens alinham-se estreitamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, particularmente, mas não exclusivamente, os ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 12 (Produção e Consumo Sustentáveis) e ODS 13 (Ação Climática), destacando como a colaboração entre diversos atores pode abrir o caminho para um progresso harmonioso e sustentável em direção a um futuro mais resiliente e equitativo.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado por uma bolsa da Universidad Católica del Norte, VRIDT N° 304/2018, e por fundos nacionais portugueses através da Fundação para a Ciência e Tecnologia, I. P (FCT), no âmbito dos projetos UIDB/04292/2020, UIDP/04292/2020, atribuídos à MARE, e LA/P/0069/2020, atribuído ao Laboratório Associado ARNET. No Brasil, este projeto é financiado pelo CNPq (Projeto MAIDAI - Mestrado e Doutorado em Inovação, processo 403.488/2020-4, com aportes financeiros da TPF Engenharia e Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA), e pela FACEPE (processo APQ 0414-5.03/20). O sistema SARA foi instalado em parceria com o Instituto Nacional do Semiárido - INSA, com recursos do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR), através de contrato entre o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura - IICA e a Fundação Parque Tecnológico da Paraíba (contrato n. 22200001).

Referências Bibliográficas

Almeida, J.S.; Montenegro, A.A.A.; Araújo, J.; Almeida, T.A.B.; Silva, J.P.; Carvalho, A.A.; Silveira, A.M.; Silva, J.R.L.; Araujo, E. 2023. Reuso hidroagrícola no semiárido: ações interdisciplinares e participativas em comunidades rurais de Pesqueira, Pernambuco, Aracaju, XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (*in press*).

Soto, Joel Barraza; Ramirez, Juan Antonio López; Araneda, Germán Merino; Millar, Carlos Basulto; Morales, Macarena; Martinez, Matías; Miranda-Godoy, Brayan; Isidoro, Jorge M. G. P. 2023. The fulfilled promise: A green way for seawater desalination through reverse osmosis. *Desalination and Water Treatment*, v. 292, p. 34-48.

REGULARIZAÇÃO TARIFÁRIA DO ESGOTO DOMÉSTICO EM RESIDÊNCIAS ABASTECIDAS POR POÇOS TUBULARES EM BOA VISTA-RR

¹Lucas Matos de Souza, ²Alex Bortolon de Matos, ³Iara Alexandra Wiswell Galán, ⁴Alexandre Gustavo Brands, ⁵Mariana Ramos Chrusciak

¹Universidade Federal de Roraima (UFRR), proflmatos.engcivil@gmail.com; ²Universidade Federal de Roraima (UFRR), alex.bortolon@ufr.br; ³Universidade Federal de Roraima (UFRR), iarawisgal@gmail.com; ⁴Universidade Federal de Roraima (UFRR), alexandre.brands@ufr.br; ⁵Universidade Federal de Roraima (UFRR), mariana.chrusciak@ufr.br

Keywords: Sewage, Ground water, Water Flow.

Palavras-Chave: Sanitário, Subterrâneo, Vazão.

Abstract

The study will be carried out through monitoring, over a period of 6 months, of water consumption in residences supplied by the Companhia de Água e Esgoto de Roraima (CAER) and residences that have a mixed supply, by the concessionaire and ground water. Since the company considers 80% of the volume of hydrometered water for sewage, there is a reduction in the amount charged by CAER in cases of water captured from tubular wells, but the sanitary volume remains unchanged. The objective is to evaluate the discrepancy in the amounts charged, which directly implies a reduction in billing and ongoing expenses in sanitary treatment. For quantitative data collection, the hydrometered water flow measurement method will be used and collected from the wells. For the qualitative, calculation spreadsheets will be prepared for data analysis. The results to be achieved are the amounts of sewage captured and treated, but not charged due to the use of groundwater. Thus, in line with the Sustainable Development Goal for Drinking Water and Sanitation to support and strengthen the participation of local communities, to improve water and sanitation management, it is expected to conclude that there is a need for regulatory laws for water users. domestic ground water.

Resumo

O estudo será realizado por meio de um monitoramento, em um período de 6 meses, do consumo de água em residências abastecidas pela Companhia de Água e Esgoto de Roraima (CAER) e residências que possuem abastecimento misto, pela concessionária e águas subterrâneas. Visto que a empresa considera 80% do volume de água hidrometrada para esgoto, há redução do valor cobrado pela CAER em casos de água captada de poços tubulares, porém o volume sanitário se mantém inalterado. Objetiva-se avaliar a discrepância dos valores cobrados, o que implica, diretamente, em redução de faturamento e gastos contínuos no tratamento sanitário. Para coleta quantitativa dos dados, será utilizado o método de aferição de vazão de água hidrometrada e captada dos poços. Para o qualitativo, será elaborado planilhas de cálculo para análise dos dados. Os resultados a serem alcançados são os valores de esgoto captado e tratado, mas não cobrados devido ao uso das águas subterrâneas. Dessa forma, em conformidade com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável de Água Potável e Saneamento para apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento, espera-se concluir que há a necessidade de leis regulatórias para usuários de água subterrânea domésticas.

Introdução

O método utilizado pelas concessionárias, inclusive a CAER, para determinação das vazões de águas residuárias domésticas, conforme Leme (1977), é ao considerar que 80% da vazão de água consumida pelas residências. Segundo Pereira (2000), essa forma da tarifação é importante para estimar os volumes de água e esgoto produzidos devido à dificuldade de instalação de macro e micro-medidores de esgoto. Dessa forma, destaca-se a importância do conhecimento do consumo per capita de água em uma região. Conforme Neto (1996), esse método possui influência no consumo total de uma cidade, pois em regiões onde há hidrômetros verifica-se consumo menores onde não há.

O consumo per capita de uma localidade é influenciada, principalmente, pelos fatores de clima, hábitos, padrões de vida, qualidade da água, tarifa de água, pressão, disponível da rede de abastecimento, a finalidade do consumo, entre outros. (HAMMER, 1979; NETO. 1996).

Segundo SNIS (2022), no Brasil, o consumo médio per capita de água em 2020 foi de 152,1 L/hab/dia. Isso represente uma redução de 1,2% em relação ao ano anterior. Tal diminuição é proveniente do aumento de 2,7% na população atendida (de 170.804.516 para 175.451.089 habitantes) com abastecimento de água em relação de 2019. Entretanto, o volume de água consumida apresenta um acréscimo de 1,5%. Dessa forma, o crescimento do volume de água consumida de 2019 para 2020 não acompanha proporcionalmente o aumento da população atendida. A região Norte apresentou na mesma data um consumo médio per capita de 140 L/hab/dia, Roraima apresentou 135 L/hab/dia. Conforme Caldas e Filho (2022), Boa Vista apresentou 140.43 L/hab/dia.\\\

Dessa forma, o presente estudo, em conformidade com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável de Água Potável e Saneamento para apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento, realizará um monitoramento do consumo de água em residências na região de Boa Vista-RR com o objetivo de determinar o consumo per capita de poços artesianos domésticos que são utilizados para complementar o abastecimento público de água e, diante dos dados coletados, elaborar procedimentos adequados para tarifação do volume de esgoto gerado nessas situações.

Metodologia

Para alcançar os resultados esperados, serão coletados dados de vazão in loco de residências abastecidas somente pela CAER e residências com abastecimento misto, pela concessionária local e por poço tubular. O presente trabalho realizará a pesquisa em um período de 6 meses na cidade de Boa Vista-RR.

Para fundamentação do trabalho, serão utilizados artigos e monografias encontradas no Google Acadêmico, Scielo e Academia.edu. Além desses, serão utilizados dados fornecidos pela CAER, pela Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH), pelo Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e pelas empresas locais de perfuração de poços tubulares.

Na etapa de determinação dos resultados, será aferido vazão medida no hidrômetro para residências abastecidas somente pela CAER e incidido 80% desse valor para esgoto. Para residências que possuem captação de poços, será feita a mesma medida explicada anteriormente e acrescida a medida com origem subterrânea e incidido 80% para esgoto.

A quantidade de amostras que serão estudadas estará relacionada com o número de residências que possuem abastecimento misto a fim de manter a mesma quantidade de amostragem para os dois tipos.

Com os valores coletados, serão levantados os custos gerados por residências para tratamento do esgoto que não são tarifados e comparar com os dados atuais presentes na CAER a fim de apresentar o impacto financeiro da concessionária. Essa análise será importante para averiguar a dinâmica para tratamento do esgoto visto que, com faturamento menor que despesas para tratamento, resulta em oscilações em produtos e processos técnicos.

Todos os valores coletados serão contabilizados em planilhas eletrônicas para facilitar a análise e apresentação do quando atual do serviço ofertado e prestado pela Companhia local.

Resultados

Os cidadãos boa-vistense que abastecem suas residências por meio de poços tubulares depositam na rede de esgoto público semelhante aos moradores de residências abastecidas pela CAER. Entretanto, o valor contabilizado por ambos os usuários difere devido a discrepância na água hidrometrada. Diante disso, espera-se aferir que os efluentes gerado entre os usuários são o mesmo e que isso acarreta em impactos financeiros para a concessionária. Ao alcançar os resultados esperados, planeja-se elaborar uma normativa com a finalidade de proposta de legislação regulamentando alíquota para o volume de esgoto gerado em residências com uso de poços tubulares e não taxados.

Conclusões

Para que a população de Boa Vista-RR receba, com qualidade, um abastecimento de água potável e tratamento de esgoto, é necessária que a CAER não obtenha despesas maiores que o faturamento pelo serviço ofertado. Diante disso, conclui-se que uma proposta de legislação regulamentando alíquota para o volume de esgoto não contabilizado auxiliará a concessionária na cobrança pelo serviço disponibilizado.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradecemos também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, e a UFRR pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências

CALDAS, K. P. F. e FILHO, P. A. S. (2022). Consumo Per Capita e Perda no Sistema de Distribuição de Água no Município de Boa Vista/RR. IV Seminário Nacional do ProfÁgua. Brasília/DF.

HAMMER, M.J. (1979). Sistema de Abastecimento de Água e Esgoto. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro.

LEME, F.P. (1977). Planejamento e Projeto dos Sistemas Urbanos de Esgotos Sanitários. Cetesb. 213 p. São Paulo.

NETO, A. (1996). **Manual de Hidráulica**. Edgar Blucer Ltda, v 2, 8 ed, São Paulo.

PEREIRA, J.A.R. e Maciel, E.F.M (1999). Determinação do Consumo Per Capita de Água em Edifícios Residenciais da Região Metropolitana de Belém para Avaliar a Tarifa de Esgoto Sanitário. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro.

PEREIRA, J.A.R. (2000). Estimativa da Tarifa de Esgoto Sanitário com Base no Consumo Per Capita de Água em Edifícios Residenciais com Poço Artesiano. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro.

SNIS. Sistema Nacional de Informações do Saneamento, 2022.Governo Federal. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano. Brasília.

RESUMOS

The image is a vertical composition. On the left side, a portion of a globe is visible, showing continents and oceans. The globe is overlaid with a network of thin, white lines, suggesting a global network or infrastructure. On the right side, a young green plant with several leaves is growing out of a mound of dark, rich soil. The background is a soft, out-of-focus green, creating a natural and vibrant atmosphere.

ÁREA TEMÁTICA
Mobilidade Urbana e Poluição Atmosférica

A INTERCONEXÃO ENTRE MOBILIDADE URBANA E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: IMPACTOS E SOLUÇÕES

¹ Raíssa Castro Schorn, ² Luiza Fracaro Polleto, ³ Daniel Knebel Baggio, ⁴ Tarcísio Dorn de Oliveira.

¹Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, e-mail: raissa.schorn@sou.unijui.edu.br;

²Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, e-mail: luiza.polleto@sou.unijui.edu.br;

³Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, e-mail: baggiod@unijui.edu.br;

⁴Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, e-mail: tarcisio.oliveira@unijui.edu.br

Palavras-chave: Mobilidade urbana; poluição atmosférica; Sustentabilidade.

A mobilidade urbana é um elemento essencial para o funcionamento das cidades, permitindo o deslocamento eficiente de pessoas e bens. No entanto, a forma como a mobilidade é atualmente estruturada nas áreas urbanas tem gerado uma série de impactos negativos, sendo a poluição atmosférica um dos mais significativos. O aumento do número de veículos motorizados e o uso excessivo do automóvel privado contribuem para a poluição do ar e os impactos ambientais negativos, pois a concentração de veículos movidos a combustíveis fósseis e a falta de infraestrutura adequada para modos de transporte sustentáveis têm contribuído para a degradação da qualidade do ar nas cidades (Banister, 2008).

A mobilidade urbana e a poluição atmosférica são questões interligadas que representam grandes desafios para as cidades modernas, pois trata-se de um aspecto fundamental para o funcionamento das cidades, porém, apresenta desafios significativos, especialmente relacionados à poluição (Banister, 2008). A forma como nos deslocamos dentro das áreas urbanas afeta diretamente a qualidade do ar que respiramos e, conseqüentemente, a nossa saúde e bem-estar. A poluição atmosférica proveniente da mobilidade urbana tem sérias conseqüências para a saúde pública, e a exposição crônica a poluentes atmosféricos está associada a uma variedade de problemas de saúde, incluindo doenças respiratórias, cardiovasculares e até mesmo câncer (Pucher e Buehler, 2012). Estudos conduzidos por Anderson *et al.* (2012), têm demonstrado os efeitos adversos da poluição atmosférica na saúde humana, enfatizando a importância de abordar a poluição do ar como uma questão de saúde pública.

Neste contexto, com o crescimento acelerado das áreas urbanas e o aumento da frota de veículos, a poluição do ar tornou-se um problema ambiental de grande magnitude, por esse motivo, autores como Cervero e Kockelman (1997), defendem o desenvolvimento de áreas urbanas compactas, com infraestrutura de transporte público eficiente e integração com modos ativos, como caminhada e ciclismo, enfatizam a importância da integração entre planejamento urbano e transporte na redução da poluição atmosférica, bem como defendem a criação de áreas urbanas mais compactas e acessíveis, onde as pessoas possam facilmente acessar serviços e atividades por meio de modos de transporte sustentáveis. Essa abordagem, conhecida como desenvolvimento orientado ao transporte, visa diminuir a necessidade de viagens motorizadas de longa distância e incentivar a adoção de opções mais sustentáveis (Cervero e Golub, 2007). Newman e Kenworthy (1999), destacam também a importância de um Desenvolvimento Orientado para o Transporte Sustentável (DOTS), que busca promover a acessibilidade, a eficiência e a redução do uso do automóvel.

A interconexão entre mobilidade urbana e poluição atmosférica é um tema amplamente discutido na literatura científica. Autores como Litman (2019), destacam que a escolha de modos de transporte altamente motorizados e o aumento do uso de veículos individuais que acabam por contribuir com a emissão de poluentes atmosféricos, como dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (PM). Essas emissões têm efeitos negativos na qualidade do ar das áreas urbanas, levando a problemas de saúde pública, como doenças respiratórias e cardiovasculares. A poluição atmosférica é caracterizada pela presença de substâncias nocivas no ar, onde esses poluentes são liberados principalmente pelos veículos a motor, indústrias, usinas de energia e processos de queima de combustíveis fósseis, entretanto, a exposição a esses poluentes tem sérios impactos na saúde humana, pois a poluição proveniente da mobilidade urbana tem impactos significativos na saúde e a exposição crônica à poluição do ar está associada a doenças respiratórias, como asma e bronquite, doenças cardiovasculares e até mesmo a redução da expectativa de vida (Anderson *et al.* 2012).

A relação entre mobilidade urbana e poluição atmosférica é complexa e multifacetada. O aumento do número de veículos motorizados nas cidades resulta em maior demanda por combustíveis fósseis, contribuindo para a emissão de gases de efeito estufa e o aquecimento global. Além disso, os veículos emitem poluentes diretamente no ar, piorando a qualidade do ar nas áreas urbanas, Schafer e Victor (2000), destacam a necessidade de transição para veículos de emissão zero, como os veículos elétricos, para reduzir a poluição do ar. A compreensão dessa relação entre mobilidade urbana e poluição atmosférica é fundamental para desenvolver estratégias eficazes de planejamento urbano e transporte sustentável, pois o planejamento desempenha um papel fundamental na promoção da mobilidade urbana sustentável.

Outro autor importante nesse contexto é Hall (2019), que enfatiza a importância da mobilidade urbana sustentável como uma solução para reduzir a poluição atmosférica nas cidades. Ele destaca a necessidade de promover modos de transporte mais limpos e eficientes, como o transporte público de qualidade, o incentivo ao uso de bicicletas e a implementação de infraestruturas amigáveis para pedestres. Hall (2019), argumenta que essas medidas podem melhorar a qualidade do ar,

reduzir a dependência de veículos motorizados e promover uma mobilidade mais equitativa e saudável. É válido mencionar que conceitos como Planejamento Orientado para o Trânsito (TOD) proposto por Cervero (1998), que visa enfatizar a necessidade de promover o transporte público eficiente e o desenvolvimento de áreas com acesso a pé e de bicicleta, reduzindo a dependência do automóvel.

Litman (2019), menciona que o uso excessivo de veículos individuais motorizados e o congestionamento do tráfego nas áreas urbanas aumentam a demanda por energia e combustíveis fósseis, além disso, o desenho urbano acaba favorecendo a dependência do automóvel em detrimento do transporte público e modos ativos de deslocamento, intensificando assim os problemas relacionados à poluição atmosférica. Por esse motivo surge a busca por soluções que reduzam a dependência de veículos individuais, promovam o uso de transportes públicos eficientes, incentivam a mobilidade ativa (caminhada e ciclismo) e adotem tecnologias mais limpas, como veículos elétricos, pois estas medidas tornam-se essenciais para mitigar os impactos da poluição atmosférica e melhorar a qualidade de vida nas cidades, promovendo ambientes mais seguros e amigáveis (Sadik-khan, 2016).

Diante disso, é crucial compreender a relação entre mobilidade urbana e poluição atmosférica, bem como explorar soluções e estratégias para promover cidades mais sustentáveis. Todavia, a interconexão entre mobilidade urbana e poluição atmosférica deve ser abordada por meio de políticas de transporte sustentável, que promovam uma mudança de paradigma em relação à forma como as pessoas se deslocam nas cidades. Essas políticas incluem a melhoria do transporte público, o incentivo ao uso de modos de transporte não motorizados, a redução do uso de veículos individuais motorizados e a promoção de planejamento urbano voltado para a acessibilidade e o uso eficiente do espaço (Geurs e Wee, 2004). Por fim, a interconexão entre mobilidade urbana e a poluição atmosférica referem-se à relação intrínseca entre o deslocamento de pessoas e mercadorias nas áreas urbanas e os impactos resultantes na qualidade do ar. A forma como as pessoas se movem dentro das cidades, os meios de transporte utilizados e as políticas de mobilidade adotadas têm um impacto significativo na quantidade de poluentes emitidos na atmosfera, afetando diretamente a qualidade do ar e a saúde das pessoas.

Referências Bibliográficas

- Anderson, H. R., Atkinson, R. W., Peacock, J. L., Marston, L., Konstantinou, K. 2012. Meta-analysis of Time-series Studies of Air Pollution and Mortality. Part 2: Estimating the Magnitude of the Association. Research Report, Health Effects Institute.
- Banister, D. 2008. The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, p.73-80
- Cervero, R., & Kockelman, K. 1997. Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, p. 199-219.
- Cervero, R. 1998. *The Transit Metropolis: A Global Inquiry*. Island Press.
- Cervero, R., & Golub, A. 2007. Transport and Land Use Policy to Reduce Global Warming. *Transportation Research Record*, p. 98-106.
- Geurs, K.T.; Wee, B. 2004. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, v. 12, n. 2, p. 127-140.
- Hall, P. 2019. *Good Cities, Better Lives: How Europe Discovered the Lost Art of Urbanism*. Routledge.
- Litman, T. 2019. *Transportation Cost and Benefit Analysis: Techniques, Estimates and Implications*. Victoria Transport Policy Institute.
- Newman, Peter. 2009. *Resilient Cities: Overcoming Fossil Fuel Dependence*. Washington, DC: Island Press.
- Schafer, A., & Victor, D. 2000. The future mobility of the world population. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, p. 171-205.
- Pucher, J., & Buehler, R. 2012. Sustainable transport in Freiburg: Lessons from Germany's environmental capital. *International Journal of Sustainable Transportation*, p. 323-348
- Sadik-Khan, J. 2016. *Streetfight: Handbook for an urban revolution*. Penguin.

AVALIAÇÃO DO ATENDIMENTO DO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO A UM POLO GERADOR DE VIAGEM EM CAMPO GRANDE - MS

¹Barbara Santiago Lima, ²Sthefânia Felix Guimarães, ³Rocheli Carnaval Cavalcanti, ⁴Renan da C. S. Junior, ⁵Ana Cláudia Marques.

(1 a 5) Universidade Católica Dom Bosco - Av. Tamandaré, 6000 - Jardim Seminário - Campo Grande - MS - CEP: 79117-900 Tel: (67) 98416-5002 - e-mails: (1) barbaralima.engseg@gmail.com, (2) e (3) rf6535@ucdb.br, (4) renanjr@ucdb.br, (5) rf4450@ucdb.br.

Palavras-chave: Mobilidade urbana; polo gerador de viagem; planejamento do transporte público.

Resumo

Com o rápido crescimento das cidades, muito se pensa sobre a mobilidade urbana, organização dos usos, ocupação da cidade e a melhor maneira de garantir o acesso de ir e vir da população. Com a ampliação da malha viária que ultrapassou o crescimento urbano, a taxa de motorização da sociedade urbana brasileira teve um forte crescimento e muitas viagens foram transferidas para o transporte público. A implantação de novos empreendimentos nas cidades, é hoje objeto de grande preocupação das autoridades de planejamento do trânsito e do transporte urbano. Esses empreendimentos geram um grande volume de viagens, o que principiou a necessidade de estudar e avaliar os impactos de tais, quanto aos impactos socioeconômico e a qualidade de vida da população considerando os impactos mais abrangentes, denominando-os de Polos Geradores de Viagens. Assim, analisou-se o PGV Shopping Campo Grande, linha 061 (Moreninha – Shopping CG), devido ao grande fluxo de pessoas que se deslocam dos bairros até o Shopping Campo Grande. Assim, essa extensão da rota, diminuiria a distância para parte da população que não se destina ao Shopping Campo Grande, mas não deixaria de atendê-los, melhorando a acessibilidade e bem-estar para essas pessoas.

Introdução

Mobilidade urbana é analisar como se organizam os usos e a ocupação da cidade e a melhor maneira de garantir o acesso das pessoas ao que a cidade pode oferecer, como locais de emprego, escolas, hospitais e áreas de lazer, destacando os meios de transporte e o trânsito. A implantação de novos empreendimentos nas cidades, até mesmo aqueles de pequeno porte, é hoje objeto de grande preocupação das autoridades de planejamento do trânsito e do transporte urbano. Esses empreendimentos começam a entrar em operação, conferindo ao espaço urbano diversos impactos negativos advindos do grande volume de viagens, o que principiou a necessidade de estudar e avaliar os impactos de tais empreendimentos, denominados então de Polos Geradores de Tráfego - PGT. Entretanto, verificou-se que tais empreendimentos deveriam ser analisados quanto aos impactos socioeconômico e a qualidade de vida da população considerando os impactos mais abrangentes, adotou-se então a denominação de Polos Geradores de Viagens – PGVs. O principal fator que colaborou para a expansão dos problemas do sistema viário em conjunto aos PGVs, foi o crescimento rápido e desordenado das cidades brasileiras. A ampliação da malha viária que ultrapassou o crescimento urbano, a taxa de motorização da sociedade urbana brasileira tiveram um forte crescimento e muitas viagens foram transferidas do transporte coletivo para o transporte motorizado individual, proliferando os empreendimentos de grande porte situados em bairros periféricos à área mais central, tanto geográfica quanto comercial, das cidades. O transporte público sempre foi alvo de reclamações devido ao fato dos veículos estarem sempre lotados, sob condições de baixa qualidade nos serviços prestados e alto valor das passagens. Conforme a ineficiência do modelo de transporte coletivo se agravava, houve um incentivo governamental para o consumo de transporte privado, o que não foi acompanhado pela mobilidade urbana. Com isso, além de ônibus lotados, ocasionou congestionamentos nos trânsitos das cidades. O trabalho tem como objetivo avaliar o sistema do transporte público urbano nos pólos geradores de viagem em Campo Grande, Mato Grosso do Sul (MS). Com a identificação desses polos, procedeu-se a análise das condições das vias urbanas e da infraestrutura do transporte público e elaborou-se um reestudo do traçado das linhas atuais de ônibus onde pretende-se oferecer um melhor atendimento a esse sistema de transporte coletivo. A questão de um transporte público produtivo é reflexo de uma mobilidade urbana eficaz. Sendo assim, o número de carros nas cidades será reduzido, diminuindo os engarrafamentos e o trânsito, os índices de poluição e a probabilidade de acidentes são minimizados, o tempo de percurso é menor, o custo é relativamente acessível para os usuários desse meio de transporte e se disseminado, podendo contribuir para a conservação das cidades. Através de um estudo de caso, serão levantados todos os pólos geradores de viagens de Campo Grande, por meio de um trabalho em campo ligados aos processos logísticos de empresas privadas e órgãos governamentais responsáveis. Um levantamento bibliográfico será feito através de uma pesquisa em âmbito geral.

Materiais e Métodos

Campo Grande é um município brasileiro, capital do Estado de Mato Grosso do Sul (possui 79 municípios), situado na região Centro-Oeste. A cidade foi planejada em meio a uma vasta área verde, com ruas e avenidas largas. Conforme dados

do SEMADUR de 2017, Campo Grande ocupa uma superfície total de 8.140km² e com uma área urbana totalizando 357km².

Segundo o IBGE o município tem uma população total estimada para o ano de 2016 em 863.982 habitantes, em 2010 era 786.797 habitantes. Com a área da unidade territorial em 2015 de 8.092,951km². Com uma densidade demográfica em 2010 de 97,22hab/km². Segundo a Prefeitura de CG/MS, a cidade tem um total de 74 bairros, 7 regiões e 2 distritos. Segue o mapa a seguir de CG, demonstrando as Regiões, Bairros e Malha Urbana da cidade:

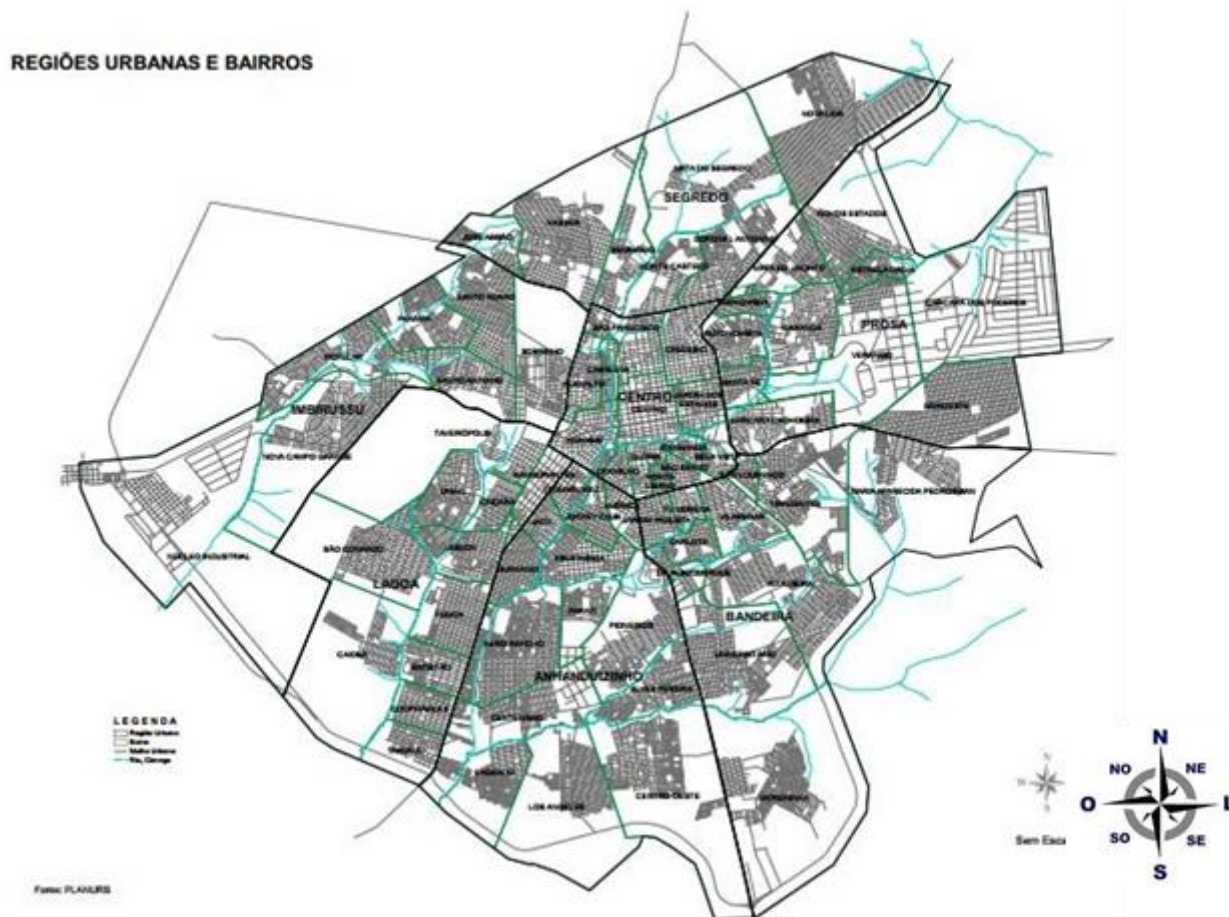


Figura 01 - Mapa de Campo Grande, com Regiões, Bairros e Malha Urbana.

Identificação e avaliação dos Polos Geradores de Viagens

Com o propósito de identificar os polos geradores de viagens e elencar os de maior fluxo de viagem, suas condições físicas e a qualidade do serviço prestado pelo Consorcio Guaicurus, fez-se uma pesquisa de campo. Para que fosse possível definir a localização dos pontos de maior concentração de viagens, realizou-se visitas à AGETTRAN e ao CONSÓRCIO GUAICURUS, nos quais foram constatados os técnicos responsáveis, e feitas perguntas pertinentes, para saber quais eram os polos geradores de viagens principais, quais as linhas dos ônibus mais conturbadas, terminais e pontos de integração mais movimentados, e posteriormente selecionada a mais crítica, para poder realizar o estudo de campo. Depois de selecionado os pontos críticos para avaliação e com o apoio do grupo de extensão de Mobilidade Urbana da Universidade Católica Dom Bosco – UCDB, foi feita uma divisão do grupo em duplas, onde cada dupla ficou responsável por um levantamento de caso, em horários específicos, divididos em três turnos, que correspondem das 6:30hs às 7:30s, 11h às 12h e das 17hs às 18hs (em períodos de pico), duas vezes na semana, na segunda e na quarta, no período 3 semanas. Cada dupla visitou o local escolhido, buscando observar e registrar por meio de um levantamento por escrito e fotográfico: Verificando se há sinalização adequada, como placas de sinalização, semáforos, faixas, entre outros, próximos ao local; Verificando se há faixa preferencial para os ônibus; Examinando o porte do ponto de integração e/ou terminal, para ver se ele atende à demanda que está a sua espera; Fazendo a contagem de quantos ônibus passam por aquele ponto gerador de tráfego, no tempo analisado; Observando o nível de segurança dos pontos geradores; Analisando o estado de conservação dos ônibus, terminais, e pontos de ônibus; E anotando a presença de problemas diversos, afim de registrar toda a problemática na qual será estudada. Também baseado no método de entrevistas presenciais, foi feita perguntas para a população que utiliza o meio de transporte público, que se encontra no ponto gerador de viagem, sobre a sua perspectiva em relação a esse meio de transporte. Foi uma entrevista de abordagem pessoal e individual, na qual as perguntas foram feitas em uma linguagem acessível, objetiva e clara quanto ao tipo de serviço avaliado. Os entrevistados eram pessoas com idade superior a 18 anos, englobando todas as categorias de usuários, os que pagam tarifa mensal, os com direito à gratuidade total como idosos e deficientes, ou parcial como os estudantes. A avaliação consistia na

atribuição de notas de 1 a 5: 1- Muito ruim 2- Ruim 3- Regular 4 5- Bom 5- Muito bom Com as visitas, imagens e pesquisas, avaliou-se o grau de satisfação dos usuários comparando-os aos fatores de qualidade do transporte públicos e apurando a importância que o usuário atribui a cada um desses fatores, listados no Anexo A. Bem como, fez-se uma experiência prática, na qual a dupla utilizou o transporte público (ônibus) na linha selecionada junto ao Polo Gerador de Viagem selecionado, observando e registrando a realidade da população, analisando todo percurso, os pontos de ônibus, a condição do transporte público, o tempo do percurso, entre outros, a fim de confirmar o polo ser congestionados/saturados. A partir dos dados compilados e analisados, fez-se a sugestão de novas alternativas e melhorias para o ponto e para as linhas estudadas.

Resultados e discussões

Para início da pesquisa de campo, fez-se as visitas ao CONSÓRCIO GUAICURUS e à AGETTRAN afim de entender como é feito o processo de seleção das linhas de ônibus e controle dos terminais e pontos de integração da cidade de Campo Grande. No Consórcio Guaicurus, quem nos acompanhou foi o gerente operacional Carlos Lopes de Oliveira, no qual dispôs todas as informações referentes aos polos geradores de trafego em Campo Grande, buscando enfatizar os locais que apresentavam um maior fluxo de pessoas e que demandava mais do transporte público. Visitou-se todas as salas operacionais, de fiscalização, monitoramento, rastreamento e controle, dos ônibus, passageiros pagantes e não pagantes, passe de ônibus, linhas, entre outros. A movimentação dos ônibus em relação aos horários previstos, aos atrasos em horário em horário real, quais procedimentos são tomados quando um ônibus é quebrado ou está em atraso, acesso à todas as câmeras no interior dos ônibus buscando fiscalizar o uso de passes e segurança dos usuários. Teve-se acesso à sala de fiscalização, onde se encontrava toda a equipe responsável pela identificação de usuários e veículos pertencentes ao CONSÓRCIO GUAICURUS.

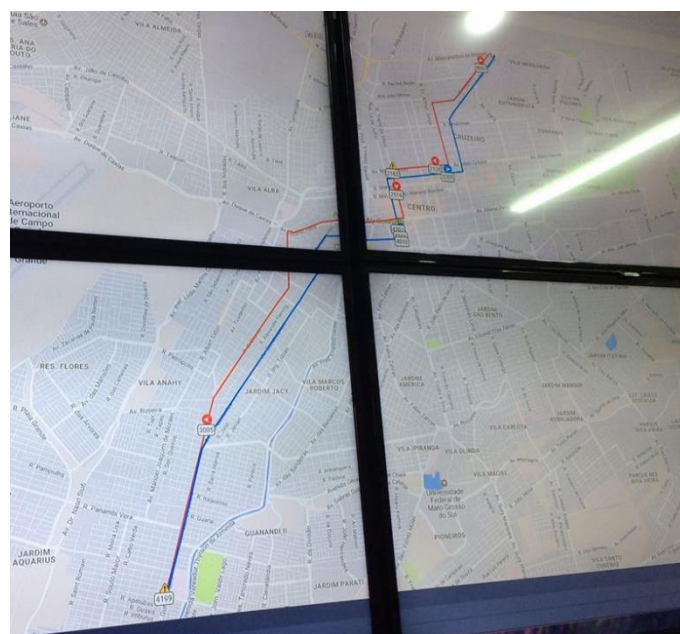


Figura 02 – Monitoramento e rastreamento do trajeto, paradas, e número de ônibus percorrendo a linha 061.

Dentre os apresentados, foi escolhido o polo gerador de viagem Shopping Campo Grande, linha 061 (Moreninha – Shopping CG), estação pegue-fácil, devido ao shopping ser o mais antigo de Campo Grande e já não atender mais a sua função de criação. O polo foi criado para atender as pessoas dos bairros até o Shopping Campo Grande, mas com o crescimento da cidade, construção de outros shoppings, como o shopping norte sul, shopping bosque dos ipês, e outros grandes empreendimentos, assim as pessoas se deslocam até a “Estação peg fácil Shopping Campo Grande” apenas como uma alternativa mais próxima de seus destinos, se deslocando não especificamente ao Shopping, mas sim aos comércios ao entorno da região. A partir da curiosidade de saber o início e destino final desses usuários, a linha 061 - Moreninha shopping, foi a que chamou mais atenção e escolhida para ser estudada devido ao número de pessoas que se deslocam até o polo gerador apenas como intermédio para seus destinos finais. A linha 061 possui o nome de moreninhas – shopping, e classificada como uma linha tronco, isto é, ela é uma linha que suporta até 90 passageiros por viagem e seu trajeto acontece por vias principais dentro da malha de trafego de Campo Grande. Seu trajeto sai do terminal moreninhas, passa pelo terminal guaicurus, terminal morenã e faz o seu retorno no polo gerador de viagem “estação peg fácil Shopping Campo Grande”. Segue abaixo as figuras 03 e 04, que demonstram o trajeto de ida e volta que o ônibus percorre na linha 061.

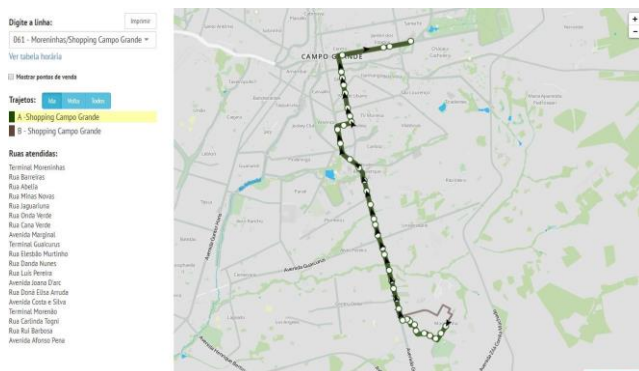


Figura 03 - Trajeto de ida

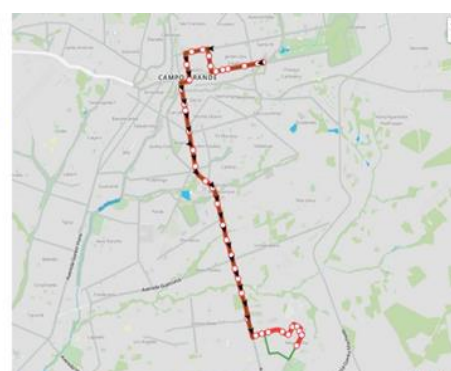


Figura 04 - Trajeto de volta

Análise da identificação e avaliação do Polo Gerador de Viagem

Após análise do polo gerador foi observado que a sinalização está adequada no local, pois a sinalização, faixa de pedestre no dois lados de cruzamento da Av. Afonso Pena (no semáforo) e placas informativas. Verificou-se que possui faixa preferencial de ônibus do lado direito da pista. Na figura 05 observa-se que o porte do ponto de integração apresenta-se em boas condições, com assentos no ponto de integração, cobertura do local protegendo de intempéries, contém piso tátil no chão, apresenta informativos colados nos vidros referentes a isenção da tarifa aos idosos, referente ao passe de estudante, aos valores e aos horários dos ônibus próximos, possui uma televisão que informa os ônibus que passarão no local, conforme cada horário conforme a figura 06, as calçadas estão em bom estado e à facilidade ao cruzar as ruas.



Figura 05 – Análise geral do ponto de paradas (bancos, lixeira, câmeras, iluminação e piso tátil).

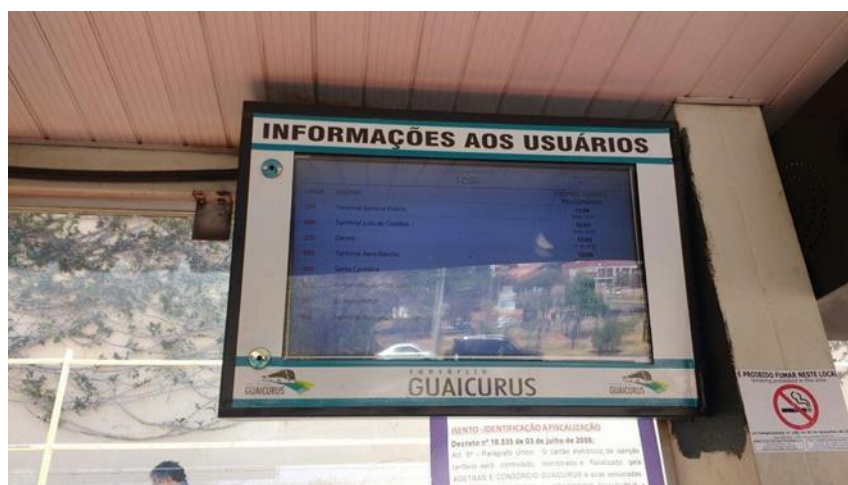


Figura 06 - Informações no ponto de integração.

Possui ônibus convencionais e alongados simples, ônibus alongados articulados, ônibus adaptados para deficientes físicos, conservados e de boa qualidade. Passando em média de 4 á 5 ônibus nos horários de pico analisado. Tem câmeras de segurança, dois vigilantes rotativos (conforme cada turno) catraca e um cobrador na cabine na porta da entrada do ponto e grade cercando o local, conforme demonstra figura 07 abaixo. Porém é um ambiente aberto para o lado da rua, proporcionando sensação de insegurança, perigo de roubo e pessoas entrando sem pagar no local.



Figura 07 - Entrada ao ponto de integração, demonstrando as câmeras e catracas.

Assim, baseado no método de entrevistas presenciais, foram feitas perguntas para os usuários sobre a sua perspectiva em relação a esse meio de transporte público. Uma avaliação, na qual foi atribuída as notas de 1 a 5, sendo 1- Muito ruim, 2- Ruim, 3- Regular, 4- Bom e 5- Muito bom, e resultaram o quadro descrito na figura 08.

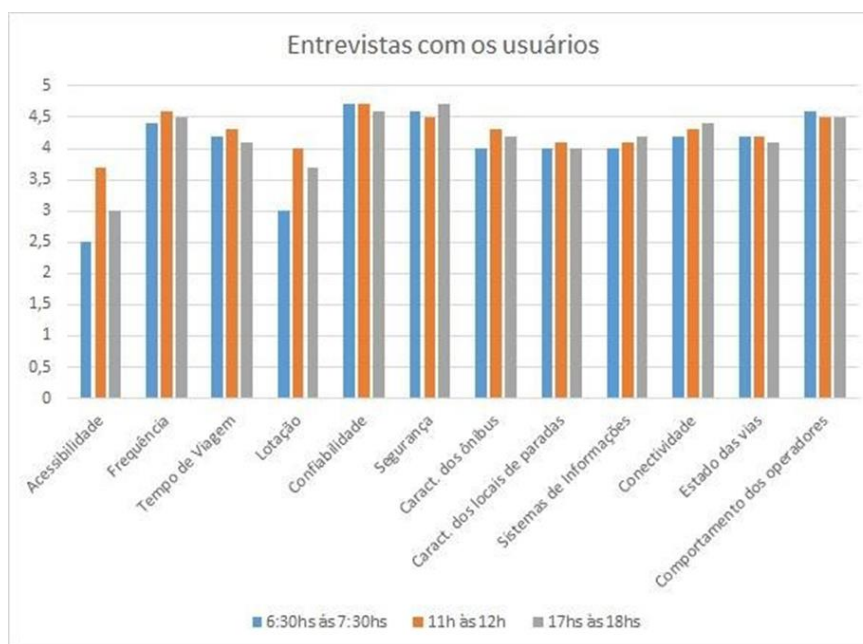


Figura 08 - Perspectiva dos usuários em relação ao meio de transporte analisado, nos horários de pico.

Também foi feita uma experiência pratica, na qual a dupla utilizou o transporte público (ônibus) nos três horários designados e na linha selecionada, e observou e registrou a realidade da população, analisou todo percurso, os pontos de ônibus, a condição do transporte público, o tempo do percurso, entre outros.

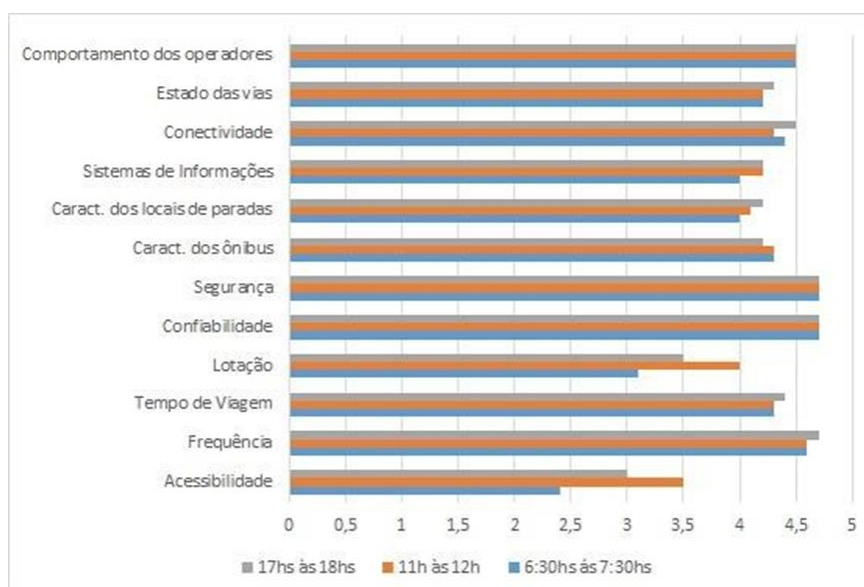


Figura 08 - Análise da linha 061 (Moreninha Shopping).

Depois da análise feita em cima dos fatores de qualidade do transporte público junto com os dados retirados das entrevistas, observou-se que a maioria dos usuários que desembarcam nesse polo, saem dos bairros, muitas vezes vindos das periferias da cidade e pegam em média 2 ônibus (entre bairro, terminal e ponto de integração) até chegar na estação pegue-fácil, chegando lá ainda precisam se locomover a pé até o seu destino final. Grande parte dos usuários, se direcionam ao bairro Chácara Cachoeira, levando, além de 1h em média no seu tempo de viagem no transporte público, ainda mais um tempo para o seu destino final.

Com isso, uma alternativa que auxiliaria à essas pessoas diminuir o tempo de percurso entre a estação Peg fácil e o seu destino, é a extensão de linha 061, nos horários de início e fim comercial, compreendendo-se os ônibus no período matutino n°02 (06:00h), n°09 (07:07h), n°11 (07:30h), n°02 (08:00h) e no período vespertino os ônibus n° 05 (17:02h), n°14 (18:03h), n°04 (18:30h), n°06 (19:00h). A extensão teria uma distância de 2,8km e teria duração média de 10 a 15 minutos, que em vez de fazer o retorno à esquerda na Av. Afonso Pena para chegar à Estação Peg Fácil, o ônibus seguiria em frente virando na Av. Arquiteto Rubens Gil de Camilo, passando pela rua Jeribá, seguindo pela Rua Raul Pires Barbosa, Rua Cel. Cacildo Arantes e retornando para a Av. Afonso Pena e assim chegando para a Estação Peg Fácil Shopping Campo Grande, assim ilustrada na figura 37.



Figura 10 – Proposta de extensão da linha 061

Assim, essa extensão da rota, diminuiria a distância para parte da população que não se destina ao Shopping Campo grande, mas não deixaria de auxiliá-los, melhorando o atendimento e bem-estar para essas pessoas.

Conclusão

Foi identificado o polo gerador de viagem na cidade e foi analisado um para fim de estudo, a linha 061, que sai do bairro morenã até a estação pegue-fácil, na frente do shopping Campo Grande. Percebeu-se que a população que utiliza o ônibus nesse polo gerador de viagem, se deslocam até a “Estação Peg fácil Shopping Campo Grande” também como uma alternativa mais próxima de seus destinos, se deslocando não especificamente ao Shopping, mas sim aos comércios ao entorno da região. Elas muitas vezes saem dos bairros da periferia pegando em média 2 ônibus para chegar a esse destino, levando além de 1h em média no seu tempo de viagem no transporte público, mais um tempo se locomovendo a pé até o seu destino final. Após avaliação das condições das vias urbanas identificou-se que elas estão em boas condições, são vias largas, sinalizadas e possui faixa preferencial para ônibus. A infraestrutura do transporte público deixa a desejar, pois com a superlotação a maioria das pessoas ficam em pé, pois não há assento para todos. O porte e a estrutura do ponto de integração é satisfatória, porém nos períodos que compreende 6:30hs às 7:30s e das 17hs às 18hs, há superlotação, pois é o início e fim do horário comercial. Nos períodos das 11h, o número de viagens com início no pólo gerador é suficiente para atender a população. Portanto após avaliar o sistema de transporte público urbano no polo gerador de viagem Moreninha Shopping – Linhas 061 em Campo Grande/MS, foi verificado que o transporte público não atende à demanda da população que está a sua espera e também, que a linha atual não tem o percurso ideal para satisfazer a necessidade dos usuários. Após reestudar o traçado das linhas atuais de ônibus, se viu uma alternativa que auxiliaria à essas pessoas e diminuir o tempo de percurso entre a estação Peg fácil e o seu destino é a extensão de linha 061, nos horários de início e fim comercial (período matutino e período vespertino). Assim, essa extensão da rota, diminuiria a distância para parte da população que não se destina ao Shopping Campo Grande (mas não deixaria de auxiliá-los), melhorando o atendimento e bem-estar para essas pessoas.

Referências Bibliográficas

Impactos decorrentes da implantação de polos geradores de viagens na estrutura espacial das cidades - Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/381/321> (Acessado em: 20.mai.2017)

Importância do Sistema de transporte coletivo para o desenvolvimento do município de Campo Grande. Disponível em: <http://site.ucdb.br/public/md-dissertacoes/7916-a-importancia-do-sistema-de-transporte-coletivo-para-o-desenvolvimento-do-municipio-de-campo-grande-ms.pdf> (Acessado em: 16.mai.2017).

Vasconcellos, e. A. Transporte urbano, espaço e equidade: análises das políticas públicas. São Paulo: Annablume, 2001.

Villaça, F. ; 2000. Perspectivas do Planejamento urbano no Brasil hoje. Texto apresentado no II seminário Cidades Brasileiras Desejos e Possibilidades, organizado pela Prefeitura Municipal de Campo Grande, MS.

RESUMOS



ÁREA TEMÁTICA
Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

RELEVAMIENTO DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL GEOREFERENCIADO CON VISTAS A UNA PLANIFICACIÓN SUSTENTABLE

¹Darío Tomás Rodríguez, ²José Javier Fernández, ³Ariana Giselle Seufert,
⁴Fátima Schoninger, ⁵Gerardo Riccardi

¹Universidad Nacional de Misiones, e-mail: dario.rodriguez@fio.unam.edu.ar; ²Universidad Nacional de Misiones, e-mail: jose.fernandez@fio.unam.edu.ar; ³ Universidad Nacional de Misiones, e-mail: ariana.seufert@fio.unam.edu.ar; ⁴Universidade Nacional de Misiones, e-mail: fatima.schoninger@fio.unam.edu.ar; ⁵Universidad Nacional de Rosario, e-mail: riccardi@fceia.unr.edu.ar;

Palavras-chave: georreferenciación; recursos hídricos superficiales; gestión sostenible.

Introducción

Las condiciones hidroambientales en la región de la Provincia de Misiones, en la Republica Argentina há presentado historicamente condiciones favorables para minimizar las afectaciones negativas por inundaciones asociadas a su clima subtropical húmedo de abundantes precipitaciones. Su densa vegetación que reduce los volúmenes de escurrimiento, y la topografía serrana que permite erogar velozmente los excedentes hídricos superficiales. Sin embargo, en los últimos años se han presentado severas inundaciones en la región urbana debido a su avance sobre la Selva Paranaense y ante la escaza planificación sostenible del sistema de drenaje pluvial (Rodríguez 2018). Reconociendo la necesidad de contar con información base de calidad para afrontar la gestión de cualquier recurso, se vuelve indispensable la generación de un inventario actualizado de los recursos hídricos con vistas a una gestión exitosa de los mismo (Riccardi, 2004). El presente trabajo detalla un resumen de la metodología y resultados del Programa RICO “Relevamiento Integral de Cauces de Oberá”, financiado por el Gobierno Municipal de la Ciudad de Oberá, Misiones, Argentina y llevado a cabo por docentes-investigadores del Laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones (LIC-FI-UNaM), el cual se prevé sea utilizado como base para la concreción de un Plan Maestro de Desagües Pluviales de Oberá.

Objetivo

El objetivo principal fue el relevamiento detallado de los recursos hídricos superficiales, con vistas a su preservación y la planificación hidroambientalmente sostenible del sistema de desagües en un entorno urbano en rápida expansión.

Materiales y Métodos

El equipamiento y software utilizado fue:

- 2 cámaras GoPro Hero 7 Black
- HW GoPro Telemetry Extractor
- Aplicación Geo Track
- QGis

La metodología incluyó, la recorrida, relevamiento y procesamiento de información de todos los cuerpos de agua superficial (cauces, lagunas y humedales) utilizando cámaras GoPro Hero 7 Black, permitiendo grabar y realizar el traqueo vinculado a un sistema GPS. Posteriormente se procesó la información con los softwares libres HW GoPro Telemetry Extractor (2022) y QGis.

Las áreas analizadas corresponden a las tres cuencas más grandes de la región urbana de la ciudad de Oberá, Misiones, Argentina. Las mismas presentan diferentes grados de urbanización y corresponden a las áreas de aporte de los Arroyos Lata, Mbotaby y Tuichá (Figura 1). Además del mapeo de cuerpos de agua y puntos característicos se relevaron cuestiones como nivel de antropización, existencia de sistemas de drenaje, presencia de residuos e hidrocarburos, estado de la fauna y flora existente, procesos de erosión, etc.

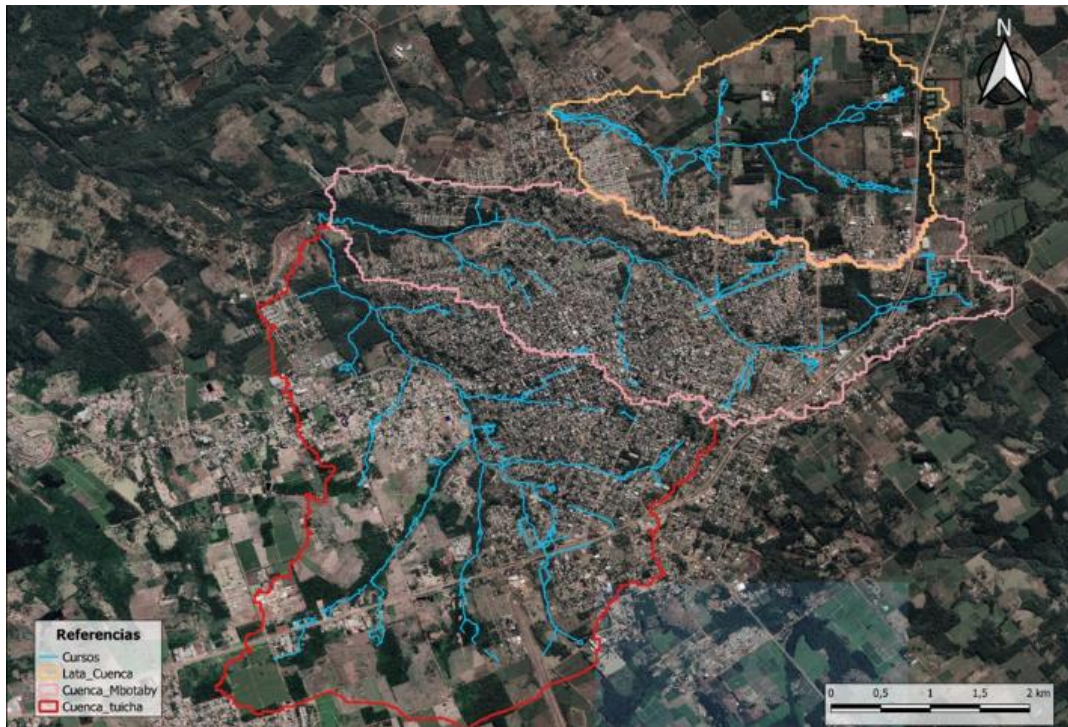


Figura 1: Cuencas analizadas identificadas sobre una imagen satelital.

Resultados

El relevamiento se desarrolló entre 02/2021 a 03/2022 en un área de aproximadamente 4.000 Ha, resultando en total 74 km de cauces naturales, canales y obras de arte y 23 Ha con lagunas y humedales, totalizando 1.030 puntos de interés.

En general, los sectores de cuenca alta de los tres arroyos se encuentran en condiciones buenas a regulares, contando con niveles bajos de antropización, vestigios de vegetación autóctona, baja a media contaminación y con posibilidades de restaurar y conservar la zona de ribera (Figuras 2 y 3).

En cuanto a los sectores de cuenca media, es donde se desarrolla la mayor actividad antrópica, con densidad de urbanización media a alta, existencia de severos procesos erosivos con peligro de derrumbe y riesgos de inundación. Las zonas naturales se encuentran degradadas y hay una marcada necesidad de intervenir y regularizar (Figuras 4 y 5).

Para las áreas de cuenca baja, se ve que actividad antrópica disminuye respecto a las zonas de cuencas medias, con zonas naturales en condiciones regulares, pero con posibilidad de restaurarlas y conservarlas (Figuras 6 y 7). También es importante destacar de las zonas medias y bajas la gran cantidad de asentamientos irregulares a las márgenes de los arroyos.

Como resultado se logró generar documentación digital que permite el reconocimiento de los cuerpos de agua y su estado actual, los diferentes componentes del sistema de desagüe, las áreas inundables y la identificación de puntos de interés para el control de las características fisicoquímicas y biológicas del agua.

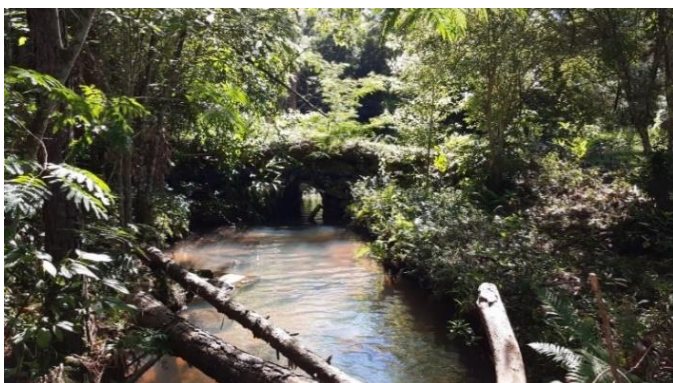


Figura 2: Cauce principal del A° Lata (Cuenca Alta).



Figura 3: Cauce principal del A° Tuichá (Cuenca Alta).



Figura 4: Erosión de márgenes del cauce del A° Mbotaby (Cuenca Media).



Figura 5: Antropización en las márgenes del A° Mbotaby (Cuenca Media).



Figura 6: Residuos en las márgenes del A° Tuichá (Cuenca Baja).



Figura 7: Autos abandonados en el humedal del A° Lata (Cuenca Baja)

Conclusiones

Se ha desarrollado una metodología inédita para la región, lográndose un relevamiento detallado y un posterior inventario actualizado del estado y funcionalidad de los elementos constitutivos de la dinámica hídrica superficial regional, considerándose una etapa rigurosamente necesaria para una evolución paulatina hacia una gestión integrada y sostenible del recurso hídrico.

Cabe destacar que el total de cuerpos de agua registrados fue significativamente mayor al previsto inicialmente. Y que los mismos brindan servicios hidroambientales de relevancia, tanto para el control de inundaciones en épocas de excesos, como para reserva de agua en épocas de sequía, por lo que es necesario conservarlos y/o restaurarlos.

Se desataca que necesidad de mejorar la gestión de los residuos sólidos, sobre todo desde la educación y formación de los ciudadanos.

Sin embargo, la principal problemática detectada es la ocupación, formal e informal, de los valles de inundación, acrecentando las afectaciones por inundación y degradadas con de los cuerpos de agua.

En este sentido es necesario señalar que la falta de una gestión integral de los recursos a lo largo de los años se evidencia como un factor que ha acrecentado las problemáticas con los excedentes hídricos superficiales y su relación con la sociedad.

Referencias

Riccardi, G.A.; 2004. Hidrología en medios antropizados. Libro electrónico. CURIHAM, FCEIA-UNR. <http://c-virtual.fceia.unr.edu.ar>.

Rodriguez, D.T.; 2018. Estudio de dinámica de los excedentes hídricos superficiales en cuencas urbanas de alta pendiente y sus implicancias en los procesos erosivos. Caso de estudio región urbana de la ciudad de Oberá, Misiones. Tesis doctoral FCEIA-UNR.

GoPro Telemetry Extractor; 2022. <https://goprotelemetryextractor.com>.

RESUMOS



ÁREA TEMÁTICA
Políticas Públicas, Legislação e Meio Ambiente

SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ANÁLISE DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO SELO DE CERTIFICAÇÃO LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN BD+C EM UMA EDIFICAÇÃO NA CIDADE DE CAMPO MOURÃO, PARANÁ

¹Ana Caroline Teixeira, ²Fabiana Goia Rosa de Oliveira, ³Vanessa Medeiros Corneli, ⁴Jucélia Kuchla Vieira, ⁵Cristiane Kreutz

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail:ateixeira@alunos.utfpr.edu.br; ²Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: fabianagoia@gmail.com; ³Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: vanessacorneli@utfpr.edu.br; ⁴Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: jucelia@professores.utfpr.edu.br; ⁵Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: ckreutz@utfpr.edu.br

Palavras-chave: construção verde; certificação; LEED BD+C.

Resumo

A sustentabilidade ambiental é um conceito fundamental para garantir um futuro viável para o planeta. Na construção civil, o impacto ambiental é significativo, pois é responsável pelo consumo de grande quantidade de recursos naturais e pela geração de resíduos. É necessário buscar soluções que tornem essa indústria menos poluidora, promovendo o desenvolvimento sustentável na construção civil. Práticas como o uso de materiais verdes, a eficiência energética e a gestão de resíduos são essenciais nesse processo. As certificações ambientais são uma forma de reconhecer e incentivar essas práticas na construção civil. O *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) do *United States Green Building Council* (USGBC) é uma das principais certificações, reconhecida mundialmente por promover a sustentabilidade na construção civil. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial de certificação LEED BD+C de uma edificação comercial no município de Campo Mourão – PR. Para isso, foi utilizado o guia referencial e o *checklist* disponibilizados no *site* da USGBC, verificando os requisitos para certificação com o apoio dos projetos arquitetônicos, hidráulicos e elétricos do empreendimento e visita *in loco*. Por meio destas análises verificou-se que o empreendimento possui uma alta pontuação (28 pontos), visto que não foi projetado com intenção de ser certificado. Apesar disso, não atingiu a pontuação mínima (40 pontos) e todos os pré-requisitos necessários para certificação LEED.

Introdução

O consumo desenfreado dos recursos naturais causa um sério risco para a sobrevivência humana. Diante disso, o setor da construção civil que é um dos grandes responsáveis por impactos ambientais, como por exemplo a emissão de 38% do total global de dióxido de carbono (CO₂) segundo Relatório de Situação Global 2020 para Edifícios e Construção (*UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2020*), começou a tomar ações para reverter os danos causados. Segundo Rocha (2016), a dimensão do setor atrelado a todos os impactos gerados e insumos consumidos aumentou as cobranças sobre a responsabilidade dos agentes envolvidos. O setor precisa realizar obras sustentáveis a fim de garantir que antes, durante e depois das construções, sejam realizadas ações que levem a redução desses efeitos, garantindo qualidade de vida as próximas gerações. Assim sendo, foi necessário repensar as maneiras que se constrói, visto que, nos dias de hoje há diferentes tecnologias e ferramentas presentes no mercado que podem tornar uma construção mais ecológica. Para isso, órgãos e conselhos fomentadores e certificadores foram criados para orientar e certificar o conjunto de processos construtivos e/ou edificações como sustentável ambientalmente e socialmente (MINGRONE, 2016).

Com o surgimento das certificações sustentáveis tem-se um estímulo para que as construções reduzam seus efeitos adversos sobre o meio ambiente, isto por que, tais certificações auxiliam e direcionam os processos que envolvem uma construção com ações que minimizem os impactos e maximizam o uso dos recursos. Além disso, o certificado adquirido propicia reconhecimento e credibilidade ao edifício e/ou empresa perante a sociedade e/ou mercado, na medida em que a humanidade vem cada dia mais tratando de assuntos relacionados à preservação e conservação do meio ambiente. Um estudo feito em 2021 pela Cushman & Wakefield, empresa global de serviços imobiliários comerciais, demonstrou a valorização de 11%, desde 2015, nos aluguéis dos edifícios que obtinham certificação ambiental. Também apresentou resultados positivos na taxa de vacância, a qual era menor que os de mesmo tamanho não certificados (*CONFERÊNCIA INTERNACIONAL GREEN BUILDING BRASIL, 2022*).

Um dos conselhos fomentadores e certificadores é o *United States Green Building Council* (USGBC). Criado em 1993 tem o intuito de promover locais ambientalmente saudáveis e melhores (MINGRONE, 2016). A organização possui filiais presente em 80 países, os quais dispõem de fóruns regionais e estaduais que promovem eventos, atividades e projetos para atingir sua missão (*GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2023*). No Brasil o USGBC é representado pelo parceiro *Green Building Council* Brasil (GBC Brasil). Sendo o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) a principal

certificação do conselho, ela é empregada globalmente e adota uma abordagem baseada no desempenho, que leva em consideração o projeto, a operação e a manutenção da edificação (NUNES, 2018).

A organização estabelece quatro tipologias principais para a certificação, sendo elas: *Building Design + Construction* (BD+C), *Interior Design + Construction* (ID+C), *Operation & Maintenance* (O+M) e *Neighborhood* (ND). Cada tipologia possui oito categorias de avaliação, que incluem: Localização e Transporte, Espaço Sustentável, Eficiência do Uso da Água, Energia e Atmosfera, Materiais e Recursos, Qualidade Ambiental Interna, Inovação e Processos, e Créditos de Prioridade Regional (*GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL*, 2023). Cada categoria possui pré-requisitos que são ações obrigatórias para a certificação e créditos que são ações que acumulam pontos. Ao final, é possível receber quatro tipos de certificado conforme a pontuação obtida, sendo *Certified* para 40 a 49 pontos, *Silver* para 50 a 59 pontos, *Gold* para 60 a 79 pontos, e *Platinum* para 80 a 110 pontos. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar uma edificação localizada na cidade de Campo Mourão - Paraná, quanto ao atendimento dos requisitos para a certificação LEED na tipologia BD+C.

Materiais e Métodos

A metodologia adotada para este estudo consistiu na identificação dos critérios de certificação LEED BD+C, com base no guia referencial versão 4.1 disponível no site do GBC Brasil. Esse guia serviu como referência para a aplicação dos padrões de certificação e ofereceu diretrizes detalhadas para cada categoria de desempenho da edificação. Além disso, foi utilizado o checklist LEED v4.1 para BD+C: Nova Construção e Grandes Reformas, também disponível no site do GBC Brasil.

A análise dos projetos arquitetônicos, hidráulicos e elétricos foi realizada com base nos arquivos fornecidos pelo proprietário do empreendimento no formato "*Portable Document Format*" (PDF). Esses arquivos foram essenciais para verificar o cumprimento dos critérios estabelecidos em cada categoria. Para complementar essa análise, uma visita in loco foi realizada, permitindo a obtenção de registros fotográficos utilizando a câmera do celular. Essas fotos serviram como comprovação de algumas das exigências estabelecidas, além de possibilitar o teste de luminância no ambiente utilizando o aplicativo Light Meter, versão avaliação, disponível na AppStore.

Além dos recursos mencionados, foram utilizados o Google Earth Pro, leis municipais e materiais disponíveis na internet referentes à marca dos equipamentos hidráulicos. O site do Instituto de Água e Terra do Paraná também foi consultado para obter informações adicionais relevantes para a pesquisa.

Resultados e Discussão

A primeira categoria, à Localização e Transporte, objetiva mitigar os danos ambientais decorrentes da situação geográfica da edificação em terrenos específicos. Composta por 8 créditos e a capacidade de viabilizar até 16 pontos, a edificação em análise alcançou um total de 6 pontos dentre os 16 possíveis.

Já Terrenos Sustentáveis tem o intuito de instigar o planejamento, projeto e execução de edifícios em terrenos que promovam a sustentabilidade e a minimização dos impactos ambientais e sociais decorrentes da construção. Possuindo 1 pré-requisito o qual não foi atendido pelo empreendimento, e 6 créditos que possibilitam obter até 10 pontos, esta categoria finalizou com um total de 6 pontos conquistados.

Com 3 pré-requisitos, a categoria Eficiência Hídrica promove a conservação da água e incentiva práticas sustentáveis de gestão da água em edifícios. O empreendimento conseguiu atender a 2 dos 3 pré-requisitos e obteve 2 pontos dos 11 possíveis por meio dos créditos relacionados a essa categoria.

A categoria Energia e Atmosfera promove a eficiência energética e a redução do impacto ambiental dos edifícios. Composta por 4 pré-requisitos, o empreendimento conseguiu atender a 2 deles. No que diz respeito aos créditos, dos 33 pontos possíveis, não foram obtidos quaisquer pontos.

Materiais e Recursos incentiva a redução do consumo de materiais, a reutilização de materiais existentes e a seleção de materiais mais sustentáveis e saudáveis para o meio ambiente com baixas emissões de COV. Nessa categoria, o único pré-requisito não foi atendido e nenhum ponto foi conquistado dos 13 possíveis por meio dos créditos relacionados.

Contendo 2 pré-requisitos e 9 créditos, a categoria Qualidade do Ambiente Interno promove a saúde, a comodidade e o bem-estar dos ocupantes do edifício. O empreendimento obteve êxito em atender a 1 dos pré-requisitos e conquistou 9 pontos dos 16 possíveis por meio dos créditos relacionados a essa categoria.

A penúltima categoria Inovação incentiva e reconhece a adoção de práticas e soluções sustentáveis inovadoras, que vão além dos requisitos mínimos exigidos pelo sistema LEED. Essa categoria não possui pré-requisitos e permite obter até 6 pontos adicionais, dos quais o empreendimento alcançou 2 pontos.

Por fim, Prioridade Regional fornece estímulo para a obtenção de créditos que abordem prioridades ambientais, sociais e de saúde pública específicas para determinada região geográfica, a qual encontra-se o empreendimento em análise. Essa categoria não possui pré-requisitos e permite obter até 4 pontos, dos quais o edifício conquistou 3 pontos.

As categorias e seus respectivos créditos e pré-requisitos, estão apresentados na Figura 1.

0	0	0	Crédito Processo Integrado	1					
2	4	0	Localização e Transporte	16	0	0	0	Materiais e Recursos	13
			Crédito Localização do LEED Neighborhood (Bairros)	16	N			Pré-req Armazenamento e Coleta de Recicláveis	Obrigatório
1			Crédito Proteção de Áreas Sensíveis	1				Crédito Redução do Impacto do Ciclo de Vida do Edifício	5
			Crédito Local de Alta Prioridade	2				Crédito Divulgação e Otimização de Produto do Edifício – Declarações Ambientais de Produto	2
	4		Crédito Densidade do Entorno e Usos Diversos	5				Crédito Divulgação e Otimização de Produto do Edifício – Origem de Matérias-primas	2
			Crédito Acesso a Transporte de Qualidade	5				Crédito Divulgação e Otimização de Produto do Edifício – Ingredientes do Material	2
1			Crédito Instalações para Bicicletas	1				Crédito Gerenciamento da Construção e Resíduos de Demolição	2
			Crédito Redução da Área de Projeção do Estacionamento	1					
			Crédito Veículos Verdes	1					
6	0	0	Terrenos Sustentáveis	10	6	3	0	Qualidade do Ambiente Interno	16
N			Pré-req Prevenção da Poluição na Atividade de Construção	Obrigatório	N			Pré-req Desempenho Mínimo da Qualidade do Ar Interior	Obrigatório
1			Crédito Avaliação do Terreno	1	S			Pré-req Controle Ambiental da Fumaça de Tabaco	Obrigatório
			Crédito Desenvolvimento do Terreno - Proteger ou Restaurar H:	2		1		Crédito Estratégias Avançadas de Qualidade do Ar Interior	2
			Crédito Espaço Aberto	1		1		Crédito Materiais de Baixa Emissão	3
3			Crédito Gestão de Águas Pluviais	3		1		Crédito Plano de Gestão da Qualidade do Ar Interior da Construção	1
2			Crédito Redução de Ilhas de Calor	2			0	Crédito Avaliação da Qualidade do Ar Interior	2
			Crédito Redução da Poluição Luminosa	1		1		Crédito Conforto Térmico	1
						1		Crédito Iluminação Interna	2
						3		Crédito Luz Natural	3
						1		Crédito Vistas de Qualidade	1
						0		Crédito Desempenho Acústico	1
2	0	0	Eficiência Hídrica	11	0	2	0	Inovação	6
S			Pré-req Redução do Uso de Água do Exterior	Obrigatório		2		Crédito Inovação	5
N			Pré-req Redução do Uso de Água do Interior	Obrigatório				Crédito Profissional Acreditado LEED	1
S			Pré-req Medição de Água do Edifício	Obrigatório					
2			Crédito Redução do Uso de Água do Exterior	2					
			Crédito Redução do Uso de Água do Interior	6					
			Crédito Uso de Água de Torre de Resfriamento	2					
			Crédito Medição de Água	1					
0	0	0	Energia e Atmosfera	33	3	0	0	Prioridade Regional	4
N			Pré-req Comissionamento Fundamental e Verificação	Obrigatório	1			Crédito Prioridade Regional: Crédito Específico	1
N			Pré-req Desempenho Mínimo de Energia	Obrigatório	1			Crédito Prioridade Regional: Crédito Específico	1
S			Pré-req Medição de Energia do Edifício	Obrigatório	1			Crédito Prioridade Regional: Crédito Específico	1
S			Pré-req Gerenciamento Fundamental de Gases Refrigerantes	Obrigatório			0	Crédito Prioridade Regional: Crédito Específico	1
			Crédito Comissionamento Avançado	6					
			Crédito Otimizar Desempenho Energético	18					
			Crédito Medição de Energia Avançada	1					
			Crédito Resposta à Demanda	2					
			Crédito Produção de Energia Renovável	5					
			Crédito Gerenciamento Avançado de Gases Refrigerantes	1					
19	9	0			28	TOTAIS		Pontos Possíveis: 110	
									Certificado: 40 a 49 pontos, Silver: 50 a 59 pontos, Gold: 60 a 79 pontos, Platinum: 80 a 110
									S= sim (atendido) N= não (não atendido)

Figura 1: Checklist LEED v4.1 para BD+C Novas Construções e Grandes Reformas

Considerações finais

A categoria Prioridade Regional apresentou a maior porcentagem alcançada em comparação com as outras categorias analisadas, sendo 75%, seguida por Terrenos Sustentáveis com 60%. Por outro lado, Energia e Atmosfera e Materiais e Recursos obtiveram uma porcentagem igual 0. Dos 11 pré-requisitos listados na certificação, apenas 5 foram atendidos, e dos 110 pontos possíveis, apenas 28 foram conquistados. No entanto, devido à falta de cumprimento de todos os pré-requisitos e à pontuação abaixo do mínimo necessário, que é de 40 pontos para obter a certificação, o edifício não pode ser certificado.

Agradecimentos

As autoras agradecem a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo apoio recebido, e ao proprietário do imóvel pela autorização e disponibilização dos materiais necessários para a condução desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

Green Building Council Brasil. 2023. Seja Bem-Vindo ao GBC Brasil. <https://www.gbcbrazil.org.br/>

Green Building Council Brasil. 2023. Leadership in energy and environmental design. <https://www.gbcbrazil.org.br/certificacao/certificacao-lead/>

Mingrone, R. C. C. 2016. Sustentabilidade na construção civil: Análise comparativa dos conceitos empregados em obras segundo as certificações AQUA_HQE e LEED. Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Nunes, M. F. 2018. Análise da contribuição das certificações ambientais aos desafios da Agenda 2030. Revista Internacional de Ciências, v. 8, n. 01, p.27-46.

United Nations Environment Programme. 2020. 2020 global status report for buildings and construction. <https://globalabc.org/news/launched-2020-global-status-report-buildings-and-construction>.

INTERFACES ENTRE A GESTÃO DE ÁREAS DE RISCO, ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE E A IMPLANTAÇÃO DO SANEAMENTO BÁSICO EM PORTO ALEGRE - RS

¹Thamys Zerwes Luz, ²Tiago de Vargas, ³Paulo Robinson da Silva Samuel

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, thamyszerwes@gmail.com; ²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tiago.devargas@ufrgs.br; ³Departamento Municipal de Água e Esgotos, paulo.samuel@gmail.com

Palavras-chave: Saneamento Básico; Área de Risco Geológico; Área de Proteção Permanente

Resumo

O crescimento populacional acelerado e as dificuldades econômicas do Brasil vêm transformando a paisagem dos espaços urbanos das grandes metrópoles. Do mesmo modo que as outras cidades brasileiras, Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul, tem um cenário significativo de residências em áreas irregulares (PESSOA, 2015). A falta de planejamento urbano e o déficit habitacional conduz o avanço de moradias informais para áreas sem infraestrutura, sem gerenciamento do uso e ocupação do solo, em áreas de proteção ambiental e em regiões com de risco de escorregamentos e de inundações, geologicamente vulneráveis a desastres naturais (ROSA FILHO; CORTEZ, 2010; ZANANDREZ; SILVEIRA, 2019), além da vulnerabilidade socioeconômica da população. A necessidade de atendimento, melhoria e ampliação dos serviços de saneamento básico a estas áreas de assentamentos precários urbanos é alarmante, uma vez que a falta deste conjunto de serviços essenciais afeta a saúde, a qualidade de vida da população e intensifica a poluição do meio ambiente (BILIBIO, *et. al* 2021). O estudo teve como objetivo analisar as legislações existentes e demonstrar as lacunas que limitam a implantação dos serviços essenciais de saneamento básico em áreas irregulares e informais do município de Porto Alegre. As diretrizes das legislações Municipal, Estadual e Federal apresentam dificuldades para a melhor domínio no uso e ocupação do solo em áreas irregulares e em áreas de proteção permanente (APP). Assim como a Constituição Federal, onde estabelece que a propriedade precisa cumprir a sua função social, que é um dos aspectos fundamentais do direito à cidade, a Constituição Estadual do Rio Grande do Sul salienta que o Estado deve possuir a Política Estadual de Habitação, a fim de suprir a deficiência de moradia para a população em situação de vulnerabilidade social (BRASIL, 1988; RIO GRANDE DO SUL, 1989). Já a Lei Orgânica do município de Porto Alegre evidencia que a cidade necessita promover o desenvolvimento urbano e a preservação do meio ambiente, o acesso aos serviços públicos e as políticas públicas para que a população possa gozar do direito à moradia íntegra (PORTO ALEGRE, 2022). Estas legislações também destacam a impossibilidade de assentamento populacional em áreas de risco e APP, porém não condizem com dimensão do cenário atual de aglomerados subnormais no Brasil. O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA) de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2011), art. 23, determina a implementação de Programas de Habitação de Interesse Social, visando o melhor acesso ao solo urbanizado e regularizado, levando em consideração as áreas de risco e harmonização com o meio ambiente. A criação de Áreas Especiais de Interesse Social (AEIS) em Porto Alegre teve com o propósito de regularizar legalmente a propriedade de imóveis dos cidadãos de baixa renda provenientes de projetos de regularização fundiária, garantindo regime urbanístico adequado para as áreas que foram gravadas como AEIS, mas que não tiveram seu regime definido na época. Em Porto Alegre, estas áreas estão previstas desde o ano de 1995 (Lei nº 338/1995) e somente foram instituídas em todo o país no ano de 2001, através do Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001). Dados extraídos do relatório Déficit Habitacional no Brasil 2016 – 2019, elaborado pela Fundação João Pinheiro em 2021, mostram que o déficit habitacional do Brasil está em cerca de 5,657 milhões de domicílios, sendo a região sudeste a que relata maior deficiência, 2,173 milhões de moradias (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2021). São Paulo é o estado brasileiro com maior déficit habitacional do país, sendo o Rio Grande do Sul, o estado que possui os menores índices de déficit habitacional. Conforme o Relatório Anual de Condições de Habitação do Rio Grande do Sul (RIO GRANDE DO SUL, 2018), o município de Porto Alegre mostra que mais de 5% dos domicílios são impróprios e/ou sem acesso completo à infraestrutura de serviços públicos de saneamento básico. Cerca de 63% das habitações precárias são habitadas por uma população com renda mensal de até 01 salário mínimo (SM), enquanto que famílias com renda de 01 a 02 SM residem em 22% destas moradias precárias. Outro fato agravante é que 36% da população com renda de até 01 SM apresenta ônus excessivo com o aluguel urbano, enquanto que na população com renda de 01 a 02 SM, este índice passa para 45% (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2021). O Código Florestal Federal delimita o uso e ocupação do solo nas encostas (ou em parte) e nos topos de morros, restringindo à ocupação a declividade máxima de 45° e a 2/3 de altura máxima de elevação em relação à base dos morros, respectivamente, e em grupos urbanos irregulares que ocupam APP, quando concedidos pela Lei Federal nº 13.165/2017 (BRASIL, 2017). Para Furigo *et. al* (2018) as legislações apresentam fragilidades para a implantação de serviços de saneamento básico em áreas de risco e em APP devido à complexidade na construção da infraestrutura e a instabilidade do local. Essa questão socioambiental está descrita na Lei Complementar Municipal nº 793/2016, que estabelece as “condições para a instalação de redes de abastecimento de água e de remoção de esgoto cloacal em áreas não regularizadas”. nos arts. 6 e 7, em APP as redes somente poderão ser implantadas por intermédio da anuência do órgão ambiental habilitado, e em áreas de risco fica proibida a instalação destas redes, respectivamente. (PORTO ALEGRE, 2016). A vulnerabilidade econômica da

população faz com que aumente os núcleos urbanos informais, afetando diretamente o meio ambiente da região e a saúde da comunidade. De forma geral, as legislações brasileiras deixam um cenário embaraçoso para a implantação dos serviços de saneamento básico. Essa discordância favorece que as habitações informais cresçam e novos aglomerados populacionais se consolidem. É sabido que as políticas públicas habitacionais não conseguem atender integralmente a população instalada em Áreas de Risco e em APP, porém o mínimo de saneamento básico que a comunidade precisa receber para minimizar os gastos públicos com atendimentos no Sistema Único de Saúde (proveniente pelas doenças relacionadas a falta de saneamento básico) e remediação ambiental, devido a poluição gerada pelo esgoto doméstico lançado in natura e falta de coleta de resíduo sólido deve ser considerada enquanto não há realocação e/ou regularização da região. Neste sentido, sugere-se que sejam realizados e aprofundados os estudos nas regiões com precariedade de saneamento básico para afinar as legislações existentes, com a finalidade de melhorar a aplicação e a gestão das políticas públicas habitacionais e de saneamento básico.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre (DMAE), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, agradecemos também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

Bilibio, E. C. F.; Silva, L. D. da; Navarro, T. T. D.; Silva, V. C. da.; 2021. Saneamento básico um direito fundamental da população. Revista Percurso, Curitiba, v. 2, ed. 39, p. 243-251, 20 abr. 2021. Disponível em: <http://revista.unicuritiba.edu.br/index.php/percurso/article/view/5467/371373450>. Acesso em: 19 jun. 2023.

BRASIL. [Constituição 1988]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, [2016]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm Acesso em: 1 jan. 2017.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, 10 jul. 2001. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm Acesso em: 25 jun. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 25 maio 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm Acesso em: 25 jun. 2023.

Fundação João Pinheiro (FJP). Deficit habitacional no Brasil – 2016-2019. Belo Horizonte, 2021. p. 169. Disponível em: https://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/04/21.05_Relatorio-Deficit-Habitacional-no-Brasil-2016-2019-v2.0.pdf Acesso em: 18 jun. 2023.

Furigo, R. de F. R.; ferrara, L. N.; Samora, P. R.; Moretti, R. de S.; 2018. Universalização do saneamento: possibilidades para superar o déficit dos assentamentos precários urbanos. III Seminário Nacional sobre Urbanização de Favelas, Salvador, Disponível em: <https://lepur.com.br/wp-content/uploads/2018/11/FURIGO-ET-AL-URB-Favelas-2018.pdf> Acesso em: 25 jun. 2023.

Pessoa, M. L.; 2015. O cenário da habitação informal e da regularização fundiária em Porto Alegre-RS. Porto Alegre, v. 42, n.3, p. 109-120. Disponível em: <https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/indicadores/article/view/3459/3528> Acesso em: 10 jul. 2018.

PORTO ALEGRE. Lei Complementar nº 338, de 12 de janeiro de 1995. Institui as áreas especiais de interesse social e dá outras providências. Porto Alegre, 21 jan. 1995. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/rs/p/porto-alegre/lei-complementar/1995/33/338/lei-complementar-n-338-1995-institui-as-areas-especiais-de-interesse-social-e-da-outras-providencias> Acesso em: 25 jun. 2023.

PORTO ALEGRE. Lei Complementar nº 667 de 03 de janeiro de 2011. Altera a redação do § 7º e inclui § 7º-A no art. 52 da Lei Complementar nº 434, de 1º de dezembro de 1999, e alterações posteriores, dispondo acerca das edificações da Macrozona 1, em caso de aquisição de Índices Adensáveis (IA) oriundos da Transferência de Potencial Construtivo ou de aquisição de Solo Criado. Disponível em: http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/spm/usu_doc/planodiretortexto.pdf Acesso em: 25 jun. 2023.

PORTO ALEGRE. Lei Complementar nº 793, de 17 de março de 2016. Regulamenta o art. 219 da lei orgânica do município de porto alegre, estabelecendo condições para a instalação de redes de abastecimento de água e de remoção de esgoto cloacal em áreas não regularizadas, pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos - DMAE -, e revoga a lei complementar nº 570, de 11 de junho de 2007. Porto Alegre, 17 mar. 2016. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/rs/p/porto-alegre/lei-complementar/2016/80/793/lei-complementar-n-793-2016-regulamenta-o-art-219-da-lei-organica-do-municipio-de-porto-alegre-estabelecendo-condicoes-para-a-instalacao-de-redes-de-abastecimento-de-agua-e-de-remocao-de-esgoto-cloacal-em-areas-nao-regularizadas-pelo-departamento-municipal-de-agua-e-esgotos-dmae-e-revoga-a-lei-complementar-n-570-de-11-de-junho-de-2007> Acesso em: 18 jun. 2023.

PORTO ALEGRE. Lei Orgânica do Município de Porto Alegre: Atualizada até Emenda n.º 49, de 12.12.2022, Porto Alegre, 12 dez. 2022. Disponível em: https://legislacao.camarapoa.rs.gov.br/wp-content/uploads/documents/lei_organica/Lei%20Org%C3%A2nica%20do%20Munic%C3%ADpio%20de%20Porto%20Alegre%20atualizada%20at%C3%A9%20emenda%20n%C2%BA%2049.pdf Acesso em: 18 jun. 2023.

RIO GRANDE DO SUL. [Constituição (1989)]. Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. 4. ed. atual. Porto Alegre: Assembléia Legislativa do Estado do Rio Grande do Sul, 1995. Disponível em: <http://www2.al.rs.gov.br/dal/LinkClick.aspx?fileticket=WQdIfqNoXO4%3d&tabid=3683&mid=5359> Acesso em: 19 jun. 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Relatório Anual de Condições de Habitação do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://dee.rs.gov.br/upload/arquivos/202005/19221923-relatoriocondicoeshabitacao-2018-2.pdf> Acesso em: 18 jun. 2023.

Rosa Filho, A.; Cortez, A. T. C.; 2010. A problemática socioambiental da ocupação urbana em áreas de risco de deslizamento da “Suíça Brasileira”. Revista Brasileira de Geografia Física, [S. l.], v. 3, p. 33-40. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232610/26628> Acesso em: 10 jul. 2018.

Zanandrea, F.; Silveira, A. L. L.; 2018. Uso de técnicas de low impact development no controle de impactos hidrológicos. Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, 2018, v. 24, ed. 6, p. 1195-1208, 17 set. 2018. DOI 10.1590/S1413-41522019188729. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/6pP5WB7TrrCt4jPtRZy5g4K/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 18 jun. 2023.

RESUMOS



ÁREA TEMÁTICA
Reaproveitamento de Resíduos Sólidos

HIDRÓLISE COM ÁGUA SUBCRÍTICA DE RESÍDUOS DE CASCAS E BAGAÇOS DE LARANJA

Amanda Rampelotto de Azevedo¹, Beatriz de Andrade Araujo², Bruno Douglas Kerber³, Rafaela Machado Assunção⁴, Renan Pfeifenberg⁵, Pedro Antônio Castro Regio dos Santos⁶, Giovani Leone Zabot⁷, Marcus Vinícius Tres⁸

¹ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), amanda-azv@hotmail.com; ² Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), beatriz.araujo@acad.ufsm.br; ³ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), bruno.kerber@acad.ufsm.br; ⁴ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), assuncao.rafaela@acad.ufsm.br; ⁵ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), renanpfeifenberg@gmail.com; ⁶ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pedrorregiosantos@gmail.com; ⁷ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), giovani.zabot@ufsm.br; ⁸ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), marcus.tres@ufsm.br

Palavras-chave: Açúcares redutores; Tecnologia subcrítica; Resíduos agrícolas.

Resumo

O Brasil é um dos países com maior produção de laranja e produção e exportação de suco de laranja. Somente na safra de 2022 foi responsável por 34% da produção total de laranjas mundial e também pela produção (71%) e exportação (75%) de suco de laranjas, mundialmente (USDA, 2023). Considera-se que cerca de 50% do peso da fruta é referente aos resíduos gerados (casca, polpa e sementes) no processamento da laranja, estima-se uma produção mundial de 23 milhões de toneladas, correspondentes a safra de 2022. O resíduo da laranja contém uma ampla variedade de compostos e é caracterizado na produção de produtos de alto valor agregado. Nesse sentido, o emprego de tecnologias hidrotérmicas é um processo viável e promissor, convertendo biomassas residuais com altos teores de lignocelulose em um produto de interesse comercial (SANTOS, 2020). Na tecnologia subcrítica a água é aplicada na celulose em estado subcrítico, convertendo os polímeros insolúveis em água, em oligômeros e açúcares monômeros. Além disso, a água é utilizada como solvente, em seu estado subcrítico, variando em temperaturas de 150 à 374 °C e pressão de até 22 MPa (COCERO et al., 2018). Dessa forma, o objetivo desse estudo consiste em obter açúcares fermentescíveis a partir do processamento de resíduos de laranjas sob hidrólise em água subcrítica.

Para uma melhor compreensão, um fluxograma das metodologias desenvolvidas nesse estudo é apresentado na Figura 1.

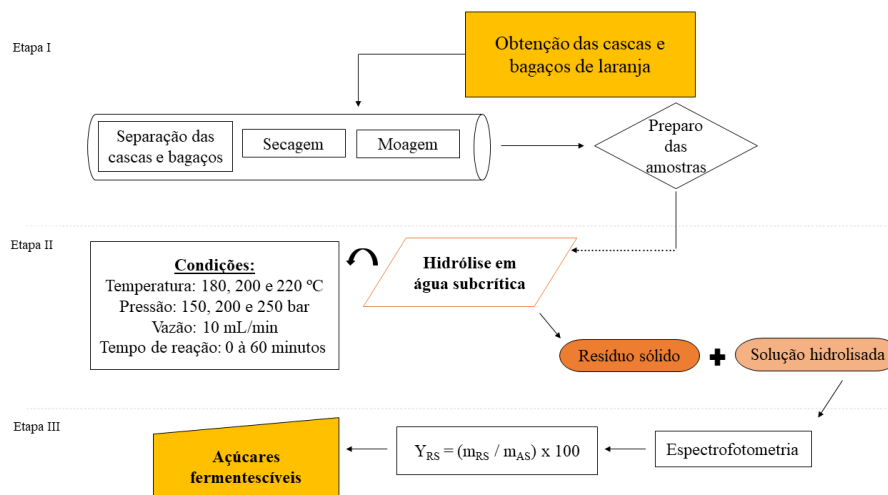


Figura 1: Fluxograma das etapas metodológicas desenvolvidas nesse estudo.

Os rendimentos de Y_{RS} para as biomassas de casca (A) e bagaço (B) de laranja são apresentados na Figura 2. Nas condições avaliadas para casca de laranja, verificou-se os maiores teores de açúcares fermentescíveis em temperatura de 220 °C e pressão de 250 bar (Y_{RS} de até 4,011 g/ 100g biomassa). Para os bagaços de laranja, os maiores rendimentos de Y_{RS} foram observados nas condições de temperatura de 180 °C e pressão de 200 bar (Y_{RS} de até 3,285 g/ 100g biomassa). Os menores teores de açúcares fermentescíveis encontrados para casca (2,733 g/ 100g biomassa) e bagaço (1,926 g/ 100g biomassa) de laranja foram nas condições de 200 °C e 250 bar e 180 °C e 250 bar, respectivamente. Este comportamento está relacionado a potencialização da extração, onde, a alta pressão do sistema otimiza a penetração do solvente na biomassa e as altas temperaturas, diminuem a viscosidade e tensão superficial da matriz lignocelulósica, resultando no maior contato do soluto com o solvente e maiores extrações (BARRALES et al., 2018). Por outro lado, altas temperaturas favorecem a degradação dos açúcares gerados na hidrólise, fator que explica os baixos rendimentos no bagaço de laranja em condições de temperatura de 220 °C e pressão de 250 bar (PINTO, 2017).

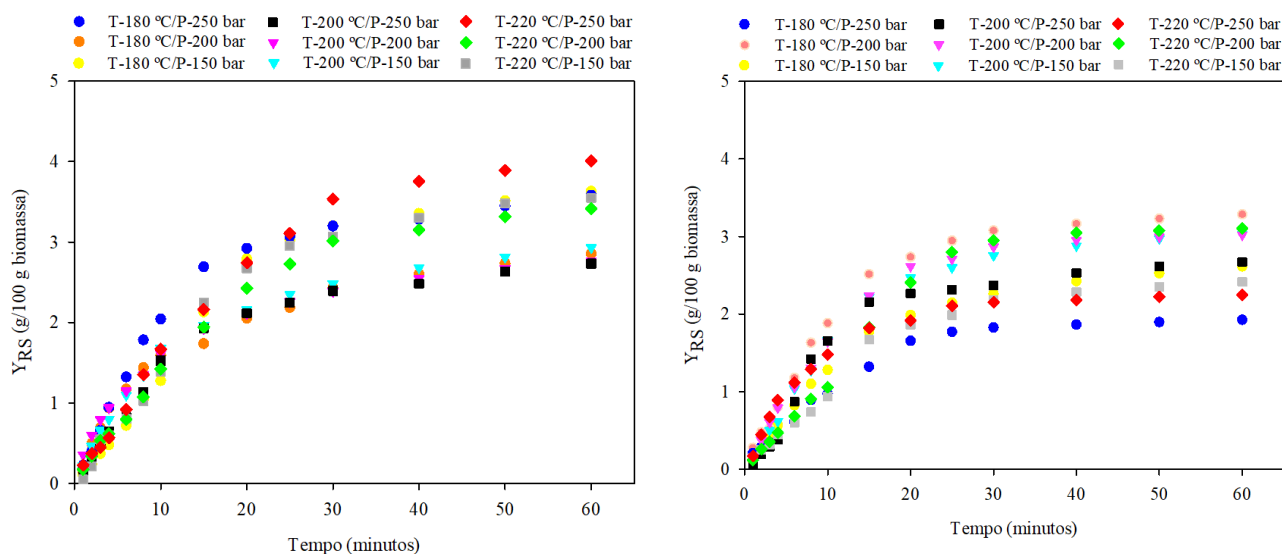


Figura 2: Perfil cinético do YRS (g/ 100g biomassa) em casca (A) e bagaço (B) de laranja.

As análises evidenciaram maiores teores de Y_{RS} para cascas (Y_{RS} de até 4,011 g/ 100g biomassa) e bagaços (Y_{RS} de até 3,285 g/ 100g biomassa) de laranja em condições de temperatura de 220 e 180 °C e pressão de 250 e 200 bar, respectivamente. Considerando o panorama indicativo de aumento de resíduos agroindustriais e problemática do descarte ambientalmente correto, o uso da tecnologia subcrítica para explorar a potencialidade desses materiais em subprodutos de valor agregado vai ao encontro aos conceitos de biorrefinaria e gerenciamento de resíduos, tornando a prática sustentável, de baixo custo e ambientalmente limpa.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Referências Bibliográficas

BARRALES, F. M. et al. 2018. Recovery of phenolic compounds from citrus by-products using pressurized liquids—An application to orange peel. *Food and Bioproducts Processing*, v. 112, p. 9-21.

COCERO, M. J. et al. 2018. Understanding biomass fractionation in subcritical & supercritical water. *Journal of Supercritical Fluids*, v. 133, p. 550-565.

PINTO, A. R. R. et al. 2017. Effect of reactor configuration on the subcritical water hydrolysis of recycled paper mill sludge. *The Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v.127, p.68-74.

SANTOS, M. S. N. dos et al. 2020. Optimization of subcritical water hydrolysis of pecan wastes biomasses in a semi-continuous mode. *Bioresource Technology*, v. 306. p. 123129.

USDA, FAS. 2020. Citrus: Mercados e comércio mundiais.

RESUMOS



ÁREA TEMÁTICA
Recursos Hídricos e Qualidade da água

GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE TAPES-RS

¹Daniel Gunnar Flores Sanhudo, ²Juliana Pertille da Silva,

¹Universidade Federal de Pelotas, e-mail: daniel.sanhudo@ufpel.com;

²Universidade Federal de Pelotas, e-mail: juliana.pertill@gmail;

Palavras-chave: hidrogeologia; geoquímica; Tapes

Introdução

O abastecimento público do município de Tapes é realizado por poços tubulares profundos localizados na área urbana do município. O município encontra-se na Planície Costeira do estado do Rio Grande do Sul, cujas águas subterrâneas estão armazenadas em aquíferos livres do tipo intragranular. Os poços apresentam vazões específicas entre 1,016 e 3,772m³/h/m e profundidade entre 62,70m e 92,00m. Apesar da relevância social e ambiental desse recurso hídrico para o município, estudos sobre as características físico-químicas das águas subterrâneas são praticamente inexistentes. O objetivo geral é compreender a variabilidade temporal das características físico-químicas das águas subterrâneas para duas campanhas de amostragem. Os objetivos específicos incluem a caracterização geológica, avaliação dos parâmetros físico-químicos e comparação desses parâmetros com a legislação vigente.

Metodologia

A metodologia utilizada nesse estudo compreende as seguintes etapas: 1) pesquisa documental via consulta das fichas técnicas dos poços de água subterrâneas de Tapes disponibilizados pelo portal do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS; 2) elaboração do mapa de geológico do município com base das informações disponibilizadas pelo IBGE e CPRM (Serviço Geológico do Brasil); 3) avaliação dos resultados das análises físico-químicas de cinco poços tubulares para duas campanhas de amostragem, a primeira em 24/01/2017 e a segunda campanha em 31/07/2017, disponibilizados pela companhia que gerencia o abastecimento do município; 4) comparação das análises físico-químicas com padrões de potabilidade da Portaria N° 888/2021 e bibliografia.

Resultados e Discussões

Os resultados obtidos através da elaboração da base cartográfica em SIG (Figura 1) apresentam que o solo da área é caracterizado como planossolo com características de acentuada concentração de argila e permeabilidade lenta ou muito lenta. Sobre as informações geológicas destaca-se o fato dos poços se encontrarem na Formação Chuí (Villwock, 1972) que compreende areias quartzosas amarelo avermelhadas semiconsolidadas e muito bem classificadas com espessura máxima de 50 metros. Esta formação é composta de três litologias sendo uma basal, de aproximadamente 20 metros constituída de areias e areias argilosas com pelícipodos tratando-se normalmente de uma coquina; uma intermediária, de aproximadamente 5 metros, constituída de argilas plásticas localmente arenosas e siltosas de cor cinza, com fragmentos de conchas e uma de topo, de aproximadamente 15 metros, expressa por areias finas bem classificadas, não consolidadas, localmente argilosas e de cor cinza ou amarelo pálido.

Nesta formação, na sua parte superior, foi observado várias intercalações de níveis argilo arenosos de cor cinza amarelado a cinza esverdeado, desprovido de estruturas primárias, mas rico em concreções calcáreas e pequenos nódulos de óxidos de ferro e manganês.

Durante sua formação, foi depositada sobre os sedimentos continentais da Formação Graxaim, que é constituída por conjunto de sedimentos inconsolidados de cor vermelha, cinza e amarelo, textural e mineralogicamente imaturos que podem ser agrupados em duas fácies, uma conglomerática e outra areno-siltica com espessura oscilando entre um máximo de 270 metros e decresce gradativamente de valor para oeste até tornar-se nula de encontro aos contra-fortes de Escudo Pré-Cambriano a oeste.

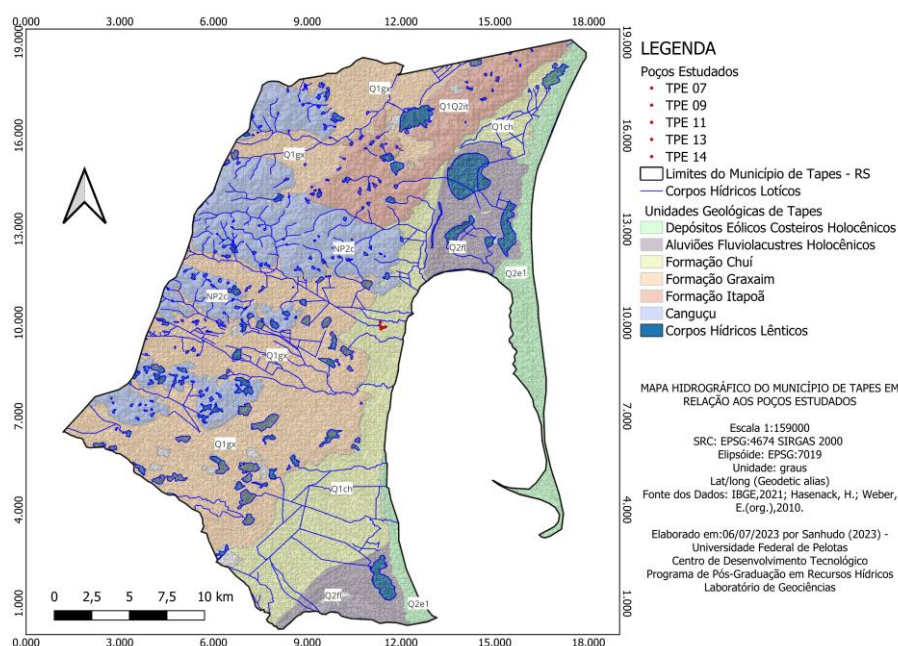


Figura 1: Mapa Hidrográfico combinado com Geologia da área de estudo

Os valores dos parâmetros físico-químicos levantados para os poços TPE-07C, TPE- 09B, TPE-11B, TPE-13A e TPE-14 respectivamente, são apresentados na Tabela 1.

Número do Poço	TPE-07C		TPE- 09B		TPE-11B		TPE-13A		TPE-14	
	1/24/2017	7/31/2017	1/24/2017	7/31/2017	1/24/2017	7/31/2017	1/24/2017	7/31/2017	1/24/2017	7/31/2017
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	425 mg/L	491 mg/L	106 mg/L	95 mg/L	225 mg/L	209 mg/L	148 mg/L	169 mg/L	592 mg/L	613 mg/L
Sódio (Na⁺)	117 mg/L	117 mg/L	23 mg/L	17,3 mg/L	53 mg/L	54 mg/L	39,5 mg/L	39,4 mg/L	150 mg/L	148 mg/L
Ferro (Fe)	0,083 mg/L	< LQ	0,054 mg/L	0,893 mg/L	0,255 mg/L	1,14 mg/L	< LQ	0,252 mg/L	< LQ	< LQ
Cloreto (Cl⁻)	176 mg/L	188 mg/L	14,4 mg/L	14,3 mg/L	69 mg/L	75 mg/L	44,4 mg/L	35,7 mg/L	243 mg/L	243 mg/L
Manganês (Mn)	0,188 mg/L	0,197 mg/L	ND	ND	ND	< LQ	< LQ	ND	0,066 mg/L	0,067 mg/L
pH	6,3	6	6,5	6,4	6,6	6,4	6,5	6,2	6,3	6,1
Sulfatos (SO₄²⁻)	52 mg/L	56 mg/L	7,5 mg/L	7,1 mg/L	17,4 mg/L	18,4 mg/L	15,1 mg/L	12,8 mg/L	80 mg/L	80 mg/L
Dureza total (CaCO₃/L)	97,7 mg/L	111,4 mg/L	14,1 mg/L	16,9 mg/L	46,9 mg/L	43,2 mg/L	30,3 mg/L	36 mg/L	161,1 mg/L	176,3 mg/L

Tabela 1 - Valores dos parâmetros físico-químicos dos poços estudados.

Os resultados apresentam valores de STD variando de 106 a 592 mg/L para a campanha 1 e de 95 a 613 mg/L para a campanha 2 com os valores do poço TPE-14 excedendo somente o limite do padrão Portaria N° 888/2021 (500 mg/L) em 18,40% para a campanha 1 e para 22,6% para a campanha 2. Os valores de Na⁺ variaram de 23 a 150 mg/L para a campanha 1 e de 17,3 a 148 mg/L para a campanha 2. Nenhuma das observações resultou em valores acima do máximo permitido pelas normas vigentes. As concentrações de Fe variaram de 0,054 a 0,255 mg/L para a campanha 1 e duas amostras apresentaram resultados menores do que o limite de quantificação do laboratório e de 0,252 a 1,14 mg/L para a campanha 2 e duas amostras apresentaram resultados menores do que o limite de quantificação do laboratório. Os resultados dos poços TPE- 09B e do TPE-11B para a campanha 2 excederam o limite em todos os padrões utilizados (0,3 mg/L) em 197,67% e 280% respectivamente. Os valores de Cl⁻ variaram de 14,4 a 243 mg/L para a campanha 1 e de 14,3 a 243 mg/L para a campanha 2. Em relação ao limite máximo permissível pelas normas vigentes, nenhuma observação ultrapassou o limite. Os valores de Mn variaram de 0,066 a 0,188 mg/L para a campanha 1 com uma amostra apresentando resultado menor do que o limite de quantificação do

laboratório e dois com ND de 0,067 a 0,197 mg/L para a campanha 2 com uma amostra apresentando resultado menor do que o limite de quantificação do laboratório e dois com ND. O monitoramento do Mn apontou que as amostras das campanhas 1 e 2 do poço TPE-07C apresentaram valores acima do permitido pela legislação em todos os padrões utilizados (0,1 mg/L) em 88,00% e 97%, respectivamente. Os resultados do pH variaram de 6,3 a 6,6 para a campanha 1 e de 6 a 6,4 para a campanha 2. Conforme os padrões utilizados, nenhum resultado apresentou valor superior ao permitido pelas normas vigentes. Os valores de SO_4^{2-} variaram de 7,5 a 80 mg/L para a campanha 1 e de 7,1 a 56 mg/L para a campanha 2. Nenhuma das observações resultou em valores acima do máximo permitido pelas normas vigentes. Os valores de CaCO_3/L variaram de 14,1 a 161,1 mg/L para a campanha 1 e de 14,1 a 176,3 mg/L para a campanha 2. Conforme os resultados obtidos nenhum resultado de CaCO_3/L apresentou valor superior ao permitido pelas normas vigentes.

Considerações Finais

Conclui-se que do total de parâmetros avaliados para a campanha 1, os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) do poço TPE-14 e Manganês (Mn) do poço TPE-07C não atendem as normas vigentes. Os parâmetros avaliados para a campanha 2 demonstram que os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) do poço TPE-14, Ferro (Fe) dos poços TPE-09B e TPE-11B e Manganês (Mn) do poço TPE-07C não atendem as normas vigentes. Essas variações podem ser ocasionadas pela presença de concreções de ferro e manganês na geologia da Formação Chuí. O que demonstra a variabilidade temporal das concentrações e a necessidade de avaliação constante dos dados de monitoramento.

Referências Bibliográficas

Brasil. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. 2008. RESOLUÇÃO CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>.

Brasil. 2017. Portaria Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017 b. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Anexo XX - Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de Potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 825p.

Brasil. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. 2021. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, 29 p. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Banco de Dados de Informações Ambientais Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>.

Serviço Geológico do Brasil - CPRM. 2023. SIAGAS. Águas subterrâneas. Disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php.

Villwock. J. A.; 1972 Contribuição a Geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul - Brasil . Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 133. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1482/000250971.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA SEDE DO MUNICÍPIO DE SOBRAL (CEARÁ)

¹Adriana Alves de Lima, ²Richarde Marques da Silva, ³Erica Silvia de Oliveira Silva, ⁴Andrêza Leite de Araújo, ⁵Jorismar de Oliveira Sena

¹Universidade Federal de Campina Grande, e-mail: adriana.lima@estudante.ufcg.edu.br; ² Universidade Federal da Paraíba, e-mail: richarde@geociencias.ufpb.br; ³ Universidade Federal de Campina Grande, e-mail: erica.silvia@estudante.ufcg.edu.br; ⁴Universidade Federal de Campina Grande, e-mail: alaraujocivil@gmail.com; ⁵Universidade Federal de Campina Grande, e-mail: jorismar.oliveira@estudante.ufcg.edu.br

Palavras-chave: Abastecimento, água potável, tratamento.

Resumo

A segurança hídrica para o abastecimento da população urbana segue sendo um dos principais desafios para a gestão das águas urbanas no Brasil, tanto em termos de quantidade, qualidade da água, como também de infraestrutura. A gestão das águas no Brasil, instituída pela Lei Federal nº 9.433/1997, está fundamentada no atendimento ao uso múltiplo das águas, na gestão descentralizada por bacia hidrográfica, garantindo a participação de forma integrada entre os usuários e a comunidade com o Poder Público. Assim, o objetivo deste estudo é analisar o sistema de abastecimento de água do município de Sobral, Estado do Ceará, avaliando a qualidade da água tratada das Estações de Tratamento de Água (ETA). Para a realização deste trabalho, foram coletados dados e informações da captação da água para o abastecimento público de Sobral. O sistema de abastecimento de água da sede do município de Sobral é formado por ETA Sumaré e ETA Dom Expedito utilizam tecnologias de tratamento de ciclo completo, com as seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração, pós-alcalinização, desinfecção e fluoretação. A coleta de dados compreendeu o período entre janeiro, fevereiro, abril, maio e junho de 2023, compreendendo 01 coleta mensal em 14 pontos. Neste estudo foram coletados dados de turbidez, coliformes totais e E. coli. As amostras foram armazenadas, identificadas e encaminhadas ao Laboratório Central de Saúde Pública (LACEN/CE). Observou-se que a água analisada apresentou todos os parâmetros físico-químicos e microbiológicos avaliados com valores máximos e mínimos de acordo com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 888 de 2021. Conclui-se que a água ofertada aos consumidores da cidade, durante o período do estudo, apresentou características que permite classificá-la como potável, porem devido a estação chuvosa apresentou desconformidades nos parâmetros de cor e turbidez.

Introdução

O aumento da demanda por água é consequência direta do crescimento populacional e da ampliação de seus níveis de consumo e, tais fatores, exercem pressão sobre os mananciais abastecedores, levando ao crescimento das preocupações relativas ao acesso regular à água potável e segura de forma homogênea à população. De acordo com Carmo et al. (2008), o termo vigilância pressupõe a avaliação frequente e continuada de aspectos diversos, objetivando a identificação de riscos potenciais à saúde humana, com vistas a possibilitar formas de intervenção ou controle, assumindo, assim, caráter rotineiro e preventivo. Quando aplicada à qualidade da água para consumo humano, o caráter preventivo torna-se um desafio para os profissionais da vigilância, já que a qualidade da água é dinâmica no tempo e no espaço, sendo o monitoramento realizado ao mesmo tempo em que a água é captada, distribuída e consumida.

Segundo Brito (2013), o padrão de potabilidade é definido como as quantidades limites que podem ser toleradas na água de abastecimento com relação aos diversos elementos. Para atender a esse padrão de potabilidade, as amostras devem atender à legislação vigente do Ministério da Saúde, visando garantir o padrão de potabilidade e os procedimentos de controle de vigilância da qualidade da água para consumo humano. Essa análise é realizada através das análises laboratoriais que avaliam os principais parâmetros de qualidade de água, que consistem em avaliações físico-químicos (cor, turbidez, cloro residual livre,) e microbiológicos (coliformes totais e E. coli).

Acresce que no último levantamento (2020) divulgado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o país possuía uma taxa média de 84% dos brasileiros atendidos com abastecimento de água tratada, sendo aproximadamente 36 milhões de brasileiros sem acesso a este serviço básico (SNIS, 2020) e que apenas dos 29 municípios nas 100 maiores cidades brasileiras, 100% da população vem sendo atendida com água potável (TRATA BRASIL, 2022).

Considerando que a qualidade físico-química e microbiológica da água é essencial para garantir o direito constitucional da população e que ainda há desatenção em relação à potabilidade deste recurso, o presente estudo teve o objetivo de avaliar a qualidade físico-química e microbiológica da água destinada ao consumo humano na cidade de Sobral-CE no ano de 2023.

Materiais e Método

O presente estudo foi realizado no município de Sobral está situado ao norte do Estado do Ceará, localizado a 238 quilômetros de Fortaleza, com acesso rodoviário pela BR-222 e CE-178. Inicialmente, foi realizado um levantamento sobre Sistema de Abastecimento de Água (SAA) a forma de captação e armazenamento da água. Em seguida iniciou-se uma consulta dos textos técnicos de forma a adquirir as informações pertinentes ao tema para realizar o embasamento do trabalho.

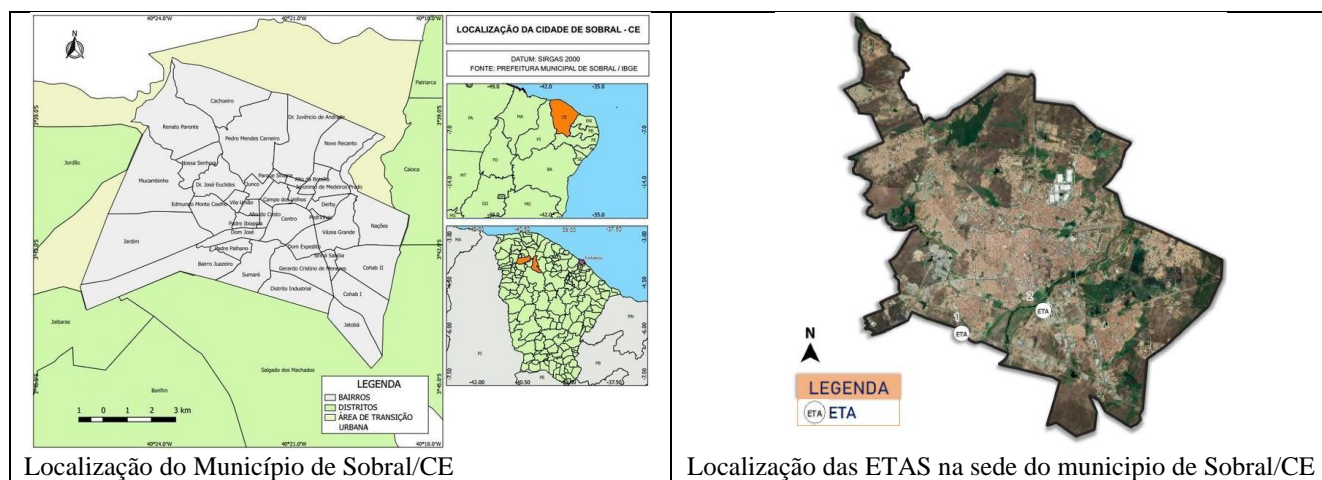


Figura 1: Localização das Estações de Tratamento de Água - ETA Sumaré e ETA Dom Expedito. Fonte: Adaptado Autora (2023).

As principais formas de captação e armazenamento de água são: A margem esquerda da cidade de Sobral é abastecida por meio da captação de água do açude Ayres de Sousa e o tratamento é realizado na ETA Sumaré localizado na Rodovia BR-222 com latitude -3.704312° e longitude -40.369624° . ETA Dom Expedito localiza na rua Luís Alberto do Nascimento Barros com latitude -3.697995° e longitude -40.349042° a captação ocorre no rio Acaraú, possui um tratamento de água de lavagem de filtros e decantadores, com sistema de decantação, leito de secagem e reservatório de água de reuso, a qual retorna para o início do tratamento da estação de tratamento de água.

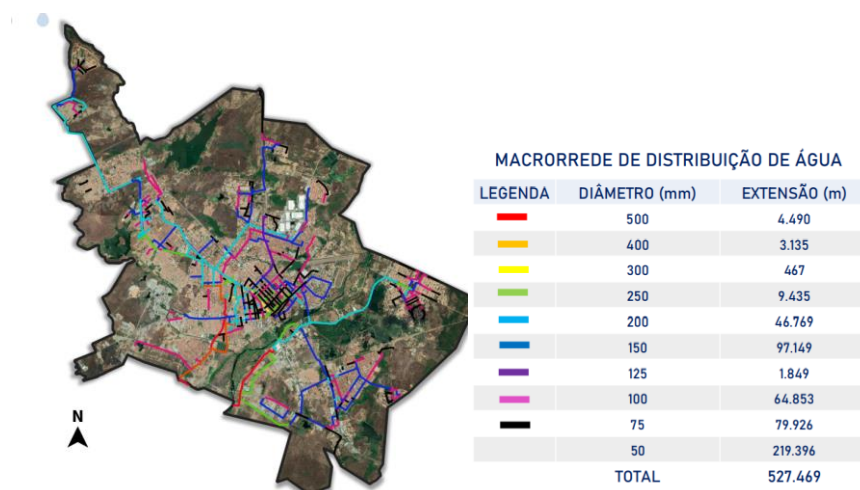


Figura 2. Rede de distribuição de água do Município de Sobral/CE.

As coletas de amostras de água na sede do município foram realizadas entre janeiro, fevereiro, abril, maio e junho de 2023, compreendendo 01 coleta mensal em 14 pontos. Para a coleta, foram utilizados 02 frascos para físico químico e bacteriológico previamente esterilizados e, no momento de cada uma das coletas, foi realizada uma esterilização prévia das saídas de água. Em seguida, antes da coleta efetuou-se higienização da torneira com álcool a 70% e deixando escorrer a água por um tempo de 2 minutos, neste estudo foram coletados dados de turbidez, coliformes totais e E. coli. As amostras foram armazenadas, identificadas e encaminhadas ao Laboratório Central de Saúde Pública (LACEN/CE), onde as análises são realizadas por comparação pela portaria 888/2021. A Tabela 01 apresenta os limites para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos abordados no presente trabalho.

PARÂMETROS	COLORO (mg/L)	COR (uH)	TURB. (uT)	C.T	E.C.
VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS	Mínimo: 0,2 mg/L Máximo: 2 mg/L	15 uH	5 uT	AUSENTE	AUSENTE
LEGENDA: Turbidez = TURB; C.T = Coliformes Totais; E.C = E. Coli					

Tabela 1: Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos permitidos de acordo com a Portaria 888/21

Resultados e Discussão

Estão apresentados na tabela os resultados das amostras de água analisada pelo laboratório LACEN-CE

janeiro/2023			fevereiro /2023			abril/2023			maio/2023			Junho/2023		
	S	I		S	I		S	I		S	I		S	I
CRL	14	-	CRL	14	-	CRL	14	0	CRL	14	0	CRL	14	0
COR	14	-	COR	11	3	COR	1	13	COR	7	7	COR	10	4
TURB.	14	-	TURB.	14	0	TURB.	3	11	TURB.	10	4	TURB.	11	3
C.T.	14	-	C.T.	14	0	C.T.	14	0	C.T.	13	1	C.T.	14	0
E.C.	14	-	E.C.	14	0	E.C.	14	0	E.C.	14	1	E.C.	14	0

Legenda: S – satisfatório; I – Insatisfatório; CRL – Cloro Residual Live; TURB. – Turbidez; C.T. – Coliformes Totais; E.C. – E. coli

Tabela 02 – Resultado das análises dos parâmetros físico – químico e bacteriológico

Diante dos resultados obtidos, observa-se que, dentre os parâmetros físico-químicos analisados, a turbidez e a cor apresentaram valores fora dos padrões estabelecidos pela legislação para algumas amostras. Esses dois parâmetros estão interligados e apresentam mais um aspecto estética do que sanitária, podendo ser corrigidos com a filtração da água para o consumo, mas podemos destacar que o ocorrido teve maior desconformidade no período chuvosa. Os resultados apontam que as análises microbiológicas apresentaram dentro dos padrões

Considerações Finais

Ao apresentar os componentes do sistema de distribuição da água potável foi possível entender o seu funcionamento. Estes componentes podem apresentar falha ao longo do tempo por falta de manutenção, podendo interferir na distribuição da água potável, seja por perda ou qualidade, acarretando o aumento das despesas para a operadora e, assim, prejudicando a população que paga por um serviço eficiente. Este trabalho teve como objetivo contribuir na pesquisa de apoio para conhecimento futuras melhorias nas instalações, onde serão promovidos impactos positivos na população atendida e no meio financeiro. Nas condições em que o trabalho foi realizado e analisando-se os dados obtidos, conclui-se que a água ofertada aos usuários, apresentou características físico-químicas e microbiológicas que permite classificá-la como potável.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

ANA. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional. Brasília: ANA; Engecorps; Cobrape, 2010. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>. Acesso em: 25 de junho de 2023.

FUNASA, Fundação Nacional de Saúde. 3º Caderno de Pesquisa em Engenharia de Saúde Pública. Brasília, Distrito Federal, 2017.

SUS. Cuidados com a água para o consumo humano. Ministério da Saúde Governo Federal. Brasil, 2016.

CARACTERIZAÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS EM RIO GRANDE/RS PELA ABORDAGEM DA EQUAÇÃO DE INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA (IDF).

¹Giulia Maia Vassão, ²Ana Paula Gomes

¹Universidade Federal do Rio Grande - FURG, e-mail: giulia.vassao@hotmail.com;

²Universidade Federal do Rio Grande - FURG, e-mail: anapaulaa.gomes@gmail.com.

Palavras-chave: Precipitações máximas; Distribuição de Gumbel; Distribuição Log-Normal.

Introdução

De acordo com Tucci (2002), as chuvas intensas, também conhecidas como precipitações máximas, são descritas como ocorrências extremas, com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma determinada área. Desse modo, são responsáveis por gerar volumes de água significativos em pequenos intervalos de tempo, provocando impactos expressivos nos sistemas hídricos da localidade afetada, elevando as taxas de escoamento superficial, erosão do solo, assoreamento de rios e deslizamentos de terra. Em vista disso, Villela (1975) afirma que o conhecimento das características das precipitações, tais como intensidade, duração e frequência, têm grande relevância técnica para a engenharia por sua constante aplicação em projetos hidráulicos. No dimensionamento de vertedores de barragens, galerias de águas pluviais, canais, bueiros e outras obras de drenagem, é necessário conhecer a magnitude das enchentes que poderiam ocorrer com determinada frequência, o que denota a necessidade da determinação das precipitações máximas locais. Assim, segundo Collischonn et al (2015), o estudo das relações de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), ou equações de chuvas intensas, permite relacionar a intensidade da precipitação que atinge uma localidade durante determinada duração, dada uma probabilidade de ocorrência.

Existem diversos municípios no Brasil que possuem suas próprias equações de chuvas intensas, incluindo a cidade de Rio Grande – RS. A relação IDF para o município rio-grandino foi proposta, primeiramente, pelo Engenheiro Otto Pfafstetter (1957), em seu estudo sobre chuvas intensas no Brasil. No ano 2010, o Engenheiro Marcos Bazzano (2010) realizou uma revisão da equação para a cidade de Rio Grande. No entanto, se tratando de dados pluviométricos, sujeitos a influência da natureza e de fatores climáticos ao longo do tempo, entende-se que é necessário que as relações IDF estejam em constante reanálise. Nesse contexto, torna-se importante o conhecimento e/ou a atualização da IDF para o município de Rio Grande. Para isto, foram analisados dados pluviométricos medidos pela estação pluviométrica da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), localizada na cidade de Rio Grande, obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Metodologia

Através de consulta realizada no site do INMET, foram obtidas as séries de máximas alturas diárias de chuva para o município de Rio Grande – RS, cujo posto pluviométrico analisado tem coordenadas iguais a 32°04'48"S (latitude) e 52°10'00"W (longitude). Dessa forma, foram realizadas verificações aos ajustes de distribuições teóricas de probabilidade, aplicando os métodos Log-Normal e Gumbel para valores máximos. A função densidade da distribuição de uma variável log-normal X é representada pela equação 1:

$$f_x(x) = \frac{1}{x\sigma_{\ln(x)}\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(\ln(x)-\mu_{\ln(x)})}{\sigma_{\ln(x)}}\right]^2\right\} \quad (1)$$

para $x > 0$

Onde: f_x representa a frequência calculada, μ é a média aritmética, σ o desvio padrão e x a variável aleatória referida. O valor esperado e a variância de uma variável Log-Normal são, respectivamente:

$$E[X] = \mu_x = \exp\left[\mu_{\ln(x)} + \frac{\sigma_{\ln(x)}^2}{2}\right] \quad (2)$$

$$Var[X] = \sigma_x^2 = \mu_x^2[\exp(\sigma_{\ln(x)}^2) - 1] \quad (3)$$

A função de probabilidades acumuladas da distribuição de Gumbel é dada pela equação 4:

$$F_y(y) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{y-\beta}{\alpha}\right)\right] \quad (4)$$

para $-\infty < y < \infty$, $-\infty < \beta < \infty$, $\alpha > 0$

Onde: F_y representa a frequência calculada, y a variável aleatória referida, α o parâmetro de escala e β o parâmetro de posição. O valor esperado e a variância são, respectivamente, pelas equações 5 e 6:

$$E[Y] = \beta + 0,5772\alpha \quad (5)$$

$$Var[Y] = \frac{\pi^2\alpha^2}{6} \quad (6)$$

A verificação do ajuste da série histórica de precipitação máxima diária foi realizada através do teste de aderência de Kolmogorov – Smirnov. Para a desagregação da chuva máxima diária foram utilizados os coeficientes de desagregação estabelecidos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (1986), expressos na Tabela 1.

Relação entre as alturas pluviométricas	Coefficiente de desagregação
5 min / 30 min	0,34
10 min / 30 min	0,54
15 min / 30 min	0,70
20 min / 30 min	0,81
25 min / 30 min	0,91
30 min / 1h	0,74
1h / 24h	0,42
6h / 24h	0,72
8h / 24h	0,78
10h / 24h	0,82
12h / 24h	0,85
24h / 1 dia	1,14

Tabela 1: Coeficientes de desagregação de chuvas para diferentes relações de durações.

A chuva máxima diária foi desagregada para durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos e períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. Para obtenção do melhor ajuste dos coeficientes da equação IDF foi aplicado o método de mínimos quadrados. A relação IDF é expressa a seguir pela equação 7:

$$i = \frac{KT^m}{(t+t_0)^n} \quad (7)$$

onde i representa a intensidade máxima média da chuva em mm/h; T é o período de retorno em anos; t é o tempo de duração da chuva em minutos e m , n , K , t_0 são coeficientes de ajustamento específico para cada localidade.

Resultados

Após aplicar o teste de Kolmogorov-Smirnov, concluiu-se que ambos os métodos probabilísticos (Log-Normal e de Gumbel) apresentaram um bom ajuste aos valores observados. Com isso, foi escolhida a distribuição de Gumbel por ser a mais aplicada na análise de frequência de variáveis hidrológicas. A Figura 1 apresenta o ajuste da curva teórica às curvas obtidas aplicando as distribuições Gumbel e Log-Normal.

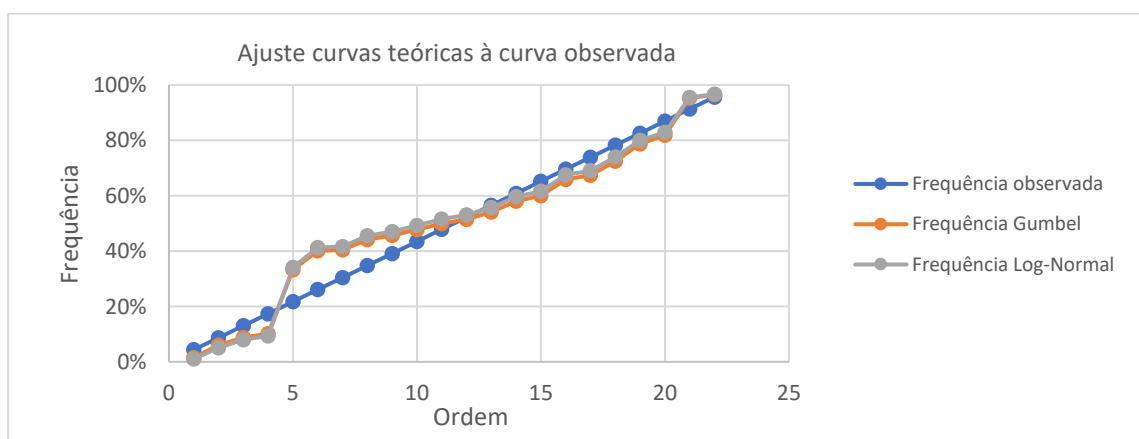


Figura 1: Ajuste curvas teóricas à curva observada.

Os coeficientes obtidos para a equação IDF para o município de Rio Grande estão apresentados na Equação 8:

$$i = \frac{752,950 T^{0,148}}{(t+9,781)^{0,724}} \quad (8)$$

O Figura 2 demonstra as curvas IDF obtidas através da equação 8, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

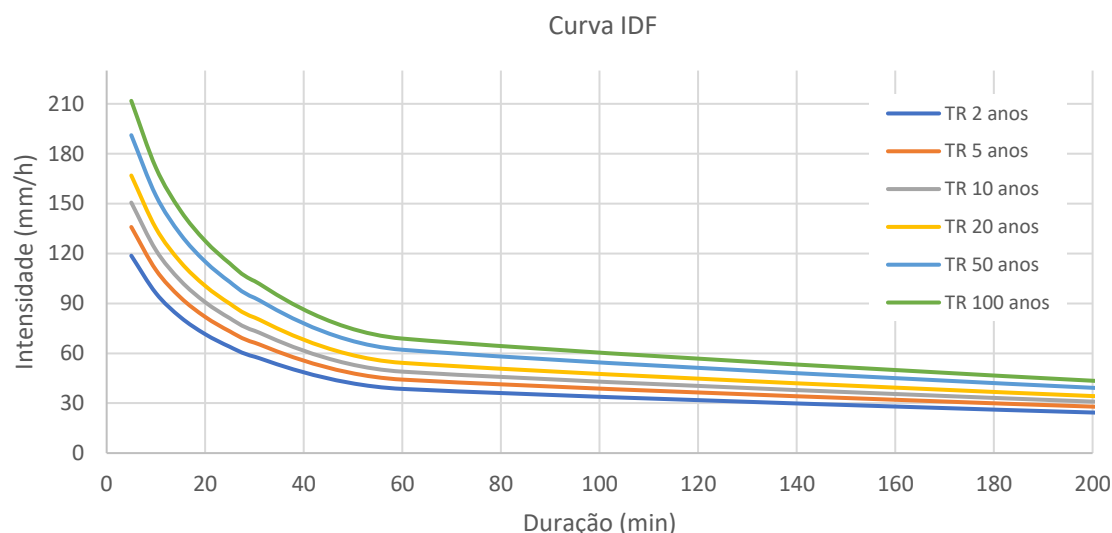


Figura 2: Curva IDF.

O posto pluviométrico utilizado, código A802, está localizado na Universidade Federal do Rio Grande, na cidade de Rio Grande – RS, sendo denominado como estação pluviométrica FURG. O período de observação se encontra entre os anos de 2001 e 2022.

Conclusões

A distribuição de Gumbel aderiu aos dados de precipitação para o posto pluviométrico pertencente ao município de Rio Grande - RS. Desta forma, foi possível obter a chuva máxima diária para períodos de retorno que variaram de 2 a 100 anos. Através dos coeficientes de desagregação, estabelecidos pelo CETESB, foi possível desagregar a chuva máxima diária para durações que variaram de 5 a 1440 minutos. Com base nos resultados obtidos foi estabelecido os parâmetros, por meio do método de mínimos quadrados, da equação IDF que representa as chuvas intensas do município do Rio Grande - RS.

Referências

- Bazzano, M.; 2010. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). Revista Brasileira de Ciência do Solo, pp. 8.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental; 1986. Drenagem urbana: manual de projeto. DAEE/CETESB, pp. 466.
- Collischonn, W.; Dornelles, F.; 2015. Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, pp. 70.
- Naghattini, M.; Pinto, E.; 2007. Hidrologia Estatística. CPRM, pp. 127 – 191.
- Pfafstetter, O.; 1957. Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos. DNOS.
- Tucci, C.; 2002. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pp. 177.
- Villela, S; 1975. Hidrologia Aplicada. Editoria Mcgraw Hill, pp. 45.

SISTEMA ECOLÓGICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL EM ÁREA RURAL NA REGIÃO SERRANA DE SANTA CATARINA

¹ Bárbara de Souza Kayser, ² Arieleen Reis da Silva

^{1,2} Empresa PRESERVA Soluções em Saneamento e Meio Ambiente, e-mail: preserva.sma@gmail.com

Palavras-chave: Tratamento de Água; Filtro Lento; Área Rural.

Resumo

A Organização das Nações Unidas – ONU por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS 6, reforça a necessidade de assegurar o acesso à água potável para todos os seres humanos, independentemente de condição social, econômica e cultural. A carência dos serviços de saneamento atinge principalmente locais em situação de vulnerabilidade social, assim como áreas rurais e comunidades periféricas (BRASIL, 2019).

No Brasil o setor de saneamento vivencia grandes desafios, sendo que as políticas públicas, de forma geral, não têm conseguido acompanhar o ritmo de crescimento e urbanização nos municípios. As leis federais que formam o marco legal do saneamento (Lei 11.445/2007 e Lei 14.026/2020) apresentam como viável a implementação de tecnologias descentralizadas para abastecimento de água. Dentre o rol de tecnologias de tratamento de água que se adequam ao meio rural, a filtração lenta é uma alternativa interessante por apresentar baixa necessidade de manutenção, fácil operação e eficiência na remoção de patógenos.

Neste trabalho será apresentado o estudo de caso de um empreendimento de luxo no ramo turístico, Pousada Vale Sagrado LTDA, que se localiza na área rural do município de Urubici, Santa Catarina/BR. Na Figura 1 pode-se observar a localização e as dependências do local.



Figura 1: Localização e dependências da Pousada Vale Sagrado em Urubici/SC.

A Pousada irá compreender 5 chalés de luxo e 1 residência de alto padrão, totalizando uma demanda máxima de água de aproximadamente 21m³/dia. A água para abastecimento é proveniente de captação superficial em um corpo hídrico que corta a propriedade, para isso foi construída uma barragem em taipas, método artesanal centenário que é muito utilizado na região, e através uma bomba autoaspirante de 1CV é realizado o bombeamento da água bruta. Tendo em vista a boa qualidade de água que abastece o Vale Sagrado foi possível realizar o tratamento da propriedade por meio de filtros, com ênfase na principal tecnologia do sistema de tratamento que é o Filtro lento.

A água bruta captada é enviada a um tanque de armazenamento de 10 mil litros e então direcionada ao início da Estação de Tratamento de Água (ETA), composta por Filtro de Pedra (FP) seguido de Filtro Lento (FL) e Filtro de Carvão Ativado (FCA), assim a água tratada é enviada a um tanque de 20 mil litros onde é clorada por meio de um clorador automático de passagem.

O FP e o FL foram dimensionados com taxa de aplicação superficial de $3\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e o FCA com $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. O FP apresenta fluxo ascendente e demanda uma área de filtração de 3m^2 com dimensões $1,5 \times 2,0 \times 1,5$. O FL demanda uma área de $13,5\text{m}^2$ e foi dividido em dois módulos iguais com dimensões $0,9 \times 7,5 \times 1,5$, o FL apresenta fluxo descendente e sua composição de cima para baixo é de 40 cm de areia fina, 20 cm de areia grossa e 40 cm de seixo rolado. O FCA apresenta fluxo descendente e demanda uma área de $1,5\text{m}^2$ com dimensões $1,0 \times 1,0 \times 1,5$. Na Figura é possível observar o fluxograma do sistema de tratamento de água.

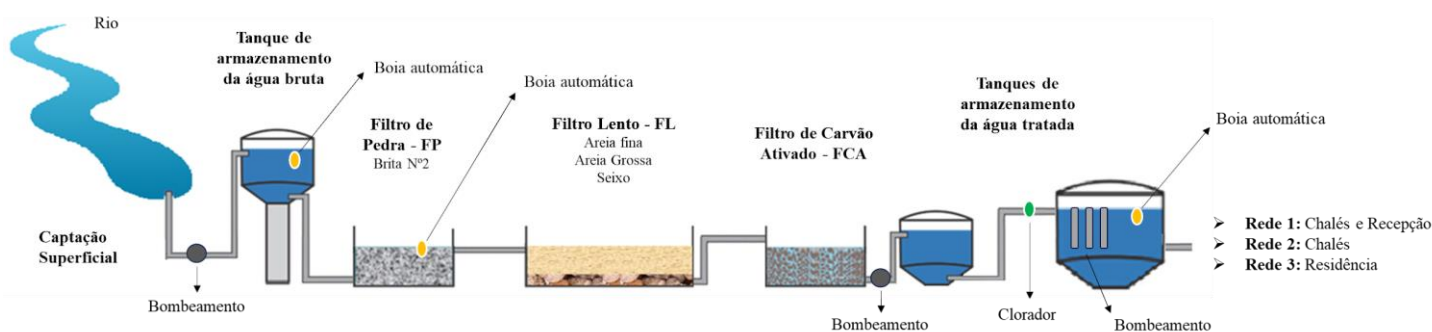


Figura 1: fluxograma do sistema de abastecimento de água potável

Ambos filtros foram construídos de blocos de concreto com base de concreto armado e ferragens, sendo eles rebocados e impermeabilizados com impermeabilizante flexível próprio para áreas molhadas e que não representam qualquer tipo de contaminação à água que ali será submetida a tratamento.

Com a utilização dessas tecnologias de tratamento espera-se o enquadramento da água tratada com a legislação pertinente, com redução de turbidez, sólidos suspensos totais e microrganismos patogênicos como E-coli e coliformes totais. Entende-se que com a startup da Estação de Tratamento ainda teremos um período de maturação dos filtros, segundo Andreoli e Sabogal-Paz (2020) durante o tempo de maturação, a eficiência do tratamento é reduzida, pois é necessário o crescimento da camada biológica, aumentando assim o risco de passagem de patógenos pelos poros do meio filtrante é maior. Freitas, Terin e Sabogal-Paz (2023) descrevem que o tempo para o desenvolvimento de schmutzdecke (camada biológica) é próximo aos 30 dias. Assim, durante esse período deveremos ter um controle mais rigoroso na etapa de desinfecção da água.

O método de captação e tratamento utilizado visa atender as demandas hídricas da Pousada de forma eficiente e sustentável, a fim de obter saneamento básico descentralizado e fornecer a população local e ao mercado hoteleiro de luxo condições melhores no quesito saúde pública, visto que em áreas rurais da região não tem sistema de abastecimento coletivo. O Sistema será monitorado por análises periódicas para comprovar eficiência no tratamento e se necessário, feito melhorias.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer à Pousada Vale Sagrado por permitirem a divulgação dos dados referentes ao seu sistema de abastecimento de água.

Referências Bibliográficas

BRASIL, Programa Nacional de Saneamento Rural – PNSR, 1 ed, Brasília, MINISTÉRIO DA SAÚDE: Fundação Nacional de Saúde, 2019, 260 pg.

ANDREOLI, F.C.; SABOGAL-PAZ, L.P.. Household slow sand filter to treat groundwater with microbiological risks in rural communities. *Water Research*, [S.L.], v. 186, p. 116352, nov. 2020. Elsevier BV.

FREITAS, B.L.s.; TERIN, U.C.; SABOGAL-PAZ, L.P.. Household slow sand filters in intermittent and continuous flow for a long-term surface water treatment: efficiencies assessment and operational challenges. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 110090, jun. 2023. Elsevier BV.

TRANSITÓRIOS HIDRÁULICOS EM LINHAS DE RECALQUE DE ESGOTO - REVISÃO DA LITERATURA

¹Daniel Alfonso Sierra, ²SeyedMehdi Mohammadizadeh, ³Cassiano Sampaio Descovi, ⁴Luis Fernando Murillo-Bermúdez, ⁵José Gilberto Dalfré Filho

¹Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), e-mail: d192229@dac.unicamp.br; ²Unicamp, e-mail: mohammadizadeh@fec.unicamp.br; ³Unicamp, e-mail: cassianodescovi@fec.unicamp.br; ⁴Unicamp, e-mail: luismurillo@fec.unicamp.br; ⁵Unicamp, e-mail: dalfre@unicamp.br.

Palavras-chave: Transitório Hidráulico; Linha de Recalque de Esgoto; Estações elevatórias de esgoto.

Resumo

As instalações hidráulicas, como redes de abastecimento, adutoras de água tratada ou redes de esgoto, são projetadas levando em consideração o escoamento permanente, poucas vezes é revisado o efeito dos transitórios hidráulicos, o qual leva a cenários de falha ou colapso dos sistemas. Os transitórios hidráulicos são mudanças no escoamento produzidos por manobras acidentais (e.g. parada de bomba por falha no fornecimento de energia) ou por manobras corriqueiras (e.g. fechamento de válvulas), estas mudanças no escoamento levam a câmbios na velocidade e nas pressões internas. O efeito mais evidente é a presença de sobre-pressões e depressões em algum ponto ao longo das instalações. Por citar só um exemplo, em outubro de 2019 em Rio de Janeiro (RJ) o rompimento de uma adutora causou o alagamento de ruas e casas, a CEDAE declarou: “*Devido à falta de energia repentina por parte da concessionária de energia elétrica, duas elevatórias de grande porte tiveram paradas bruscas, o que provocou oscilação de pressão na adutora de água causando vazamento na tubulação*” (Platonow, 2018).

Os estudos dos transitórios hidráulicos em estações elevatórias de esgoto (EEE) são ainda mais incomuns, devido as pequenas alturas manométricas comparadas com as adutoras de água bruta ou tratada. Embora o transporte de esgoto tenha particularidades específicas (como a presença de sólidos, a influência de mistura água/líquido/sólidos na celeridade, o maior risco de contaminação associado a um vazamento, entre outras), se tem poucos estudos de caso. Sendo assim, surgiu a necessidade de levantar, de forma preliminar, a literatura sobre este tópico. Foram pesquisados os termos: transitórios hidráulicos, esgoto, estações elevatórias, *alcantarillado* e *Water hammer in pumped sewer mains*. A continuação se apresenta alguns dos resultados mais relevantes.

Celeridade no esgoto

Spakovskis (2020) percebeu a necessidade de estudar a variação da celeridade (velocidade de propagação da onda do transitório) no esgoto em função da presença de ar. Os valores usados normalmente para o cálculo do transitório, $c=1000$ m/s, são calculados para água tratada, já o esgoto apresenta um conteúdo de ar e de sólidos. Este conteúdo de ar pode levar a uma variação até do 75% da celeridade (ver figura 1).

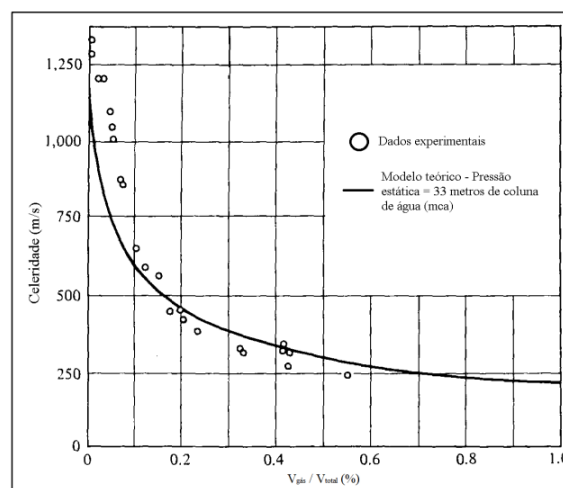


Figura 1: Celeridade em função do conteúdo de ar.
Fonte: Adaptado de Wylie e Streeter (1978).

Assim mesmo, Spakovskis (2020) calculou a celeridade em dois linhas de esgoto de São Paulo ($L=360$ m, $h=50$ m e $L=1900$ m, $h=70$ m), baseado em pressões medidas em campo e comparou os seus resultados com as metodologias clássicas de cálculo de celeridade no esgoto. Nas medições percebeu uma redução do 50% das sobre-pressões pelo transitório (comparadas com celeridade para água tratada), levando em consideração a presença de ar entre 0,1 e 1%. Os três modelos teóricos verificados descreveram com boa aproximação a celeridade medida.

Estudos de Caso

Souza Filho (2022) apresenta um estudo de caso de uma linha de recalque com um desnível geométrico de 9m, comprimento de 574m, tubulação de PEAD, D=100 mm. Usando o software comercial Hammer foi modelado a parada súbita das bombas, no cenário sem proteção as pressões oscilaram entre 14 m e -9,85 m, não chegando ao limite de vaporização (-10m) mas por baixo do limite da norma NBR16682:2018 que estabelece que as pressões não podem ser inferiores a -2 m. Como primeira opção de proteção contra os transitórios hidráulicos se testou uma válvula ventosa (ar e vácuo) a qual piorou as pressões (49 m a -10,09m). Logo foi testado um RHO (incluindo a ventosa) de 1m³ de volume total, obtendo pressões entre 17 e 0 m, com um volume interno de ar máximo do 67% do volume total, evitando o risco de esvaziamento apresentado desde um 80% do volume total.

Costa (2023) mostra o dimensionamento de uma linha de recalque de esgoto em Várzea Grande (MT) com altura manométrica de 5 m, D=100mm, 360 m de comprimento. Aplicando a equação de Allievi, calcula uma celeridade de 424 m/s, este valor não leva em consideração que a presença de ar produz uma redução significativa. Aplicando a equação de Joukowsky se chega a uma sobre-pressão máxima de 48,5 m, a qual é inferior a pressão máxima admissível da tubulação de ferro fundido, por tanto não se tem problemas de sobre pressões. O estudo não verifica as pressões mínimas.

Diniz (2020) desenvolve um modelo hidráulico incorporando a cavitação gasosa (DGCM), considerando fator de atrito variável, num sistema de bombeamento de esgoto. O sistema analisado foi uma linha de recalque de esgoto de Lisboa (Portugal) protegido por válvulas de retenção e ventosas. Logo da simulação e os dados coletados em campo se verificou que as ventosas ofereciam uma proteção local, mas não completa ao longo da linha de recalque. Na figura 2 se apresenta a variação de pressão durante o transitório calculada pelo modelo e a observada. Embora as pressões calculadas sejam maiores, isto pode levar a agregar um fator de segurança no dimensionamento dos dispositivos de proteção.

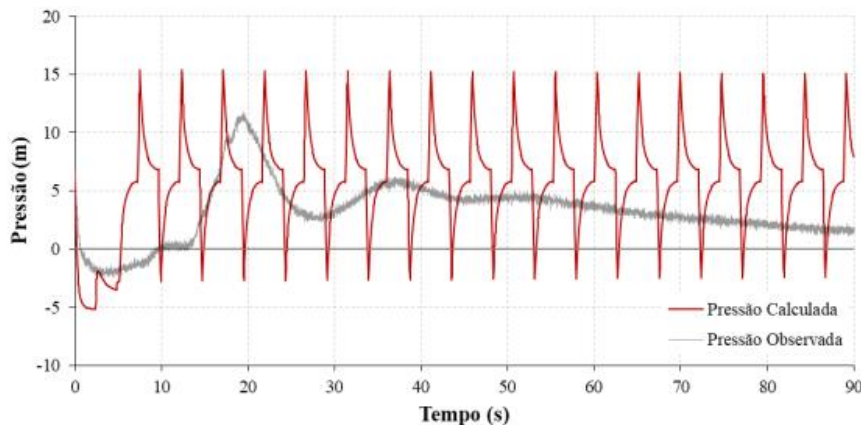


Figura 2: Pressão calculada no modelo hidráulico / observada.

Fonte: Diniz (2020)

Axworthy & Chabot (2004) modelam uma linha de recalque no Canadá (1,6 km e h=70m), a qual tinha apresentado um deslocamento da tubulação devido ao transitório hidráulico. É instalado um inversor de frequência (VFD) na estação de bombeamento, o qual consegue evitar a formação de bolsões de ar e amortecer os possíveis deslocamentos. Inicialmente se tinha proposto instalar um RHO, mas o espaço necessário para este equipamento não estava disponível (e o custo era maior). O modelo aplicado, seguindo o método das características e o atrito variável, também mostra pressões superiores as medidas na instalação. Torben (2012) desenvolve uma guia sobre o cálculo de transitórios em linha de esgoto recomendando tipo de bombas, valores de rugosidade das tubulações (diferentes as tubulações de água tratada), descrição de bolsões de ar nos pontos altos e uma série de exemplos práticos de cálculo de linhas de recalque protegidas.

Considerações Finais

Na pesquisa bibliográfica não foram encontrados estudos sobre a interação de um fluido de composição variada e complexa, como é o esgoto, com os dispositivos tradicionais para os amortecimentos dos transitórios. Por exemplo: nos reservatórios hidropneumáticos (RHO) é possível que a bexiga de elastômero sofra um desgaste maior pela presença de sólidos e matéria orgânica, os obturadores das ventosas podem ser afetados no seu funcionamento pela sedimentação de sólidos do esgoto, os dispositivos que precisam do fluido em contato com a atmosfera (como chaminés de equilíbrio e tanques hidropneumáticos) precisam de um cuidado especial para evitar a propagação de gases e o risco de um vazamento da tubulação perto de um núcleo urbano evidentemente leva a desastres maiores que os comparadas com água tratada. Todos estes fatores precisam de estudos específicos em laboratório e estudos de caso.

Em termos gerais, as análises encontradas simplificam o fluido transportado e aplicam a mesmas metodologias usadas para água tratada. Se recomendam pesquisas levando em conta a interação líquido/ar/sólido do esgoto, sua composição química e a interação com os dispositivos de proteção como válvulas com mecanismos que foram projetados para água tratada inicialmente, assim como o estudo ao longo do tempo de funcionamento do comportamento dos dispositivos de proteção em contato com o esgoto e a frequência de manutenção dos mesmos.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 (grant numbers: 88887.701529/2022-00, 88887.497812/2020-00, 88887.701389/2022-00 e 88887.805051/2023-00], e a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

Axworthy, David H; Chabot, Normand. 2004. Pressure transients in a Canadian sewage force main. NRC Research Press. Canada.

Costa, Natália Gabriely Amorim. 2023. Dimensionamento de estação elevatória de esgoto na bacia hidrográfica da Lagoa do Jacaré no município de Várzea Grande – MT. TCC - Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso.

Diniz, Arthur Brito Nunez. 2020. Modelagem e Análise de Transitórios Hidráulicos e Cavitação em Linhas de Recalque com Ventosas. Dissertação Mestrado do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília.

Platonov, Vladimir. 2010. Rompimento de adutora alaga casas e danifica carros no Rio. Agenciabrasil.etc.com.br. Rio de Janeiro. 31 oct. 2010. 20:30. Disponível em: <http://agenciabrasil.etc.com.br/geral/noticia/2018-10/rompimento-de-adutora-alaga-casas-e-danificacarros-no-rio>. Acesso em: 31 ago. 2019, 15:09.

Souza Filho, Paulo Berardo Pessoa de. 2022. Estudo de caso de proteção contra o golpe de aríete em sistema de bombeamento de esgoto. Recife. TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

Spakovskis, Rodrigo Alexandre da Silva. 2020. Análise do efeito de mistura sobre a celeridade do transitório hidráulico em tubulação de recalque de esgoto via medição indireta e formulações analíticas. Campinas (SP). Dissertação de Mestrado Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp.

Torben, Larsen. 2012. Water Hammer in Pumped Sewer Mains. Department of Civil Engineering, Aalborg University. Denmark.

Wylie, E. B.; Streeter, V. L. 1978. Fluid Transients. McGraw-Hill, USA, 1978

RESUMOS



ÁREA TEMÁTICA
Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água

ALTERNATIVAS DE SUSTENTABILIDADE PARA O SEMIÁRIDO: EXPERIMENTAÇÃO, IMPLANTAÇÃO E APROPRIAÇÃO

Abelardo Antônio de Assunção Montenegro¹, João Luis Mendes Pedroso de Lima², Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro³, Ana Virgínia Marinho Silveira⁴, Bartholomeu Siqueira⁵, Hugo Gico Lima de Assunção Montenegro⁶, Thayná Alice Brito Almeida⁷, Danilo Dantas da Silva⁸

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, e-mail: montenegro.ufrpe@gmail.com;

²Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil; Centro de Ciências do Mar e do Ambiente (MARE) - Coimbra, e-mail: plima@dec.uc.pt; ³Universidade do Algarve; Centro de Ciências do Mar e do Ambiente (MARE) - Coimbra, e-mail: jisidoro@ualg.pt; ⁴Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, e-mail: marinho_av@hotmail.com; ⁵Companhia Pernambucana de Saneamento- COMPESA, e-mail: bartholomeus@compesa.com.br;

⁶Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas- IPH & TPF Engenharia, e-mail: hugogico55@gmail.com; ⁷Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, e-mail: thayna_tau@hotmail.com; ⁸Instituto Nacional do Semiárido (INSA)/ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Campus Avançado de Parnamirim, e-mail: danilo20silva@hotmail.com

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos; Sustentabilidade; Semiárido

Introdução

A escassez hídrica está prejudicando o desenvolvimento socioeconômico da região semiárida, afetando negativamente as comunidades locais, agricultores e produtores, especialmente aqueles em pequena escala familiar. Este artigo apresenta soluções sustentáveis e acessíveis que podem melhorar a gestão dos recursos hídricos disponíveis e fortalecer a capacidade de adaptação das pequenas comunidades rurais diante da escassez hídrica e das mudanças climáticas no semiárido Brasileiro. Os estudos de caso estão em operação no Estado de Pernambuco, a partir de iniciativas de ensino, pesquisa e extensão do Laboratório de Água e Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco. As soluções inovadoras estão implantadas em duas bacias hidrográficas afluentes à Bacia do Rio São Francisco (Bacias do Alto Ipanema e do Brígida), possuindo em comum elevado déficit hídrico e elevada susceptibilidade a estiagens. A precipitação média anual nestas bacias é de 723 e 432 mm, com evapotranspiração potencial de 1683 e 1600 mm, respectivamente. As temperaturas médias são de 23°C e 30°C, respectivamente. Soluções baseadas na natureza são apresentadas e discutidas em sistemas sustentáveis com adoção de cobertura morta e unidades sustentáveis de reuso hidroagrícola de efluentes domésticos tratados, adotando-se metodologias de tratamento naturais, baseadas na radiação ultravioleta e nas mantas de lodo. As unidades experimentais estão implantadas em áreas rurais do Estado de Pernambuco, possibilitando ampla apropriação por usuários e gestores. Tais unidades experimentais foram viabilizadas a partir de importantes parcerias com empresas públicas e privadas, e recursos oriundos do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e do Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional (MIDR), e de fundos estaduais para saneamento, gestão de recursos hídricos, e desenvolvimento científico e tecnológicos. Deve-se destacar que os sistemas sustentáveis de reuso surgiram de demandas da Diretoria de Novos Negócios (DNN) da Companhia Pernambucana de Saneamento- COMPESA e da Diretoria do Instituto Nacional do Semiárido- INSA. Os sistemas experimentais têm elevada sustentabilidade e alto potencial de replicação.

Sistema de cobertura morta do solo

O estudo de caso aborda o uso de sistemas agrícolas que utilizam cobertura morta do solo composta por material vegetal. Nas comunidades das duas bacias, o acesso limitado à água para irrigação de culturas e para a pecuária é um desafio significativo. A agropecuária familiar é usualmente dependente do regime pluviométrico, o qual é irregular. Longos períodos de estiagem são registrados, comprometendo a produção de alimentos, em particular milho e feijão. O Laboratório de Água e Solo da UFRPE desenvolve experiências em escala de lotes para uso da cobertura morta para incrementar a umidade do solo, e controlar a temperatura. O sistema agrícola com cobertura também tem influência na redução do escoamento superficial, e controle da erosão hídrica. Experimentações de laboratório foram desenvolvidas em parceria com a Universidade de Coimbra, Portugal (Montenegro et al., 2013). Significativos incrementos de umidade foram verificados em campo em 2013 e 2017 em cultivo de milho (Borges et al., 2014; Carvalho et al., 2021). Em 2018, constatou-se o impacto da cobertura morta com pó de coco na redução do escoamento superficial e da erosão hídrica, em escala de parcela (Montenegro et al., 2019).

A bacia hidrográfica do Alto Ipanema reúne agricultores familiares, indígenas da Tribo Xucurus, e Quilombolas da Comunidade Negros do Osso. Atividades de extensão têm sido desenvolvidas em tais comunidades pelo Laboratório de Água e Solo da UFRPE, por meio de eventos em Escolas Rurais e Dias de Campo com os agricultores. Duas Associações têm sido contempladas: A Associação de Nossa Senhora do Rosário, e a Associação Quilombola Negros do Osso. Projeto de hidrologia social foi aprovado junto ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, para difusão do uso de sistemas agrícolas com cobertura morta na região. A Figura 1 apresenta uso de cobertura morta em experimentos de laboratório (Montenegro et al., 2013), em experimentos de campo, e em cultivo de sorgo a nível de produção (Carvalho et al., 2021).



Figura 1: Ensaios de laboratório com cobertura morta (Universidade de Coimbra, Portugal) (à esquerda); validações de campo, com diferentes tipos de cobertura (no centro); adoção do sistema em plantio de sorgo irrigado pelos agricultores (à direita).

O Laboratório de Água e Solo da UFRPE tem procurado não apenas a transferência de tecnologia, mas a apropriação tecnológica por parte do usuário, de modo a ampliar a resiliência e a sustentabilidade da produção agrícola em escala familiar na região.

Sistema de reutilização de efluentes domésticos tratados

O Laboratório de Água e Solo da UFRPE também tem desenvolvido experiências inovadoras com sistemas de reuso hidroagrícola de esgoto doméstico tratado nas Bacias do Alto Ipanema e Brígida, já mencionadas. As escalas de estudo abrangem desde sistemas familiares até pequenas comunidades urbanas. Na Bacia do Alto Ipanema, um sistema piloto familiar foi implementado no município de Pesqueira. Na Bacia do Brígida, o sistema de reuso de 1 ha utilizando efluente tratado da zona urbana de Parnamirim está já em operação. Este último opera com esgoto oriundo da estação de tratamento operada pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), com vazão nominal de 17,6 l/s, que adota lagoa facultativa seguida de duas lagoas de maturação. O tratamento do efluente é propiciado pela incidência de radiação solar. Na Bacia do Alto Ipanema, o sistema de reuso opera com metodologia de tratamento baseada em reatores anaeróbios de fluxo ascendente (reatores tipo UASB), com manta de lodo. A concepção adotada nos sistemas familiares é baseada na metodologia “SARA” (desenvolvida pelo Instituto Nacional do Semiárido- INSA). Estes sistemas de tratamento são utilizados para fins de irrigação, para o cultivo da *Opuntia ficus-indica* Mill. (palma forrageira), possuindo elevado potencial agrícola devido à sua notável adaptação ao ambiente semiárido. Além da palma forrageira solteira, tem-se também o cultivo da palma em consórcio com sorgo, moringa e gliricídia, importantes fontes de proteínas na alimentação animal. O reuso de efluentes domésticos constitui-se em importante alternativa para o saneamento rural, e fornece fonte hídrica para a irrigação de cultivos forrageiros, diminuindo o consumo de água doce na agricultura irrigada. Estes sistemas têm possibilitado elevada produção de forragem para bovinos, caprinos e ovinos, conforme detalhado em Carvalho et al. (2021) e Almeida et al. (2023). São soluções de elevada sustentabilidade e resiliência, contribuindo para a redução da contaminação dos escassos mananciais subterrâneos, causada pela disposição de efluentes brutos nos corpos hídricos. Os sistemas com cobertura morta têm sido integrados aos sistemas de reuso, de modo a prevenir a salinização do solo e manter a umidade do solo em níveis mais elevados.

Para disseminar a técnica, foram realizados Dias de Campo com distribuição de raquetes de palma, com agricultores e pecuaristas locais, principalmente aqueles em pequena escala. Esses eventos são organizados em colaboração com líderes e gestores locais, além de contar com a participação de estudantes de diferentes níveis. Para garantir que a informação seja acessível aos pequenos produtores rurais, foram produzidos materiais de divulgação, como folders e cartilhas. A Figura 2 apresenta imagem do Sistema SARA, em Pesqueira, a adoção de cobertura morta no cultivo de palma e moringa, bem como imagem de Dia de Campo com distribuição de raquetes.



Figura 2: Da esquerda para a direita: Unidade de reuso de Pesqueira-PE, para produção de palma (Sistema SARA-INSA). Sistema de tratamento natural da COMPESA, em Parnamirim-PE, com uma lagoa facultativa (LF) e duas lagoas de maturação (LM); consórcio palma-moringa (Parnamirim-PE). Plantações de palma. Dia de Campo com distribuição de raquetes (Campus Avançado da UFRPE em Parnamirim-PE).

Conclusões

Os dois sistemas apresentados ilustram o potencial de unidades sustentáveis baseadas em engenharia de água e solo em regiões semiáridas. Ambas as soluções são baseadas em serviços ambientais e ecossistêmicos propiciados por biosistemas que reúnem espécies vegetais resilientes típicas do Bioma Caatinga, acopladas a técnicas de tratamento de efluentes domésticos naturais, sem adição de compostos químicos. As soluções apresentadas têm forte potencial de propiciar desenvolvimento da agropecuária familiar no nordeste brasileiro. As soluções estão relacionadas com diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, particularmente, os ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 12 (Produção e Consumo Sustentáveis), ODS 13 (Ação Climática), e ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação), concebidas de forma participativa, e possibilitando fortalecimento da gestão dos recursos hídricos.

Agradecimentos

Este projeto é financiado pelo CNPq (Projeto MAIDAI- Mestrado e Doutorado em Inovação, processo 403.488/ 2020-4, com aportes financeiros da TPF Engenharia e Companhia Pernambucana de Saneamento-COMPESA), e pela FACEPE (processo APQ 0414-5.03/20). O sistema SARA foi instalado em parceria com o Instituto Nacional do Semiárido- INSA, com recursos do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR), através de contrato entre o Instituto Interamericano para Cooperação na Agricultura- IICA e a Fundação Parque Tecnológico da Paraíba- Contrato n. 22200001. Também é financiado pelo Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR), e coordenado pelo Instituto Nacional do Semiárido (INSA). Um agradecimento especial aos proprietários dos lotes aonde as unidades de campo estão instaladas: Sr. Josa Silva (Bacia do Alto Ipanema, Pesqueira-PE) e Dr. Paulo Cabral (Bacia do Brígida, Parnamirim-PE), que se apropriaram tecnologicamente dos sistemas.

Referências Bibliográficas

Almeida, J.S.; Montenegro, A.A.A.; Araújo, J.; Almeida, T.A.B.; Silva, J.P.; Carvalho, A.A.; Silveira, A.M.; Silva, J.R.L.; Araújo, E.; 2023. Reuso hidroagrícola no semiárido: ações interdisciplinares e participativas em comunidades rurais de Pesqueira, Pernambuco, Aracaju, Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

Borges, T.K.S., Montenegro, A.A.A., Santos, T.E.M., Silva, D.D., Silva Júnior, V.P.;2014. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays L.*), no semiárido nordestino. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.38, pp.1862 - 1873.

Carvalho, A.A.; Montenegro, A.A.A.; Assis, F.M.V.; Tabosa, J.N.; Cavalcanti, R.Q.; Almeida, T.A.B.; 2019. Spatial dependence of attributes of rainfed maize under distinct soil cover conditions. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.23, p.33-39.

Carvalho, A.A.; Montenegro, A.A.A.; de Lima, J. L. M. P.; Silva, T.G.F.; Pedrosa, E.M.R; Almeida, T.A.B.; 2021. Coupling Water Resources and Agricultural Practices for Sorghum in a Semiarid Environment. Water, v.13, pp.2288 - 25.

Montenegro, A.A.A.; Abrantes, J.R.C.B.O.; de Lima, J.L.M.P; Singh, V.; Santos, T.E.M.; 2013. Impact of Mulching on Soil and Water Dynamics under Intermittent Simulated Rainfall. Catena, v.109, p.139 - 149.

Montenegro, A.A.A.; Lopes, I.; Carvalho, A.A.; de Lima, J.L.M.P.; Souza, T.E.M.S.; Araújo, H.L.; Lins, F.A.C.; Almeida, T. A.B.; Montenegro, H.G.L.A.; 2019. Spatio temporal soil moisture dynamics and runoff under different soil cover conditions in a semiarid representative basin in Brazil. Advances in Geosciences, v.48, pp.19-30.

RESUMOS



ÁREA TEMÁTICA
Técnicas e Estudos de Recuperação de Áreas Degradadas

ESTUDO COMPARATIVO DE EFICIÊNCIA ENTRE MÉTODOS DE PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS DE SOLO PARA DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COVs)

¹Renata Ester dos Santos Zapata

¹LZ Ambiental Consultoria e Serviços Ltda, e-mail: renata@lzambiental.com.br

Palavras-chave: Amostragem de solos, preservação de amostras de solo, compostos orgânicos voláteis.

Introdução

Desde a década de 80, a contaminação dos compartimentos subterrâneos por Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), especialmente decorrentes de combustíveis fósseis, tem sido uma preocupação para órgãos regulamentadores (CALABRESE et al., 1990). Devido aos seus efeitos biológicos, os COVs são potenciais geradores de riscos à saúde humana, podendo causar danos ao sistema nervoso central, distúrbios cognitivos, além de tumores cerebrais e leucemias, mesmo em baixas concentrações (CALABRESE et al., 1990; LIKALA et al., 1996; CORSEUIL et al., 1997; MAZZUCO, 2004).

Obter dados confiáveis para os COVs em solos é um problema que merece atenção, uma vez que os processos de coleta, preparação e preservação requerem uma série de ações de difícil controle, seja em campo ou laboratório. Isso inclui o controle da perturbação e exposição da amostra ao ar ambiente, ajustes no sistema de vedação dos frascos de coleta, dentre outros, possibilitando perdas por biodegradação ou por volatilização. Essas perdas resultam em dados não representativo quanto à presença de contaminantes (SORINI et al., 2014; SIEGRIST et al., 1990; HEWITT, 1997; LIKALA et al., 1996).

Assim, estudos experimentais e de campo desenvolvidos nos últimos vinte anos concluíram que procedimentos de amostragem simples resultaram em erros consideráveis na análise de COVs, sendo necessário o desenvolvimento de métodos alternativos que visem menor perda desses compostos, principalmente pelos processos de volatilização e biodegradação (SIEGRIST et al., 1990; LIKALA et al., 1996).

Logo, este estudo teve como objetivo determinar a eficiência entre os métodos de preservação de amostras de solo para a quantificação de COVs, a partir de metodologias existentes e amplamente empregadas em estudos investigativos no Brasil.

Materiais e Métodos

Os resultados deste estudo foram obtidos a partir de uma avaliação experimental realizada em escala laboratorial. Para isso, foi preparada uma solução de dopagem contendo nove COVs, incluindo 1,2,4-Trimetilbenzeno (1,2,4-TB), 1,3,5-Trimetilbenzeno (1,3,5-TB), Estireno (Est), Isopropilbenzeno (Iso-PB), n-Propilbenzeno (n-PB), Benzeno (Ben), Etilbenzeno (E-Ben), m,p-Xilenos (m,p-Xil) e o-Xileno (o-Xil). A concentração dos COVs foi determinada em análise laboratorial e utilizada para contaminar três diferentes matrizes de solo: uma predominantemente argilosa (SL-01), uma arenosa (SL-02) e uma siltosa (SL-03). O objetivo foi avaliar a eficiência dos métodos empregados na recuperação dos COVs, assim como as correlações com as condições físico-químicas dessas matrizes e dos compostos e métodos empregados. Todos os solos foram extraídos com ferramentas manuais, nas mesmas profundidades e condições ambientais, em áreas comprovadamente isentas de contaminações anteriores, localizadas na região metropolitana de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. As análises foram realizadas em triplicata.

Para a comparação dos dados, foram empregados valores de referência para os parâmetros físico-químicos dos COVs utilizados, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Características físico-químicas dos compostos avaliados.

Composto	PVapor	Solubilidade	Par. n-Octanol
1,2,4-TB	2,80	0,06	3,63
1,3,5-TB	2,08	0,02	3,43
Est	6,40	0,24	2,96
Iso-PB	4,50	0,20	3,55
n-PB	3,45	0,06	3,69
Ben	94,8	0,18	2,13
E-Ben	9,60	0,20	3,34
m,p-Xil	13,78	0,20	3,16
o-Xil	13,37	0,18	3,16

Resultados e Discussões

Na tabela 2 estão apresentados os resultados para granulometria e matéria orgânica dos solos empregados na pesquisa.

Tabela 2: Características físico-químicas dos solos avaliados.

Solos	Granulometria (%)			Matéria Orgânica (%)
	Argila	Areia	Silte	
SL-01	22	35	43	3,3
SL-02	14	78	43	0,3
SL-03	13	43	44	0,7

No gráfico 1, 2 e 3 é possível verificar as taxas de recuperação para cada um dos COVs avaliados em três diferentes matrizes de solo. No gráfico 1 as taxas de recuperação estão correlacionadas aos valores de Partição n-Octanol-Água dos compostos (Kow), tendo em vista que se trata de um solvente de extração orgânico. No gráfico 2, os resultados de recuperação foram correlacionados aos valores de solubilidade em água. Já no gráfico 3, os resultados foram correlacionados com a Pressão de Vapor (Pvapor).

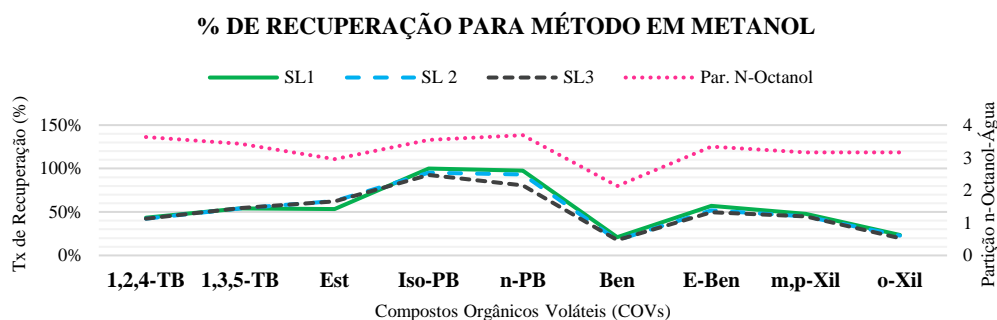


Gráfico 1: Taxas de recuperação para o método de preservação dos solos em metanol.

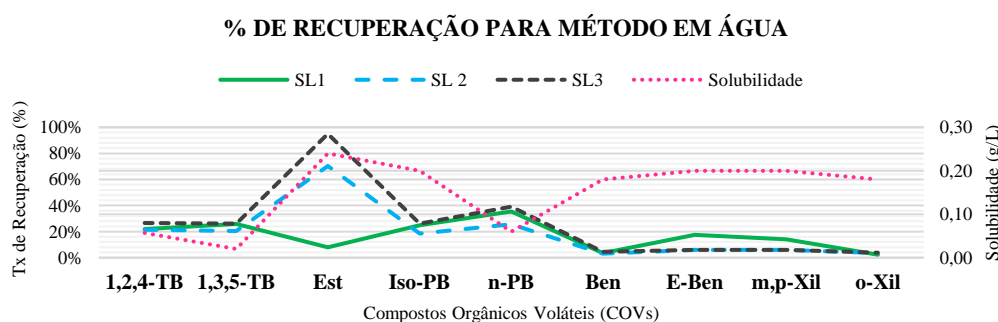


Gráfico 2: Taxas de recuperação para o método de preservação dos solos em água.

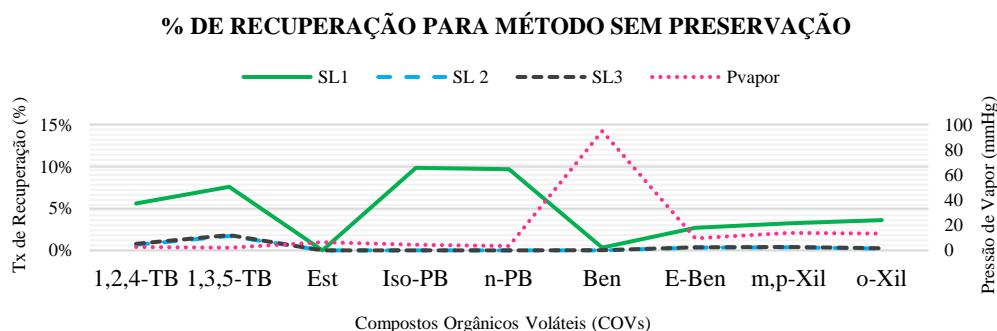


Gráfico 3: Taxas de recuperação para o método de preservação dos solos sem preservação.

As análises concluíram que o método mais robusto para a recuperação dos COVs em solo foi o metanol, o qual apresenta relação direta com Kow dos compostos. Entre os compostos avaliados, **Iso-PB** e **n-PB** resultaram nas maiores taxas de recuperação nas três matrizes avaliadas (96% e 90%, na média, respectivamente), assim como os maiores valores de Kow (3,55 e 3,69, na ordem). Por outro lado, o composto orgânico cíclico **Ben** retornou as menores taxas de recuperação para o método (19% na média), além de apresentar o menor valor de Kow entre os compostos (2,13).

O método de preservação em água recuperou os mesmos compostos identificados nos solos preservados em metanol, porém em concentrações inferiores, com exceção do composto **Est**, que apresentou concentrações superiores nos solos SL-02 e SL-03, representando 70% e 95%, respectivamente. Isso pode ser explicado pela alta solubilidade do **Est** em água em relação aos demais compostos avaliados. No entanto, o método de preservação em água apresentou baixa taxa de recuperação para o **Est** no solo SL-01 (8%). Dentre os três solos, o SL-01 foi o que resultou no maior teor de argila e matéria orgânica, o que sugere que a desagregação da argila e da matéria orgânica em água e o particionamento dos COVs para a água podem prejudicar a eficácia do método.

A amostragem sem preservação foi o método que apresentou a menor recuperação para os COVs, resultando em recuperações muito baixas e não representativas. As maiores taxas de recuperação foram observadas no SL-01 para os compostos **Iso-PB** e **n-PB** (ambos com 10%), seguidos de **Est** (8%) e **1,2,4-TB** (6%). Destaca-se que este foi o solo que apresentou maior teor de argila (22%) e silte (43%), assim como para matéria orgânica (3,3%), quando comparado às demais matrizes avaliadas. As características físico-químicas deste solo encontram relação direta com as recuperações obtidas para os COVs, uma vez que: (i) tais compostos tendem a ficar sorvidos à superfície dos grãos, e; (ii) tais compostos realizam ligações químicas com frações polares e apolares presentes na macromolécula de matéria orgânica. Ambos os fatores podem reduzir o particionamento dos COVs para a fase vapor.

Ainda em relação ao método sem preservação, o composto **Ben** não foi recuperado em nenhum dos solos avaliados. Os solos SL-02 e SL-03, com menor presença de argila (14% e 13%) e matéria orgânica (0,3% e 0,7%), apresentaram recuperação apenas para os compostos **1,2,4-TB** e **1,3,5-TB**, com 1% e 2%, respectivamente. Para este método, a Pvap dos compostos é um parâmetro que influencia de forma direta. Dentre os compostos avaliados, **Ben** apresenta a maior Pvap em 20°C (94,8 mmHg). Já os compostos **1,2,4-Tb** e **1,3,5-TB**, apresentaram os menores valores para Pvap, com 2,8 mmHg e 2,08 mmHg, em ordem. Diferentemente dos compostos com baixos valores de Pvap, recuperados com maior facilidade no método sem preservação, compostos com maiores Pvap volatilizam mais facilmente, o que dificulta a recuperação sobretudo em matrizes com baixos teores de matéria orgânica e quando se empregam métodos sem a utilização de solventes extratores.

Conclusões

Este estudo destacou a importância de um planejamento rigoroso para a obtenção de resultados precisos e representativos da situação ambiental em uma área contaminada. Os resultados indicam que é crucial conhecer as características físico-químicas dos compostos avaliados, dos agentes de preservação e dos solos, assim como suas interações com os compostos e preservantes. Um diagnóstico cuidadosamente elaborado durante as atividades de campo pode identificar as SQIs relevantes, auxiliando na seleção dos métodos de amostragem e preservação mais adequados para o problema.

O uso de técnicas inadequadas pode resultar em baixas taxas de recuperação desses compostos, levando a resultados que não refletem de forma adequada a situação ambiental da área. Isso aumenta as incertezas em relação ao gerenciamento e afeta as decisões sobre a necessidade de intervenções e gerenciamento de riscos à saúde humana.

A amostragem sem o uso de solventes de extração é amplamente utilizada em projetos de investigação ambiental em todo o país, mas os resultados deste estudo sugerem que sua eficácia precisa ser reavaliada em diversos locais que foram declarados como "não contaminados" em processos investigativos. Isso é especialmente importante para que riscos e prejuízos à saúde da população sejam evitados, principalmente devido à inalação de COVs em ambientes fechados.

Referências Bibliográficas

CALABRESE, E.; KOSTECKI, P. Petroleum Contaminated Soils. 1990.

CORSEUIL, H. X; MARINS, M. D. M. Contaminação de Águas Subterrâneas por Derramamentos de Gasolina: O problema é grave? 1997.

HEWITT, A.D. Chemical Preservation of Volatile Organic Compounds in Soil. 1997.

LIKALA, T.L; OLSEN, K.B; TEEL, S.S; LANIGAN, D.C. Volatile Organic Compounds: Comparison of Two Sample Collection and Preservation Methods. 1996.

MAZZUCO, L.M. Atenuação Natural de Hidrocarbonetos Aromáticos em Aquíferos Contaminadas com Óleo Diesel. 2004.

SIEGRIST, R.L; JENSSEN, P.D. Evaluation of Sampling Method Effects on Volatile Measurements in Contaminated Soils. 1990.

SORINI, S.S; SCHABRON, J.F; ROVANI, J. Soil and Sediment Contamination: An International Journal. 2014.

A terrarium with a glass globe containing a small globe of the Earth. The globe is surrounded by various green plants, including a small seedling and a larger leafy plant. The background is dark with bokeh light effects. The text "ARTIGOS COMPLETOS" is overlaid in a stylized font.

ARTIGOS COMPLETOS



ARTIGOS COMPLETOS

ÁREA TEMÁTICA
Aquecimento Global e Mudanças Climáticas

INTERRELACIONAMENTO ENTRE AS VARIÁVEIS TEMPERATURA, UMIDADE, RADIAÇÃO, VENTO E PRECIPITAÇÃO AFETANDO O CLIMA

¹Flavio Augusto Settimi Sohler, ²José Roberto Ribas ³Friedrich Wilhelm Herms

¹Universidade Estadual do Rio de Janeiro, e-mail: fsohler@gmail.com; ²Universidade Federal do Rio de Janeiro, e-mail: ribas@poli.ufrj.br; ³Universidade Estadual do Rio de Janeiro, e-mail: friedrich.herms@profagua.uerj.br

Palavras-chave: Mudança climática; Variáveis; Consequências.

Resumo

A terra tem uma forma geométrica complexa, condicionada pela topografia irregular de sua superfície, não podendo ser rigorosamente descrita por uma expressão matemática simples. Desse modo, variáveis como temperatura, umidade, radiação, vento, precipitação, dentre outras são importantes e imprescindíveis para o entendimento geral do clima e principalmente das causas e consequências das mudanças climáticas nas atividades humanas e na vida em geral no planeta terra.

A consideração da temperatura neste trabalho se justifica pela importância de levantar os dados de décadas e compreendê-los de forma sistêmica tornando uma comparação entre eles mais precisa. A umidade é a quantidade de vapor d'água existente no ar. A radiação é a energia que se propaga sem necessidade da presença de um meio material. O Vento é a componente horizontal do vetor velocidade do ar. A precipitação atmosférica é a pluviometria, ou seja, a quantificação das precipitações, sendo a quantidade de precipitação expressa pela sua duração e intensidade.

A metodologia foi segmentada em seis etapas: entendimento, caracterização e levantamento de bibliografia; pesquisa em *sites* correlatos; levantamento de dados e elaboração de gráficos; comparação de variáveis; resultados e conclusões.

O objetivo deste trabalho é contribuir para a climatologia no que se refere às variáveis que possam influenciar o clima de alguma forma. Os objetivos específicos são levantar dados históricos sobre as variáveis e elaborar gráficos isolados e comparativos.

As conclusões foram que a temperatura máxima, média e mínima aumentou ao longo do tempo analisado nas duas cidades do estudo, Brasília e Goiânia. A umidade relativa do ar reduziu ao longo dos anos, tanto em Brasília quanto em Goiânia. A insolação aumentou na maior parte dos meses do ano ao longo das décadas em Brasília, enquanto em Goiânia aconteceu o inverso. A velocidade do vento reduziu ao longo dos anos em Brasília e Goiânia. Quanto à precipitação, em Brasília houve na maior parte dos meses uma redução da precipitação acumulada enquanto em Goiânia, o padrão de precipitação continuou o mesmo. A rosa dos ventos geradas para Brasília e Goiânia, considerando velocidade e direção do vento, são semelhantes, com ligeira vantagem para Brasília, em relação à velocidade do vento.

O crescimento da população pode, em parte, explicar o aumento da temperatura das cidades, a redução da umidade relativa do ar, o aumento da insolação, a redução da velocidade dos ventos e a redução da precipitação atmosférica. Outro fator que pode ajudar na explicação das causas destes fenômenos, é a construção de grandes edifícios em concreto e o processo de industrialização sem um planejamento adequado. Uma das consequências da piora destes indicadores, em particular a redução da velocidade dos ventos, tomando por base que as duas cidades do estudo estão localizadas na região centro-oeste, pode ser a baixa concentração de complexos eólicos nesta região.

Introdução

Segundo Varejão-Silva (2006), a terra tem uma forma geométrica muito complexa, condicionada pela topografia bastante irregular de sua superfície, a qual não pode ser rigorosamente descrita por uma expressão matemática simples.

Portanto, variáveis como temperatura, umidade, radiação, vento, precipitação, dentre outras são importantes e imprescindíveis para o entendimento geral do clima e principalmente das causas e consequências das mudanças climáticas nas atividades humanas e na vida em geral no planeta terra.

A primeira variável a ser considerada é a temperatura. Varejão-Silva (2006) afirma que as observações de temperatura do ar à superfície devem ser efetuadas a uma altura de 1,25 a 2,00 metros acima do terreno e que são observações simultaneamente realizadas em todas as estações integrantes da rede mundial. As temperaturas medidas são a máxima, média e a mínima que são mensuradas por termômetros específicos a cada tipo de temperatura.

Para verificar a oscilação anual das temperaturas máxima, compensada e mínima, deve-se obter as respectivas médias mensais. As curvas que representam a variação mês a mês dessas temperaturas revelam uma acentuada correlação com a energia recebida do sol representada pela Figura 1 (VAREJÃO-SILVA, 2006).

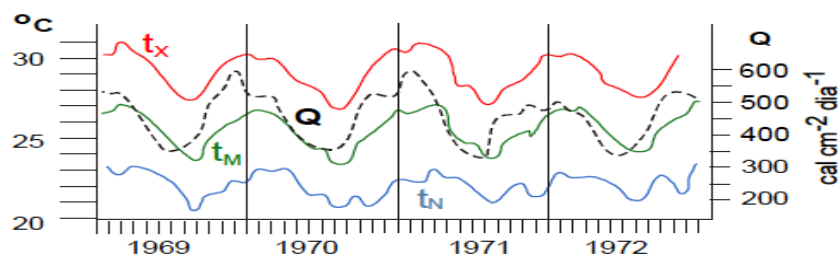


Figura 1: Médias mensais das temperaturas máxima (t_x), compensada (t_m) e mínima (t_n) do ar à superfície ($^{\circ}\text{C}$) e da radiação global (Q) incidente ($\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)

Fonte: Varejão-Silva (2006)

Da Figura 1 depreende-se que a curva da radiação tem um comportamento semelhante às curvas das temperaturas máxima, compensada e mínima indicando uma correlação entre radiação e temperatura.

Varejão-Silva (2006) afirma que os efeitos da estação do ano, da proximidade do mar, latitude e altitude influenciam sobre a amplitude anual da temperatura média do ar à superfície. Ainda, segundo o autor, verifica-se em determinadas regiões, uma tendência da temperatura média do ar aumentar ou diminuir, muito lentamente, ao longo do tempo. Este comportamento sugere a existência de oscilações com periodicidade muito ampla, referidas como oscilações seculares. Para detectá-las, porém, é necessário dispor de séries de registros bastante grandes e homogêneas.

A segunda variável a ser considerada é a umidade do ar que segundo Varejão-Silva (2006), o conhecimento da quantidade de vapor d'água existente no ar é essencial em vários outros ramos da atividade humana, bem como, sabe-se que a umidade ambiente é um dos fatores que condicionam o desenvolvimento de muitos microrganismos que atacam as plantas cultivadas e a própria transpiração vegetal está intimamente relacionada com o teor de umidade do ar adjacente. Também é conhecida a influência da umidade do ar na longevidade, na fecundidade e na taxa de desenvolvimento de muitas espécies de insetos (Neto et al., 1976, referenciado por Varejão-Silva (2006)). O autor argumenta ainda que um dos parâmetros para definir o grau de conforto ambiental para pessoas e animais é a umidade atmosférica. Segundo o autor, os parâmetros utilizados para definição do teor de umidade do ar são a razão de mistura, umidade específica, umidade absoluta e umidade relativa (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A terceira variável a ser considerada é a radiação que segundo Varejão-Silva (2006), a radiação ou energia radiante é a energia que se propaga sem necessidade da presença de um meio material. Segundo o autor, a natureza da radiação ainda é objeto de permanente investigação científica. Sob a ótica ondulatória, a radiação se caracteriza pelo comprimento de onda ou pela frequência de oscilação, sendo o comprimento de onda definido como a distância que separa duas cristas consecutivas e a frequência pelo número de cristas que passa por um ponto de referência (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A quarta variável a ser considerada é o vento que segundo Varejão-Silva (2006), é a componente horizontal do vetor velocidade do ar. A caracterização do vento em qualquer ponto da atmosfera requer dois parâmetros que são a direção e a velocidade que são grandezas instantâneas que variam no espaço e com o tempo. Nas proximidades da interface superfície-atmosfera o vento é altamente influenciado pelas características geométricas e pelo estado de aquecimento da própria superfície subjacente. Não havendo instrumento que permita estabelecer a direção do vento com precisão, costuma-se estimá-la e utilizar a rosa dos ventos para exprimir a direção aproximada relativa a um dos pontos cardeais (N, S, E, O) ou colaterais (NE, SE, SW e NW). A anemometria é a determinação quantitativa do vento, em termos de velocidade e direção (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A quinta variável a ser considerada é a precipitação que segundo Varejão-Silva (2006), a pluviometria é a quantificação das precipitações. A quantidade de precipitação é expressa em termos de espessura da camada d'água que se forma sobre uma superfície horizontal, plana e impermeável, com 1 m^2 de área, de modo que, por exemplo, uma precipitação de 60 mm, equivale à queda de 60 litros de água por metro quadrado de área. A precipitação é caracterizada também pela sua duração (diferença de tempo entre os instantes de início e término) e por sua intensidade, definida com a quantidade de água caída por unidade de tempo e expressa em mm por hora (VAREJÃO-SILVA, 2006).

O objetivo deste trabalho é contribuir para a climatologia no que se refere às variáveis que possam influenciar o clima de alguma forma. Os objetivos específicos são levantar dados históricos sobre as variáveis e elaborar gráficos isolados e comparativos.

Materiais e Métodos

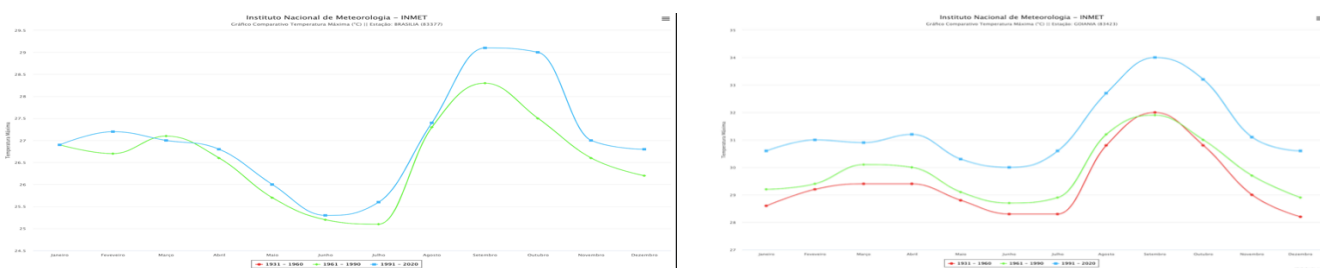
As seis etapas de desenvolvimento da pesquisa foram: entendimento do trabalho sua caracterização e levantamento de bibliografia, seguindo-se da pesquisa de sites correlatos, levantamento dos dados através de planilhas e elaboração de gráficos com as variáveis da pesquisa, comparação de duas ou mais variáveis, resultados e conclusões.

A etapa 1 tratou do entendimento e caracterização do trabalho e da pesquisa bibliográfica na literatura especializada relativa às variáveis do escopo deste trabalho que são a temperatura, umidade, radiação, vento e precipitação. A etapa 2 trata da pesquisa em sites correlatos, sendo então pesquisados os sites do INMET-Instituto Nacional de Meteorologia (portal.inmet.gov.br) e (<https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>), Agência Nacional de Águas (ANA) através da ferramenta "hidroweb" (hidroweb.ana.gov.br), Rede Meteorológica da Aeronáutica (<http://www.redemet.aer.mil.br>), INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<http://bancodedados.cptec.inpe.br/>),

WEATHER SPARK (<https://pt.weatherspark.com/>), WRPLOT (<https://www.weblakes.com/software/freeware/wrplot-view/>) e NOAA/ESRL Radiosonde database (ruc.noaa.gov/raobs/) mas este tem o histórico somente de 1946 até 2022 e limite máximo de 25000 registros e por isso, não atendeu às premissas deste trabalho. Também foram consultados outros sites de menor importância, mas que não agregaram aos objetivos do trabalho (INMET, 2022; ANA, 2022; REDEMET, 2022; INPE, 2022; WEATHER SPARK, 2022; WRPLOT, 2022). O INMET se mostrou o mais adequado como fonte de dados históricos, pois possui dados desde 1931 até 2020 em sua base de dados além de trazer gráficos elaborados para alguns períodos. Apesar da premissa do trabalho ser apenas uma estação, foram selecionadas duas estações. O *locus* da pesquisa foram as cidades de Goiânia e Brasília. A cidade de Goiânia foi fundada em 24/10/1933 e Brasília em 21/04/1960. Portanto, Goiânia tem somente 89 anos e Brasília 62 anos de existência e deste modo, não foi possível levantar dados de 100 anos. Os dados levantados para algumas das variáveis do estudo datam de 1931 e outros de 1961. A etapa 3 trata do levantamento de dados e elaboração de gráficos relacionados às variáveis da pesquisa. A comparação dos gráficos é tratada na etapa 4. A etapa 5 trata dos resultados da pesquisa e finalmente, a etapa 6, trata das conclusões.

Resultados e Discussão

Em pesquisa realizada no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foram levantados dados históricos de 1931 até 2020 das variáveis incluídas no estudo (INMET, 2022). O *locus* da pesquisa foram as cidades de Goiânia e Brasília. A temperatura foi a primeira variável levantada do estudo. As Figuras 2 e 3 apresentam a temperatura máxima em Brasília e Goiânia, respectivamente. Observa-se que para Brasília só tem histórico de 1961 a 2020.



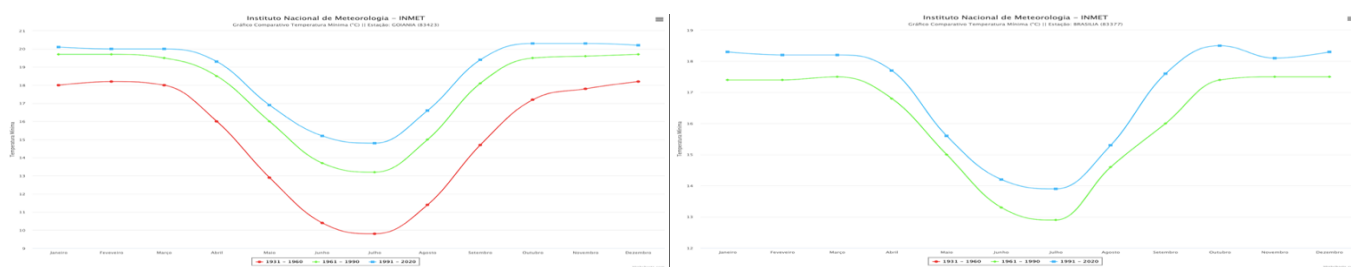
Figuras 2 e 3: Temperatura máxima em Brasília de 1961 a 2020 e em Goiânia de 1931 a 2020

Fonte: INMET, 2022

Da Figura 2 depreende-se que a temperatura máxima em Brasília de 1961 até 1990 foi inferior à temperatura máxima registrada de 1991 até 2020, com exceção de apenas um ponto no mês de março. Ainda observando a Figura 3, a temperatura máxima em Brasília de janeiro até agosto foi ligeiramente maior de 1991 até 2020 em comparação com os anos anteriores de 1961 até 1990. No entanto, de setembro a novembro, a temperatura de 1991 até 2020 subiu mais de 1°C.

A Figura 3 mostra que a temperatura máxima em Goiânia vem subindo constantemente ao longo das décadas. Para a curva de 1931 até 1960 em comparação com a de 1961 até 1990, nota-se que a temperatura máxima subiu em cerca de 0,5°C, com exceção do mês de setembro que diminuiu. Quando se compara estas duas curvas com a curva de 1991 até 2020, observa-se que a temperatura máxima subiu cerca de 1,5°C.

As Figuras 4 e 5 apresentam o histórico da temperatura mínima em Brasília e Goiânia, respectivamente.



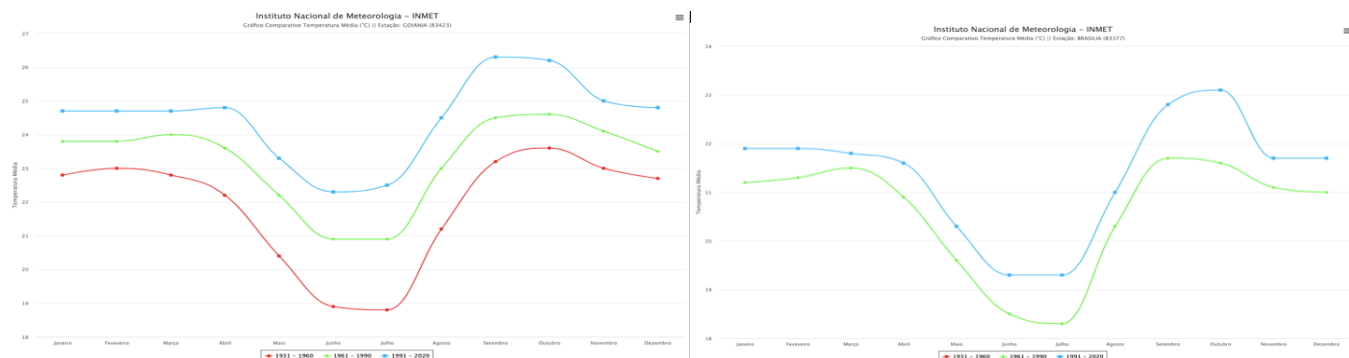
Figuras 4 e 5: Temperatura mínima em Brasília de 1991 a 2020 e em Goiânia de 1931 a 2020

Fonte: INMET, 2022

Da Figura 4 depreende-se que a temperatura mínima em Brasília de 1961 até 1990 foi inferior à temperatura mínima registrada de 1991 até 2020, tendo aumentado cerca de 1°C ao longo das décadas.

Da Figura 5 depreende-se que de 1931 a 1960 comparado com o histórico de 1961 a 1990, a temperatura mínima em Goiânia de janeiro a março aumentou cerca de 1,5°C, em abril e outubro aumentou em cerca de 2,5°C, de maio a julho aumentou cerca de 3°C, de agosto a setembro aumentou cerca de 3,5°C, de novembro a dezembro aumentou cerca de 2°C. Quando se compara o histórico da temperatura mínima de 1961 até 1990 com 1991 até 2020, nota-se que houve um aumento de 0,5°C a 2°C.

As Figuras 6 e 7 apresentam o histórico da temperatura média em Brasília e Goiânia, respectivamente.

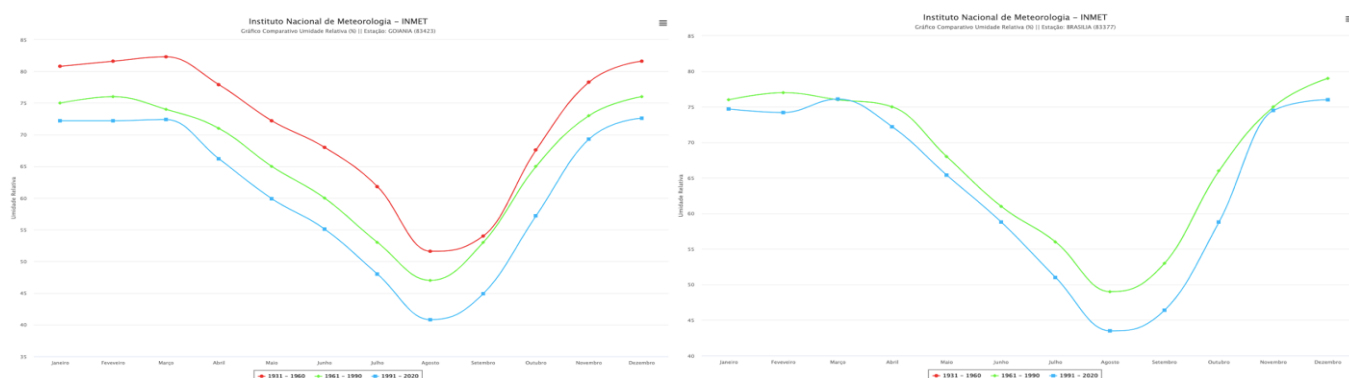


Figuras 6 e 7: Temperatura média em Brasília de 1991 a 2020 e em Goiânia de 1931 a 2020
Fonte: INMET, 2022

Da Figura 6 depreende-se que a temperatura média em Brasília de 1961 até 1990 foi inferior à temperatura média registrada de 1991 até 2020, tendo aumentado cerca de 0,5°C a 1,5°C ao longo das décadas.

Da Figura 7 depreende-se que a temperatura média em Goiânia de 1931 até 1960 foi inferior à temperatura média registrada de 1961 até 1990, tendo aumentado cerca de 0,5°C a 2,0°C ao longo das décadas. Quando se compara o histórico de 1961 até 1990 com 1991 até 2020, nota-se que houve um aumento de 0,5°C a 2,5°C ao longo das décadas.

A umidade foi a segunda variável levantada do estudo. As Figuras 8 e 9 apresentam a umidade relativa do ar em Brasília e Goiânia, respectivamente. Observa-se que para Brasília só tem histórico de 1961 a 2020.



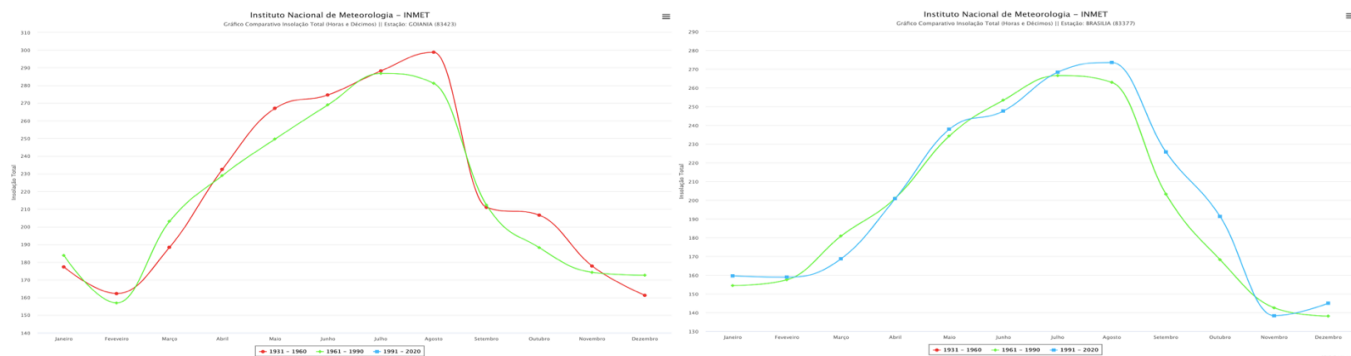
Figuras 8 e 9: Umidade relativa do ar em Brasília de 1961 a 2020 e em Goiânia de 1931 a 2020
Fonte: INMET, 2022

Da Figura 8 depreende-se que a umidade relativa do ar em Brasília de 1961 até 1990 variou de 49 até 79%, sendo que os meses de janeiro a junho e outubro a dezembro a umidade foi superior a 60%. Nota-se também que a umidade é menor nos meses de julho a setembro variando de 49% a 56% que são os meses mais secos do ano. Ainda pode-se observar que nas décadas de 1991 até 2020, a umidade relativa do ar reduziu em cerca de 3% a 5%.

Da Figura 9 depreende-se que a umidade relativa do ar em Goiânia de 1931 até 1960 variou de 51% até 82%, sendo que os meses de janeiro a julho e outubro a dezembro a umidade foi superior a 60%. Nota-se também que a umidade é menor nos meses de agosto e setembro variando de 52% a 54% que são os meses mais secos do ano. Nas décadas de 1961 até 1990, a umidade reduziu de cerca de 0,5% a 10%. Observa-se ainda que nas décadas de 1991 até 2020, a umidade reduziu ainda mais, de 0,5% a 5%.

A radiação foi a terceira variável levantada do estudo. A radiação solar é a principal fonte de energia que incide sobre a superfície terrestre e é responsável pelos processos relacionados ao ambiente, sendo ele físico ou biológico como, aquecimento e resfriamento do ar e solo e afetando a transferência de calor por meio da evaporação e transpiração (SPOKAS & FORCELLA, 2006, referenciado por SANTOS et al., 2013).

As Figuras 10 e 11 apresentam a insolação em Brasília e Goiânia, respectivamente. Observa-se que para Brasília só tem histórico de 1961 a 2020.



Figuras 10 e 11: Insolação total em Brasília de 1961 a 2020 e em Goiânia de 1931 a 1990
Fonte: INMET, 2022

Da Figura 10 depreende-se que a insolação total em Brasília de 1961 até 1990 variou de 139 até 268 Horas e décimos, sendo que os meses de janeiro a abril e setembro a dezembro a insolação variou de 139 a 213 horas e décimos. Nos meses de maio a agosto a insolação variou de 235 a 266 horas e décimos. Observa-se ainda que de 1991 a 2020 em comparação com 1961 a 1990, a insolação nos meses de janeiro, maio, agosto, setembro, outubro e dezembro aumentou cerca de 5 a 20 horas e décimos. Já nos meses de março, junho e novembro, a insolação reduziu em cerca de 5 a 10 horas e décimos. Portanto, a insolação aumentou na maior parte dos meses do ano ao longo das décadas.

Da Figura 11 depreende-se que a insolação total em Goiânia de 1931 até 1960 variou de 162 até 300 Horas e décimos, sendo que os meses de janeiro a abril e setembro a dezembro a insolação variou de 162 a 233 horas e décimos. Nos meses de maio a agosto a insolação variou de 268 a 300 horas e décimos. Observa-se ainda que de 1961 a 1990 em comparação com 1931 a 1960, a insolação nos meses de janeiro, março e dezembro aumentou cerca de 5 a 15 horas e décimos. Já nos meses de fevereiro e de abril a novembro, a insolação reduziu em cerca de 5 a 20 horas e décimos. Portanto, a insolação diminuiu na maior parte dos meses do ano ao longo das décadas. Este fenômeno pode ser explicado em partes pelo desenvolvimento econômico da cidade de Goiânia que nos últimos 20 anos experimentou um constante aumento no número de edifícios de mais de 30 andares, o que sem dúvida, provoca sombreamento e, portanto, menor insolação, tornando a cidade mais escura e quente.

O vento foi a quarta variável levantada do estudo. A Figura 12 apresenta o vento em Brasília e Goiânia em km/h mensurado a 10 metros acima do solo. Observa-se que as curvas para as duas cidades são bem semelhantes, com exceção de janeiro a fevereiro e agosto a setembro onde Goiânia tem um vento de cerca de 1km/h superior.

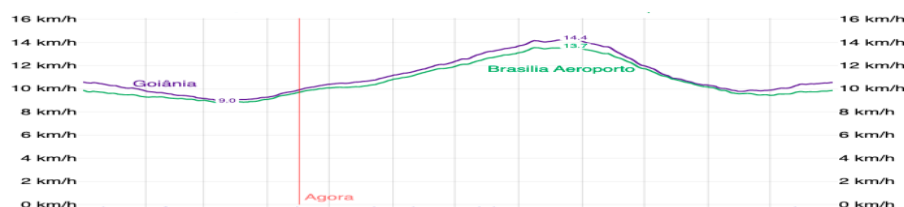
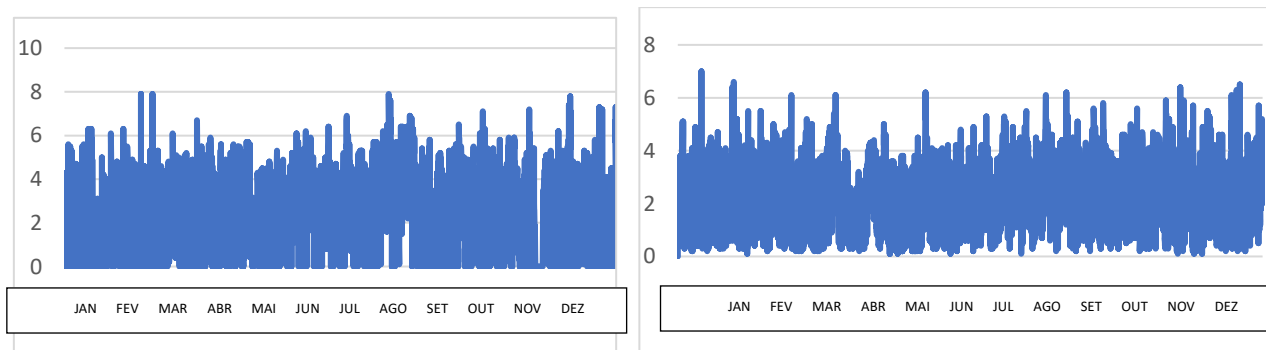


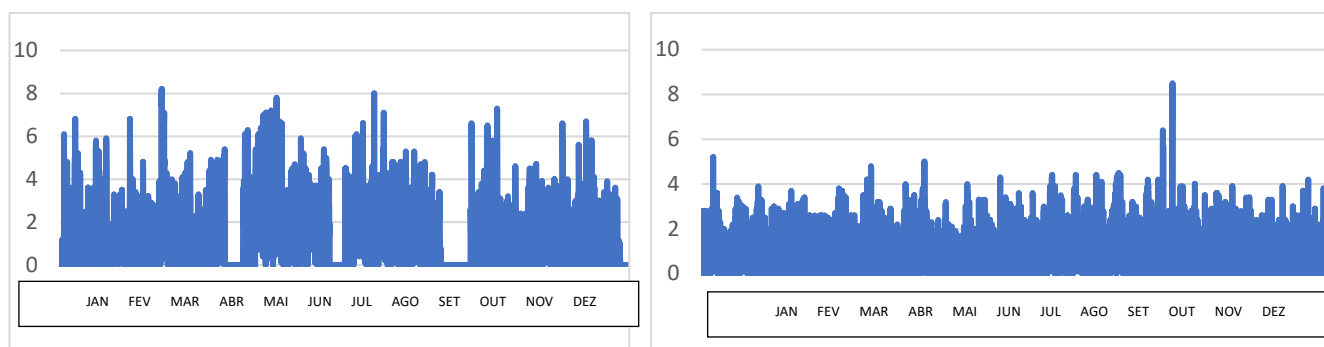
Figura 12: Velocidade do vento em Goiânia e Brasília
Fonte: WEATHER SPARK, 2022

A Figura 13 apresenta a velocidade do vento em Brasília ao longo do ano de 2001 mensurado em metro por segundo (m/s) e a Figura 14 apresenta a medição ao longo do ano de 2021 com dados obtidos do site do INMET.



Figuras 13 e 14: Velocidade do vento em Brasília mensurada ao longo do ano de 2001 e 2021
Fonte: INMET, 2022

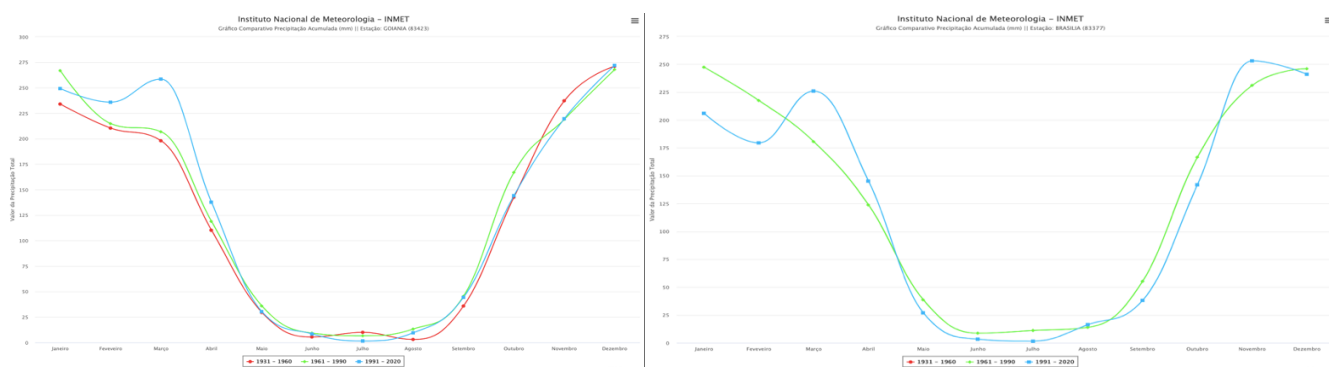
A Figura 15 apresenta a velocidade do vento em Goiânia ao longo do ano de 2001 mensurado em m/s e a Figura 16 apresenta a medição ao longo do ano de 2021 com dados obtidos do site do INMET.



Figuras 15 e 16: Velocidade do vento em Goiânia mensurada ao longo do ano de 2001 e 2021
Fonte: INMET, 2022

Depreende-se das Figuras 13, 14, 15 e 16 que tanto para Brasília quanto Goiânia, a velocidade do vento reduziu ao longo dos últimos 20 anos. Enquanto a medição em 2001 tinha a maior parte das medidas até 6 m/s, em 2021, a maior parte ficou até 4m/s. Este fenômeno pode, em parte, ser explicado pelo aumento da população e dos grandes edifícios maiores que 30 andares construídos nas cidades, principalmente em Goiânia. Observa-se na Figura 19 que uma grande concentração de velocidade de vento em 2021 ficou em até 2 m/s. Este é um fato que também pode explicar em parte a baixa concentração de complexos eólicos na região centro-oeste do Brasil, visto que a viabilidade econômica destes empreendimentos começa a ser interessante a partir de uma velocidade média do vento de 7 m/s.

A precipitação foi a quinta variável levantada do estudo. As Figuras 17 e 18 apresentam a precipitação em Brasília e Goiânia, respectivamente. Observa-se que para Brasília só tem histórico de 1961 a 2020.



Figuras 17 e 18: Precipitação acumulada em Brasília de 1961 a 2020 e em Goiânia de 1931 a 2020
Fonte: INMET, 2022

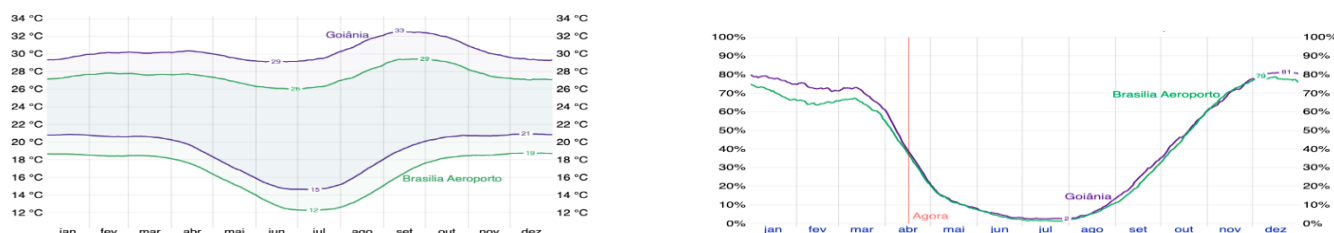
Da Figura 17 depreende-se que a precipitação acumulada em Brasília de 1961 até 1990 variou de 12mm até 249mm. De 1991 até 2020 a precipitação variou de 5mm a 240mm. Comparando as duas curvas, constata-se que de janeiro a fevereiro, de maio a julho e de setembro a outubro e dezembro a precipitação foi maior nas décadas de 1961 até 1990 do que de 1991 a 2020. Somente nos meses de março, abril e novembro, a precipitação da década atual (1991 até 2020) foi maior. Portanto, houve na maior parte dos meses uma redução da precipitação acumulada. Esta redução variou de 5mm a 45mm.

Da Figura 18, comparando as três curvas, depreende-se que a precipitação acumulada em Goiânia de 1931 até 2020 variou praticamente a mesma quantidade de 5mm até 275mm. De fevereiro a abril, a precipitação na última curva de 1991 até 2020, a precipitação aumentou de cerca de 20mm a 50mm. De maio a dezembro, praticamente as curvas são bastante semelhantes, ou seja, o padrão de precipitação manteve-se o mesmo de 1931 até 2020. Uma exceção aconteceu no mês de janeiro, com a precipitação de 1991 a 2020 menor que de 1961 a 1990.

Segundo Ahrens (2009), existem causas internas e externas que explicam o porquê o clima modifica. Como causas externas estão as modificações na radiação solar, na composição da atmosfera e na superfície terrestre. As causas internas são modificações nos padrões de circulação dos oceanos e da atmosfera, que redistribui energia dentro do sistema climático.

Portanto, um dos pontos que devem ser considerados para a fundamentação das mudanças climáticas deve ser o crescimento da população, que causou ao longo das décadas, aumento de poluição, aumento dos gases de efeito estufa, aumento do lixo gerado, dentre outros fatores que influenciaram o clima na terra.

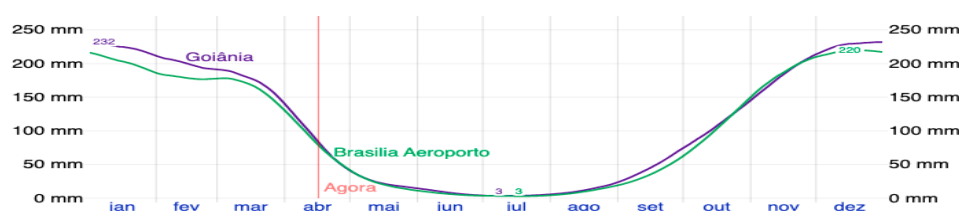
Comparando a temperatura média entre Goiânia e Brasília, verifica-se que Goiânia foi mais quente cerca de 4°C do que a máxima de Brasília e 2°C de média na mínima (Figura 19), ao longo do ano.



Figuras 19 e 20: Temperatura média e probabilidade diária de precipitação entre Brasília e Goiânia
Fonte: WEATHER SPARK, 2022

A Figura 20 apresenta a probabilidade diária de precipitação comparando Brasília e Goiânia. Verifica-se que de abril e dezembro, as probabilidades de precipitação são bem semelhantes entre Brasília e Goiânia. A exceção encontra-se de janeiro a março, tendo Goiânia uma precipitação maior em cerca de 10%.

A Figura 21 apresenta a chuva mensal média comparando Brasília e Goiânia. Verifica-se que de abril e dezembro, as chuvas são bem semelhantes entre as duas cidades. A exceção encontra-se de janeiro a março, tendo Goiânia uma precipitação maior em cerca de 40mm.



Figuras 21: Chuva mensal média comparando Brasília e Goiânia
Fonte: WEATHER SPARK, 2022

Observando as Figuras 13, 14, 15 e 16 de velocidade do vento em Brasília e Goiânia, relacionadas com a Figura 21 da chuva nas duas cidades, nota-se que não é possível afirmar que uma redução do vento constatado ao longo dos anos ocorreu como consequência uma redução da precipitação através de chuvas. Serão necessários mais estudos detalhados sobre a correlação entre as duas variáveis, vento e chuva, para poder chegar a alguma conclusão mais precisa.

Para a elaboração da rosa dos ventos foi utilizado o software WRPLOT (2022, versão 8.0.2). Primeiramente foi construída a planilha com os dados de precipitação, direção e velocidade do vento, incluindo a data separada por dia, mês e ano, além da hora. Considerou-se a hora de 0 a 23.

Pode-se notar pela Figura 22 que a direção predominante dos ventos em Brasília é de Oeste para Leste e que a velocidade variou de 0,5 a 8,8 m/s, com predominância para a velocidade de 2,1 a 3,5 m/s (38,3%), 0,5 a 2,1 m/s (33,6%) e 3,6 a 5,7 m/s (21,3%).

A Figura 22 apresenta a rosa dos ventos gerada para Brasília, considerando a amostra de 07/05/2000 até 31/03/2022.

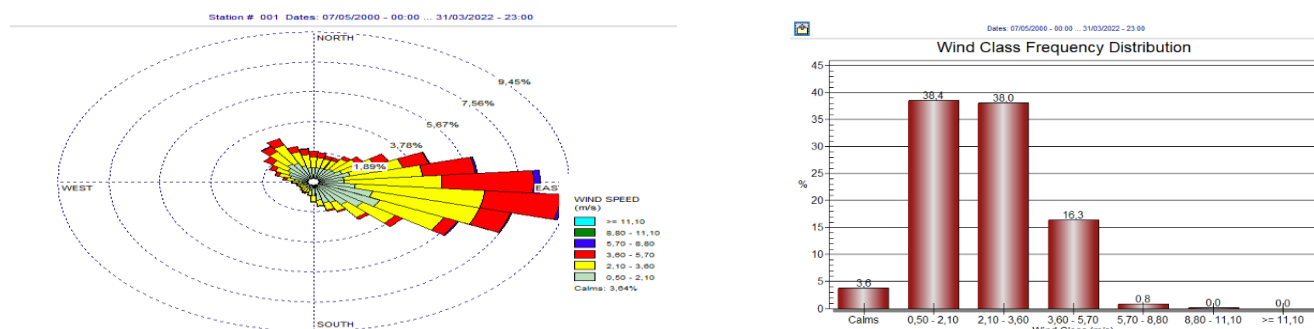
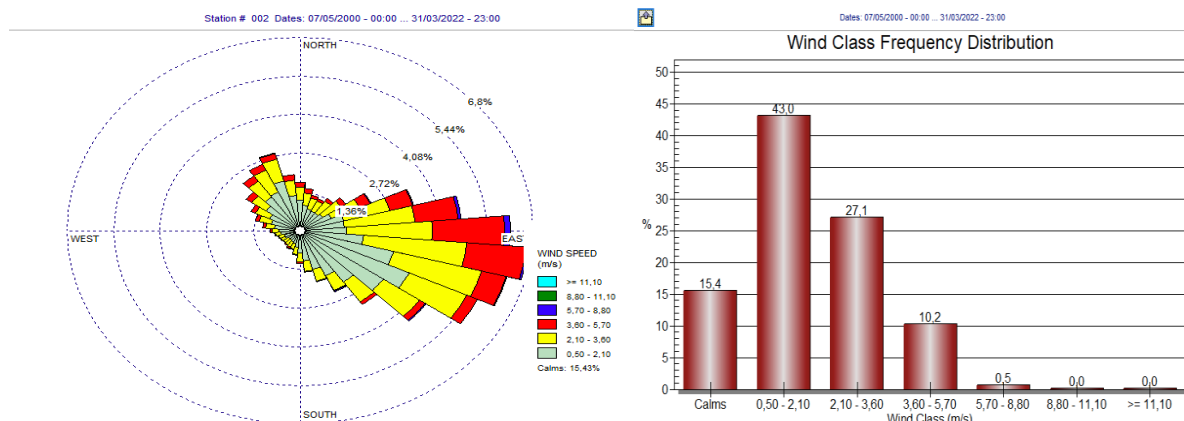


Figura 22 e 23: Rosa dos ventos e distribuição de frequência na classe de vento medidas em Brasília
Fonte: Autor (utilizando WRPLOT)

A Figura 23 apresenta a classe dos ventos predominantes em Brasília no período considerado de 07/05/2000 até 31/03/2022.

Pode-se notar pela Figura 26 que a direção predominante dos ventos em Brasília é de Oeste para Sudeste e que a velocidade variou de 0,5 a 8,8 m/s, com predominância para a velocidade de 0,5 a 2,1 m/s (38,4%), 2,1 a 3,6 m/s (38,0%) e 3,6 a 5,7 m/s (16,3%). A Figura 24 apresenta a rosa dos ventos gerada para Goiânia, considerando a amostra de 07/05/2000 até 31/03/2022, utilizando o software WRPLOT versão 8.0.2.



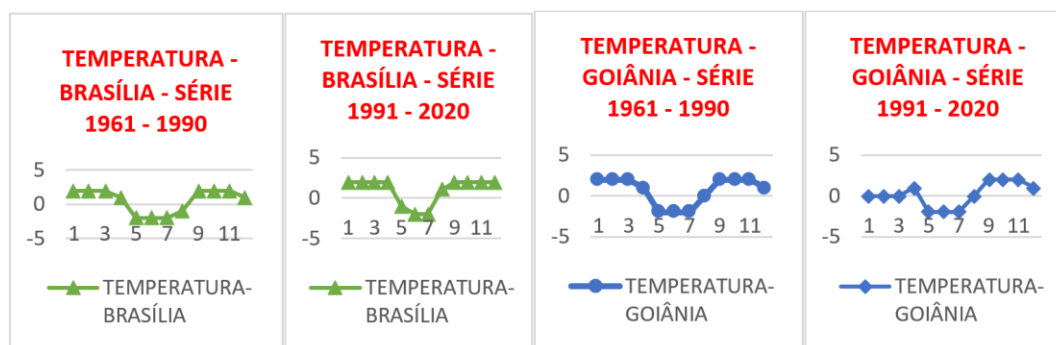
Figuras 24 e 25: Rosa dos ventos e distribuição de frequência na classe de vento em Goiânia
Fonte: Autor (utilizando WRPLOT)

A Figura 25 apresenta a classe dos ventos predominantes no período considerado de 07/05/2000 até 31/03/2022.

Pode-se notar pela Figura 25 que a direção predominante dos ventos em Goiânia é de Oeste para Sudeste e que a velocidade variou de menos que 0,5 a 8,8 m/s, com predominância para a velocidade de 0,5 a 2,1 m/s (43,0%), 2,1 a 3,6 m/s (27,1%) e menor que 0,5 m/s (15,4%).

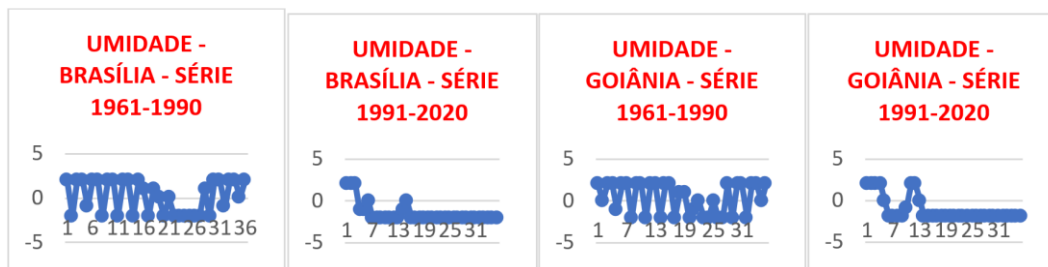
Comparando a direção e velocidade dos ventos em Brasília e Goiânia, nota-se que a direção predominante dos ventos, em Goiânia é de Oeste para Sudeste, semelhante à Brasília e quanto à velocidade dos ventos, Brasília tem ventos melhores do que Goiânia (78,4% contra 70,1%, respectivamente, para velocidades entre 0,50 e 3,60 m/s). Como na prática, uma velocidade adequada de viabilidade econômica para implantação de complexos eólicos é para um vento com velocidade superior a 7 m/s, pode-se concluir do porquê, a região Centro-Oeste não possui muitos empreendimentos deste tipo, em comparação com o Nordeste e Sul do país.

Com o objetivo de detalhar ainda mais o trabalho, foi realizado o tratamento dos dados das planilhas obtidas do INMET. Deste modo, foram elaboradas sete planilhas, uma para cada variável do estudo, calculando a média, desvio padrão, o máximo e o mínimo. Considerou-se três escalas de acordo com o desvio padrão: Normal se houver um valor de até $\pm 20\%$ do desvio padrão, Severo se acontecer um valor entre $\pm 20\%$ e $\pm 40\%$ do desvio padrão e Extremo se o valor for maior que $\pm 40\%$. Padronizou-se que o valor de “-2” é para “Extremo para Baixo”, o valor de “-1” é “Severo para Baixo”, o valor de “0” para variações dentro da normalidade; o valor de “+1” para “Severo para Cima” e um valor de “+2” de “Extremo para Cima”. A Figura 26 apresenta a variação de temperatura de 1961 até 2020 para Brasília e Goiânia. Pode-se notar que as variações de temperatura foram semelhantes entre Brasília e Goiânia. A temperatura mais baixa em Brasília registrada nesta série foi no mês de julho de 18,3 °C e a mais alta de 23,1 °C registrada em outubro e Goiânia teve a temperatura mais baixa de 20,9 °C registrada em julho e a mais alta em 26,3 °C em setembro. A série apresentou de 8 a 9 meses com variações extremas, ou seja, acima de $\pm 40\%$ do desvio padrão, tanto para Goiânia quanto Brasília.



Figuras 26: Temperatura – Brasília e Goiânia – 1961 a 2020
Fonte: Autor

A Figura 27 apresenta a umidade relativa do ar de 1961 até 2020 para Brasília e Goiânia. Pode-se notar que as variações de umidade foram semelhantes entre Brasília e Goiânia. A umidade mais baixa em Brasília registrada nesta série foi no mês de novembro de 43,5% e a mais alta de 89,8% registrada em outubro e Goiânia teve a umidade mais baixa de 40,8% registrada em agosto e a mais alta de 87,4% em março. A série apresentou 10 meses com variações extremas, ou seja, acima de $\pm 40\%$ do desvio padrão, tanto para Goiânia quanto Brasília e ainda pode-se observar que nos últimos anos da normal medida de 1991 a 2020, a umidade teve valores extremos superiores a -40% do desvio padrão, o que representou uma redução drástica da umidade ao longo dos anos observados.



Figuras 27: Umidade relativa do ar – Brasília e Goiânia – 1961 a 2020

Fonte: Autor

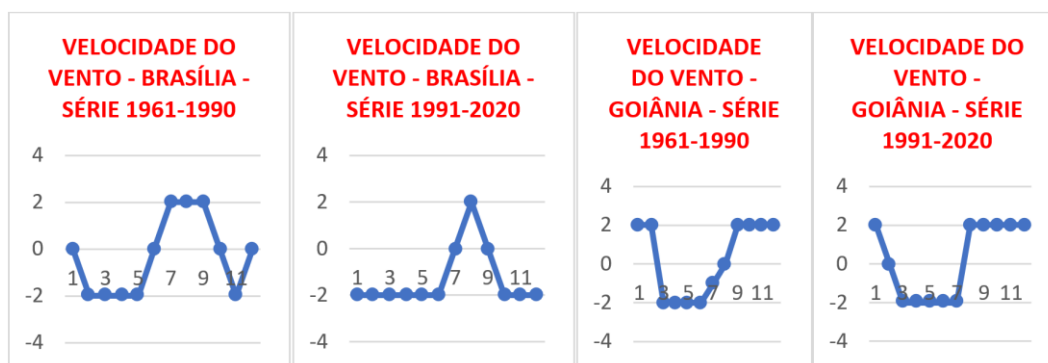
A Figura 28 apresenta a insolação de 1961 até 2020 para Brasília e Goiânia. Pode-se notar que as variações de insolação foram semelhantes entre Brasília e Goiânia. A insolação mais baixa em Brasília registrada nesta série foi no mês de dezembro de 138,1h e a mais alta de 273,5h registrada em agosto e Goiânia teve a insolação mais baixa de 137,2h registrada em dezembro e a mais alta de 286,8h em julho. A série apresentou 9 a 10 meses com variações extremas, ou seja, acima de $\pm 40\%$ do desvio padrão, tanto para Goiânia quanto Brasília e ainda pode-se observar que a série de dados ao longo dos anos vem reduzindo a insolação em torno de 10%.



Figuras 28: Insolação – Brasília e Goiânia – 1961 a 2020

Fonte: Autor

A Figura 29 apresenta a velocidade do vento de 1961 até 2020 para Brasília e Goiânia. Pode-se notar que as variações da velocidade do vento foram semelhantes entre Brasília e Goiânia. A velocidade do vento mais baixa em Brasília registrada nesta série foi no mês de março de 1,9 m/s e a mais alta de 3,0 m/s registrada em agosto e Goiânia teve a velocidade do vento mais baixa de 0,75 m/s registrada em junho e a mais alta de 1,16 m/s em janeiro. A série apresentou 8 a 10 meses com variações extremas, ou seja, acima de $\pm 40\%$ do desvio padrão, tanto para Goiânia quanto Brasília e ainda pode-se observar que a velocidade dos ventos vem reduzindo ao longo dos anos em torno de 10%.



Figuras 29: Velocidade do vento – Brasília e Goiânia – 1961 a 2020

Fonte: Autor

A Figura 30 apresenta a precipitação atmosférica de 1961 até 2020 para Brasília e Goiânia. Pode-se notar que as variações da precipitação foram semelhantes entre Brasília e Goiânia. A precipitação mais baixa em Brasília registrada nesta série foi no mês de julho de 0,1 mm e a mais alta de 98,9 mm registrada em novembro e Goiânia teve a precipitação mais baixa de registrada em julho de 0,2 mm e a mais alta de 110,8 mm em dezembro. A série apresentou 8 a 10 meses com variações extremas, ou seja, acima de $\pm 40\%$ do desvio padrão, tanto para Goiânia quanto Brasília e ainda pode-se observar que a precipitação atmosférica vem reduzindo ao longo dos anos em torno de 10%.



Figuras 30: Precipitação atmosférica – Brasília e Goiânia – 1961 a 2020

Fonte: Autor

Considerações Finais

Este trabalho contribuiu para a climatologia no que se refere às variáveis que possam influenciar o clima de alguma forma.

A temperatura máxima, média e mínima aumentou ao longo do tempo analisado nas duas cidades do estudo, Brasília e Goiânia. A insolação aumentou na maior parte dos meses do ano ao longo das décadas em Brasília, enquanto em Goiânia aconteceu o inverso. A velocidade do vento reduziu ao longo dos anos em Brasília e Goiânia. Quanto à precipitação, em Brasília houve na maior parte dos meses uma redução da precipitação acumulada enquanto em Goiânia, o padrão de precipitação continuou o mesmo. A rosa dos ventos geradas para Brasília e Goiânia, considerando velocidade e direção do vento, são semelhantes, com ligeira vantagem para Brasília, em relação à velocidade do vento.

O crescimento da população pode, em parte, explicar o aumento da temperatura das cidades, a redução da umidade relativa do ar, o aumento da insolação, a redução da velocidade dos ventos e a redução da precipitação atmosférica. Outro fator que pode ajudar na explicação das causas destes fenômenos, é a construção de grandes edifícios em concreto e o processo de industrialização sem um planejamento adequado. Uma das consequências da piora destes indicadores, em particular a redução da velocidade dos ventos, tomando por base que as duas cidades do estudo estão localizadas na região centro-oeste, pode ser a baixa concentração de complexos eólicos nesta região.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfªÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE No. 2717/2015, pelo apoio técnico científico.

Referências Bibliográficas

Ahrens, C. D. Meteorology today: An introduction to weather, climate and the environment. 2009. Belmont-CA: Brooks/Cole, Cengage Learning, Ninth edition.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Ferramenta “hidroweb”. Disponível em: <hidroweb.ana.gov.br>. Acessado em: 13 de abril de 2022.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/>. Acessado em: 13 de abril de 2022.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/>. Acessado em: 16 de abril de 2022.

REDEMET - Rede Meteorológica da Aeronáutica. Disponível em: <https://www.redemet.aer.mil.br>. Acessado em: 13 de abril de 2022.

Santos, P. A. B. dos; Miranda, W. L.; Figueiredo, H. F.; Centurion, W.; Soler, W.; Carvalho, L. G. de. 2013. Estimativa da radiação solar incidente à superfície terrestre a partir de dados de insolação. XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XVIII CBA 2013, VII Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia. Belém-PA: Brasil, 2-6/setembro/2013.

Varejão-Silva, Mário Adelmo. Meteorologia e climatologia. 2006. Versão Digital 2. Recife-PE. 463 p.

Weather Spark. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/compare/y/29979~147585/Compara%C3%A7%C3%A3o-das-caracter%C3%ADsticas-meteorol%C3%B3gicas-m%C3%A9dias-em-Goi%C3%A2nia-e-Brasilia-Aeroporto>. Acessado em: 06 de maio de 2022.

WRPLOT. Disponível em: <https://www.weblakes.com/software/freeware/wrplot-view/>. Acessado em: 22 de abril de 2022.

ANÁLISIS DE TENDENCIAS Y SALTOS EN REGISTROS DE PRECIPITACIONES EN LA PROVINCIA DE MISIONES EN UN CONTEXTO DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA

¹Fátima Schoninger, ²Alberto Ismael Juan Vich, ³Darío Tomás Rodríguez, ⁴José Javier Fernández, ⁵Ariana Giselle Seufert

¹Universidad Nacional de Misiones, e-mail: fatima.schoninger@fio.unam.edu.ar; ²Universidad Nacional de Cuyo, e-mail: aijvich@mendoza-conicet.gob.ar; ³Universidad Nacional de Misiones, e-mail: dario.rodriguez@fio.unam.edu.ar;

⁴Universidad Nacional de Misiones, e-mail: jose.fernandez@fio.unam.edu.ar;

⁵Universidad Nacional de Misiones, e-mail: ariana.seufert@fio.unam.edu.ar

Palabras-clave: análisis exploratorio de datos; precipitaciones; Misiones.

Resumen

La gestión integral e integrada de recursos hídricos requiere conocer de manera precisa los flujos en los componentes del ciclo hidrológico y su variación en un contexto de variabilidad climática. En este sentido, actualmente numerosos investigadores dirigen sus estudios a la identificación de tendencia en series de variable hidrometeorológicas de todo el mundo, utilizando pruebas paramétricas y no paramétricas. (Vich et al., 2010; Lauro et al., 2016a; Poblete et al., 2013).

En este artículo se presenta un análisis de las precipitaciones registradas en el periodo 1991-2018, para 14 estaciones de la provincia de Misiones, Argentina. El mismo tiene como objetivo detectar tendencias, cambios graduales o abruptos y saltos en los valores medios de una serie de 28 años de datos, sobre todo ante la evidencia de una carencia de datos confiables con relación a la variabilidad de precipitaciones en el territorio provincial.

Se realizó un análisis exploratorio de datos considerando los supuestos de normalidad, aleatoriedad e independencia, donde el 13 % de los datos no cumple con uno, o más, de los tres supuestos. Además, se llevaron a cabo pruebas paramétricas y no paramétricas para detectar tendencias y saltos en la serie, que arrojaron como resultados que el 5 % de los datos presentan tendencias (69 % positivas y 31 % negativas). Con respecto a los saltos detectados el 58 % resultaron ser positivos.

Introducción

Actualmente la Selva Paranaense o Selva Misionera, ocupa la tercera parte del territorio de la provincia de Misiones, Argentina. En ella las precipitaciones promedio son de 1800 mm anuales, lo que conllevan un alto porcentaje de humedad todo el año y un clima subtropical sin estación seca (Silva et al., 2014; Prytz Nilsson et al., 2019)

El sistema hídrico de Misiones cuenta con tres ríos principales que son el Paraná, el Iguazú y el Uruguay y alrededor de ellos, aproximadamente 800 arroyos recorren la provincia. La mayoría de estos cauces internos nacen en el sector de las Sierras Centrales y en la altiplanicie del departamento de San Pedro, el gran centro dispersor de aguas, y desde allí bajan formando saltos y cascadas con ecosistemas de gran diversidad biológica (IPEC, 2015).

Sin embargo, la expansión de la frontera agrícola se ha identificado como la mayor amenaza del bosque en la región misionera y como consecuencia la variabilidad climática. El incremento de los cultivos como soja, caña de azúcar, maíz, trigo, tabaco, yerba mate, té y plantaciones de pino y eucalipto, además de la cría de ganado, la caza con fines comerciales, culturales o de subsistencia, las altas tasas de crecimiento poblacional y el escaso conocimiento de los problemas ambientales de la ecorregión por parte de sus pobladores, entre otras causales, son los responsables de la degradación de la selva sumado a la explotación tradicional del monte nativo (IPEC, 2015).

Históricamente en la región serrana de Misiones, la selva Paranaense autóctona ha contribuido a minimizar las afectaciones negativas desencadenadas por las intensas precipitaciones, reduciendo los volúmenes de escurrimiento directo y las velocidades de flujo, a la vez que el sistema radicular aporta al sustento del suelo, mitigando los procesos erosivos (Rodríguez, 2018). Sin embargo, en los últimos años se acentuó el/un cambio de las condiciones hidroambientales de la región, presentándose mayor variabilidad en el régimen de precipitaciones, particularmente de los extremos que pueden ser máximos o mínimos (Dickie y Coronel, 2016).

En el presente artículo se analizó la normalidad, aleatoriedad e independencia de las precipitaciones. Asimismo, se detectaron los cambios graduales o tendencias y saltos o cambios abruptos en el régimen de precipitaciones de la provincia de Misiones mediante la aplicación de test paramétricos y no paramétricos. Para ello se utilizaron los registros de 14 estaciones del Sistema Nacional de Información Hídrica de la Red hidrológica Nacional comprendida desde el año 1991 hasta el 2018.

Al analizar los resultados se debe tener en cuenta que el cambio climático es una modificación del clima duradera y significativa con respecto a un historial climático, tanto a escala regional como global y sobre variados parámetros meteorológicos, con causas que pueden ser naturales y/o antropogénicas (Sheila Serrano Vincenti et al, 2012). Se define al Cambio Climático como un incremento general y gradual de la temperatura, cambios en los comportamientos de las precipitaciones e incremento de eventos extremos (IPCC, 1995) Y la variabilidad climática hace referencia a la variación natural de un periodo a otro, las fluctuaciones en las condiciones predominantes de una región, y ello puede causar una tendencia aparente cuando los datos de las series analizadas son cortas. (Lauro et al, 2016a)

Materiales y Métodos

Se realizó un análisis de los datos de precipitaciones de 14 estaciones proporcionadas por el Sistema Nacional de Información Hídrica de la Red hidrológica Nacional (Figura 1) para el periodo comprendido entre los años 1991 al 2018, se consideró este periodo por contar con una mayor cantidad de datos completos. Los datos mensuales faltantes se completaron con el método directo, siguiendo a Orsolini et al (2017), y se identificaron valores dudosos, es decir los que están fuera de rango, los cuales fueron posteriormente verificados en la base de datos de la serie analizada.

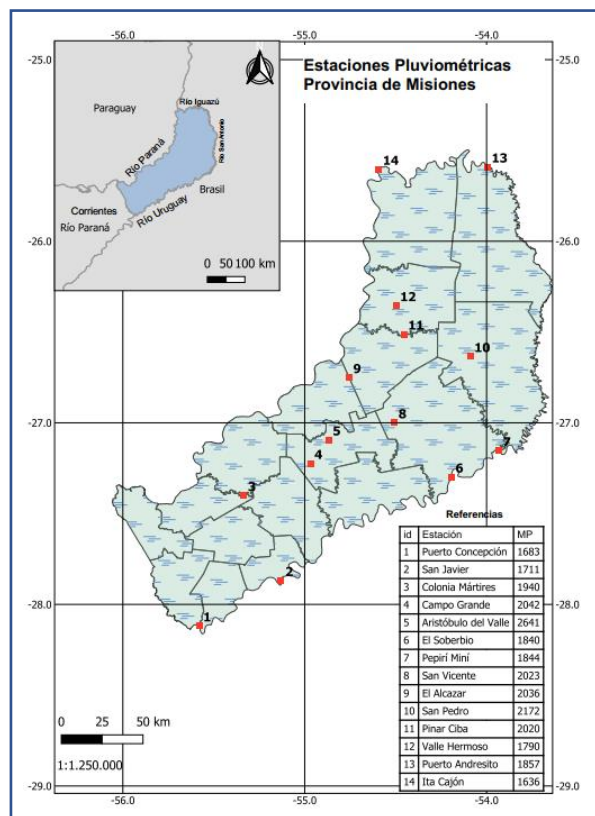


Figura 1: Estaciones Pluviométricas analizadas en la Provincia de Misiones.

La población a estudiar es el conjunto de datos de 14 estaciones meteorológicas de la provincia de Misiones, la muestra son los datos mensuales de precipitación de cada estación meteorológica. Utilizando diferentes test estadísticos simples es posible detectar la existencia de aleatoriedad o una secuencia en los datos, cambios graduales o abruptos. Además, para aplicar los test paramétricos, los datos deben contar con la hipótesis de normalidad, si la misma es rechazada, el test pierde robustez, es decir es dudoso. (Figueras y Gargallo, 2003).

Para el supuesto de Normalidad se usaron los siguientes test:

Test de Asimetría

Test de Curtosis

$$Z_{asimetría} = \frac{asimetría}{\frac{6}{N}}$$

$$Z_{curtosis} = \frac{curtosis}{\frac{24}{N}}$$

Siendo N el tamaño de la muestra. Si es cierta la hipótesis de normalidad ambos se distribuyen asintóticamente según una $N(0,1)$.

Para el supuesto de Aleatoriedad se usaron los siguientes test:

- Test de Rachas: Permite verificar la hipótesis nula de que la muestra es aleatoria, indica si las sucesivas observaciones son independientes. Este contraste se basa en el número de rachas (secuencia de valores sucesivos iguales) que presenta una muestra. Se asigna un indicador, según este por encima o debajo de la mediana muestral, se establece el número de rachas y de datos que posee cada indicador

$$Z_{rachas} = \frac{NR - \frac{2N_1N_2}{N_1+N_2} + 1}{\sqrt{\frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N_1 - N_2)}{(N_1 + N_2)^2 + (N_1 + N_2 - 1)}}}$$

Donde NR es el número de rachas y N_1 y N_2 el número de datos de los indicadores.

- Test de Kendall: Permite comprobar la presencia de aleatoriedad en una muestra de datos, teniendo en cuenta el rango de una serie de puntos de inflexión, picos y valles que deberían distribuirse al azar.

$$I_i = \begin{cases} 1, & \text{si } x_i > x_{i-1} \text{ y } x_i > x_{i+1} \\ -1, & \text{si } x_i < x_{i-1} \text{ y } x_i < x_{i+1} \\ 0 & \text{Para todo } i=2\dots N-1 \end{cases}$$

Se define una nueva serie (la antes mencionada) y se calcula el número de puntos de inflexión

$$Q = \sum_{i=2}^{N-1} I_i$$

El estadístico de contraste C , tiene distribución aproximadamente normal $N(0,1)$. Donde: x_i observación en el rango i , Q número de puntos de inflexión

$$C = \frac{Q - \frac{2N-4}{3}}{\sqrt{\frac{(16N-29)}{90}}}$$

Para el supuesto de independencia se utilizó el test de Bartlett:

Se asume que las observaciones de la muestra siguen una distribución normal. La independencia de las observaciones en la serie se comprueba mediante el coeficiente de autocorrelación con lag = 1. La hipótesis nula es que la autocorrelación sea cero, lo que significa que los datos posteriores en la muestra son independientes

$$r_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (x_i - \text{MEDIA})(x_{i+1} - \text{MEDIA})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \text{MEDIA})^2}$$

Donde $S = \frac{r_1 \sqrt{df}}{\sqrt{(1-r_1^2)}}$ y los grados de libertad $df = (N-3) \frac{1-r_1^2}{1+r_1^2}$

Se entiende como tendencia al cambio gradual a largo plazo en la media de una variable. La presencia de tendencia equivale a decir que la serie es no estacionaria. Para detectar tendencias o cambios graduales se usaron test no paramétricos de Spearman Rank Order Correlation Test (SROC), Mann-Kendall, y sus correcciones por varianza y pre-blanqueo.

Spearman Rank Order Correlation Test (SROC): Es un test basado en un orden de rangos para medir la relación monótona entre dos variables que suelen censurarse y no se distribuyen normalmente. La correlación de orden de rango de Spearman se encuentra en -1 y 1. La detección de la potencia de la prueba de correlación de rango de Spearman es importante en el análisis de los datos de serie temporal hidrológica.

- Test de Mann-Kendall: Es ampliamente aplicado en estudio de identificación de tendencias en series hidrometeorológicas y otras series ambientales. El test de Mann-Kendall es un test no paramétrico que permite identificar si existe una tendencia en la serie temporal que se desea estudiar, determina la tendencia (positiva, negativa o cero) de una muestra de n datos donde se conserva el orden cronológico en el que fueron tomados. La hipótesis nula establece que no hay una tendencia en el conjunto de datos.
- Test Mann-Kendall corrección varianza: Está basada en la corrección de la varianza en función del número efectivo de observaciones. Su importancia radica cuando se detecta tendencias que no existen realmente, lo que significaría rechazar la hipótesis nula cuando esta es cierta.
- Test Mann-Kendall corrección por pre-blanqueo: Este procedimiento de pre-blanqueo es para eliminar el efecto de la correlación serial. Se basa en determinar una nueva serie de datos donde cada valor, es dividido por el promedio; luego, la tendencia y autocorrelación de primer orden es removida. Se recarga la tendencia y se aplica el test de Mann y Kendall original, donde se determina si la tendencia no paramétrica es estadísticamente distinta de cero.

Para detectar la presencia de cambios abruptos en la serie de precipitaciones se aplicó el test paramétricos T de Student.

Este test detecta puntos de quiebre estadísticamente significativos de manera más frecuente que los otros test, debe eliminarse previamente la tendencia y la serie debe tener una distribución normal. Se basa en la verificación de la igualdad estadística de dos medias muestrales, lo que significa que ambas muestras pertenecen a la misma población y, por lo tanto, no ha habido cambios abruptos en el régimen de precipitaciones (Lauro et al, 2016b)

Resultados y discusión

A continuación, se detallan los resultados del análisis estadístico para los datos mensual, anual y estacional donde de Diciembre a Febrero, es verano; desde Marzo a Mayo, otoño; desde Junio a Agosto, invierno; desde Septiembre a Noviembre, primavera. Donde A=acepta, R=Rechaza (para los supuestos de Normalidad, Aleatoriedad e Independencia, en ese orden) y NS= No Significativo, el signo (-) y (+) indica si el salto es negativo o positivo.

Los resultados del test de asimetría nos dan la pauta de que si se debe rechazar o no la hipótesis nula de los datos provienen de una población distribuida normalmente. La hipótesis nula es que "No hay tendencia". Por ende, cuando se acepta

la hipótesis nula significa que la pendiente o tendencia es estadísticamente igual a cero, es decir que no hay tendencias significativas. Para determinar si los datos no siguen una distribución normal se toma $\alpha = 0.05$, lo cual indica un riesgo de 5% de concluir que los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 1: Resumen análisis estadístico.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
ESTACIÓN 1 (Puerto Concepción-Uruguay)																	
AED (N, I, A)	A	A	R	R	R	R	A	R	R	R	R	A	A	A	A	R	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Corrección Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-2,04	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	2,33	-2,68	NS	NS	NS	NS	-1,8	1,88	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
SALTO	2008 (+)	2000 (-)					2002 (-)	2000 (+)									
ESTACIÓN 2 (San Javier-Uruguay)																	
AED (N, I, A)	A	A	A	R	R	R	A	R	R	A	A	R	A	A	R	R	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Corrección Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
SALTO																	
ESTACIÓN 3 (Colonia Mártires-Yabebiry)																	
AED (N, I, A)	A	R	R	R	A	A	A	A	A	A	A	A	A	R	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-3,98	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Corrección Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-4,25	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
SALTO									2000(-)								
ESTACIÓN 4 (Campo Grande-Acaraguá)																	
AED (N, I, A)	R	A	A	R	A	R	A	R	R	R	A	A	A	A	R	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	21,05	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	21,05	NS	11,05	NS	NS
MANN-KENDALL(Corrección Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	21,05	NS	11,05	NS	NS
MANN-KENDALL(Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	21,05	NS	11,05	NS	NS
TEST T STUDENT	7,63	-3,87	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	22,91	5,46	NS	11,59	NS	NS
SALTO	2006(+)	2003(-)										2001(+)	2008(+)		2006(+)		
ESTACIÓN 5 (Aristobulo del Valle-Torto)																	
AED (N, I, A)	R	R	R	R	A	R	A	A	R	A	A	A	A	R	A	A	A
SPEARMAN RANK	8,91	NS	NS	NS	NS	-4,9	NS	NS	NS	NS	NS	3,75	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	8,91	NS	NS	NS	NS	-4,9	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Corrección Varianza)	8,91	NS	NS	NS	NS	-4,9	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Preblanqueo)	8,91	NS	NS	NS	NS	-4,9	NS	NS	NS	3,99	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	9,4	NS	NS	NS	NS	-3,98	-2,68	NS	NS	NS	-0,98	4,23	16,8	11,9	-6,28	NS	7,03
SALTO	2007(+)					2002(-)	2002(-)					2000(-)	2008(+)	2008(+)	2007(+)	2002(-)	2008(+)
ESTACIÓN 6 (El Soberbio-Uruguay)																	
AED (N, I, A)	A	R	R	R	A	A	R	A	R	A	R	R	A	A	A	R	R
SPEARMAN RANK	NS	NS	4,53	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Corrección Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	NS	NS	-5,7	3,21	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
SALTO			2001(+)	2003(-)													
ESTACIÓN 7 (Pepirí Mini-Uruguay)																	
AED (N, I, A)	R	R	A	A	A	A	A	R	A	R	A	R	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	-5,4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Corrección Varianza)	NS	1,81	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	NS	NS	-6,69	NS	NS	NS	NS	-2,78	NS	NS	-3,76	NS	NS	NS	NS	NS	NS
SALTO			2001(-)					2002(-)			2004(-)						

Tabla 1: Resumen análisis estadístico. (Continuación)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
ESTACIÓN 8 (San Vicente-Soberbio)																	
AED (N, I, A)	A	A	A	A	R	R	R	A	A	A	R	R	R	A	R	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	11,07
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	11,07
MANN-KENDALL(Corrección Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	11,07
MANN-KENDALL(Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	11,07
TEST T STUDENT	-2,75	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	4,44	NS	NS	NS	NS	NS	NS	12,35
SALTO	2001(-)									2001(+)							2008(+)
ESTACIÓN 9 (El Alcazar-Paranay)																	
AED (N, I, A)	A	R	A	A	R	A	A	A	R	R	R	A	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	3,5	NS	NS	5,23	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	3,5	NS	NS	5,23	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Corrección Varianza)	NS	3,5	NS	NS	5,23	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Preblanqueo)	NS	3,5	NS	NS	5,23	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	NS	NS	-2,73	NS	5,66	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	13,69	NS	7,17	NS	NS
SALTO			2001(-)		2003(+)								2008(+)		2008(+)		
ESTACIÓN 10 (San Pedro-Yabotí)																	
AED (N, I, A)	R	R	R	R	R	A	A	A	A	A	A	R	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-7,36	NS	NS	NS	NS	-6,78	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-7,36	NS	NS	NS	NS	-6,78	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Corrección Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-7,36	NS	NS	NS	NS	-6,78	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-7,36	NS	NS	NS	NS	-6,78	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-5,18	NS	NS	NS	NS	-7,17	NS	NS	NS	NS	-6,06
SALTO							2000(-)					2000(-)					2003(-)
ESTACIÓN 11 (Pinar Ciba-Piray Guazú)																	
AED (N, I, A)	A	A	R	A	R	R	R	R	A	A	R	A	A	R	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Corrección Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	NS	3,79	NS	NS	NS	-3,5	NS	NS	-3,82	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
SALTO		2003(+)				2000(-)			2007(-)								
ESTACIÓN 12 (Valle Hermoso-Piray Mini)																	
AED (N, I, A)	R	R	A	A	A	A	R	R	A	A	A	R	A	A	A	R	A
SPEARMAN RANK	4,12	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	4,12	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Corrección Varianza)	4,12	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Preblanqueo)	4,12	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	4,83	NS	NS	2,47	NS	NS	NS	NS	NS	0,86	NS	NS	17,09	NS	NS	NS	6,95
SALTO	2008(+)			2006(+)						2005(+)			2008(+)				2001(+)
ESTACIÓN 13 (Puerto Andresito-Iguazú)																	
AED (N, I, A)	A	A	A	A	R	A	A	R	R	A	A	A	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Corrección Varianza)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Preblanqueo)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
SALTO																	
ESTACIÓN 14 (Itá Cajón-Paraná)																	
AED (N, I, A)	A	A	A	A	R	R	R	R	R	R	R	A	A	A	A	A	A
SPEARMAN RANK	NS	4,84	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN - KENDALL	NS	4,84	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Corrección Varianza)	NS	4,84	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
MANN-KENDALL(Preblanqueo)	NS	4,84	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TEST T STUDENT	2,26	NS	-0,73	NS	NS	NS	NS	2,01	3,17	4,6	NS	NS	NS	NS	NS	4,21	NS
SALTO	2008(+)		2002(-)					2007(+)	2008(+)	2008(+)							2008(+)

En las figuras 2 a 7, se visualiza una representación gráfica de los resultados de la Tabla 1, para la Estación 1: Puerto Concepción, donde para enero se rechaza (R) la prueba de normalidad, pero se Acepta (A) las de aleatoriedad e independencia.

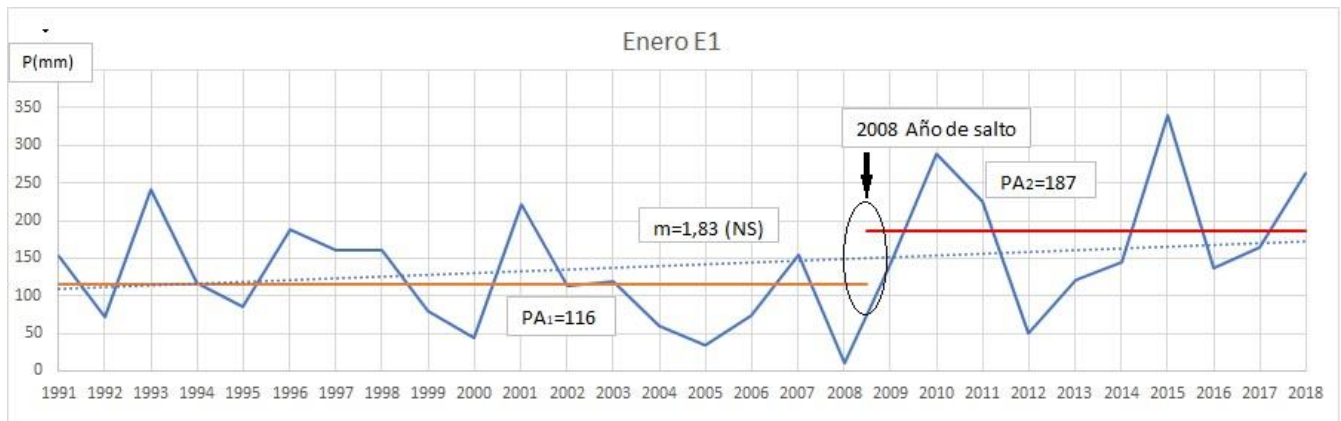


Figura 2: Salto E1

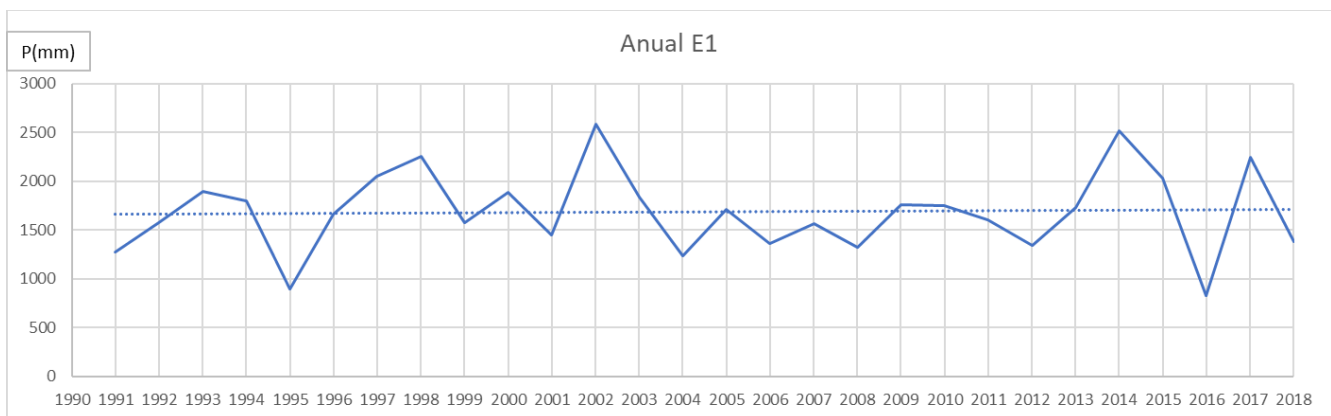


Figura 3: Precipitaciones Anuales E1

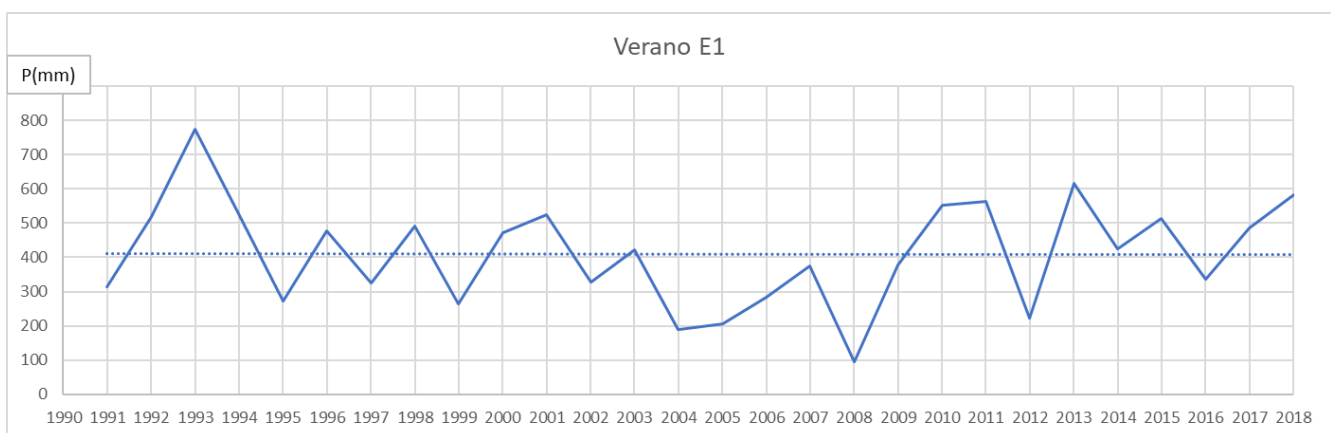


Figura 4: Precipitaciones Verano E1

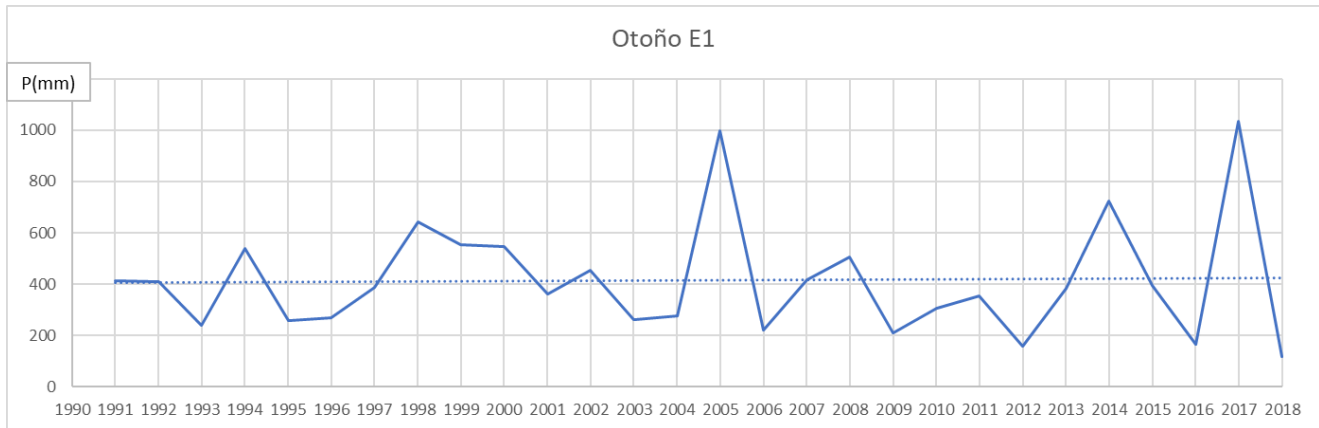


Figura 5: Precipitaciones Otoño E1

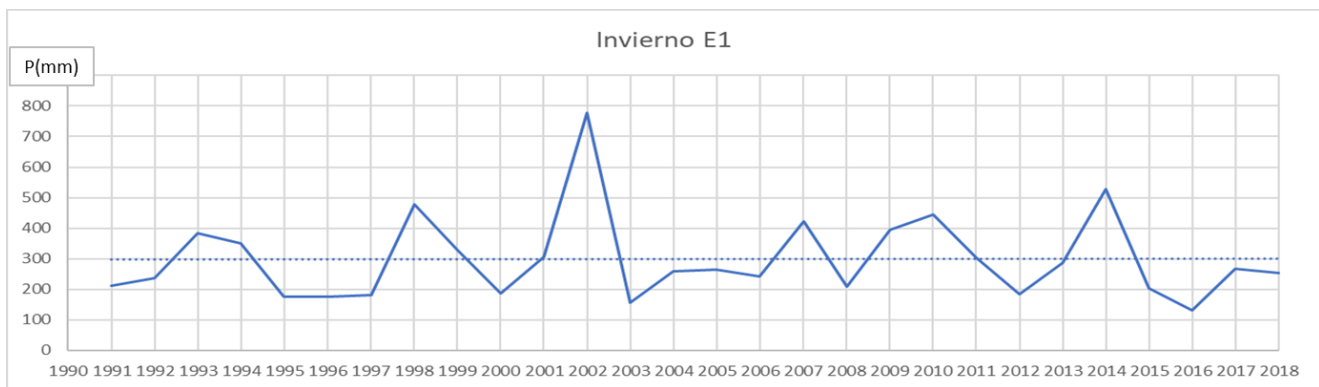


Figura 6: Precipitaciones Invierno E1

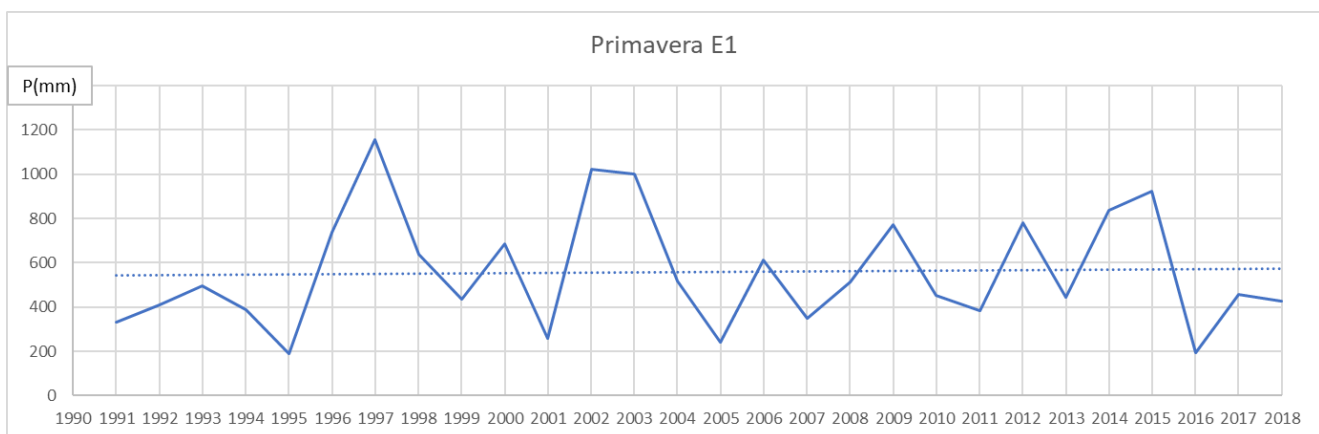


Figura 7: Precipitaciones Primavera E1

En las figuras anteriores se observa con detalle que para la E1: Puerto Concepción en enero, febrero, julio y agosto hay cambios graduales. En julio y agosto no se cumple con el supuesto de aleatoriedad y en agosto además con el de normalidad, entonces hay una duda razonable y los datos son sospechosos, ya que el test de T de Student requiere de datos con distribución normal. En enero se observa una tendencia positiva, si bien es no significativa y presenta un salto positivo en el año 2008, donde la media mensual de precipitaciones pasa de 116 mm a 187 mm. Para los demás meses no se observan cambios graduales y/o abruptos, ni en el análisis estacional como anual. En las gráficas para las estaciones y anual se puede observar que no hay tendencia significativa.

Conclusiones

Al observar los módulos anuales de la serie analizada, se detecta un leve cambio gradual, pero no es significativo. Lo cual se confirma al someter la serie a diferentes test estadísticos, entonces desde el punto de vista estadístico el cambio no es significativo.

El 87% de los datos cumple con los supuestos de Normalidad, Aleatoriedad e Independencia. Normalidad cumple el 65%, Aleatoriedad el 95% e Independencia el 100% de los datos.

El 95 % de los datos no presentó tendencias significativas, el 3,4% presenta tendencias positivas y el 1,5% de los datos presenta tendencias negativas. Se percibe que hay un leve cambio gradual pero no significativo desde el punto de vista estadístico.

Con respecto a los saltos detectados, el 58% en el análisis son positivos, siendo el 42% de los saltos negativos. Se puede ver que coincidiendo con un período de escasas lluvias que abarcó los meses de noviembre de 2004 hasta marzo de 2005, se detecta un salto negativo en el 2004 y uno positivo en el 2005 que corresponde al término de los escasos de lluvias.

Debido a que la mayoría de los datos cumplen con los supuestos de Normalidad, Aleatoriedad e Independencia, se puede aceptar desde el punto de vista estadístico que los cambios graduales presentados no son significativos.

La detección de puntos de cambio está asociada a la variabilidad climática natural. Se ha utilizado una prueba estadística que detecta un único punto de cambio. Se considera a futuro la utilización de alguna prueba de detección de múltiples puntos y para hallar signos de cambio climático, se propone analizar una serie de un mínimo de 50 años, ya que al analizar series cortas la variabilidad climática puede causar una tendencia aparente.

Referencias Bibliográficas

Dickie, M; Coronel, A. 2016. Cambio climático, breve historia y tendencias en la Región Húmeda. INTA EEA Oliveros.

Figueras, S; Gargallo, P. 2003. Análisis Exploratorio de Datos. (En línea) <http://www.5campus.com/leccion/aed>, consulta 28-03-2023

IPCC. 1995. Climate change 1995, the science of climate change. Cambridge University Press, pág. 575

IPEC. 2015. Gran Atlas de Misiones. Instituto Provincial de Estadística y Censos, Gobierno de la Provincia de Misiones. P 14-27.

Lauro, C; Vich, A; Moreiras S. 2016a. Variabilidad del Régimen Fluvial en Cuencas de la Región de Cuyo. GEOACTA 40(2): 28-51 ISSN 1852-7744

Lauro, C; Vich, A; Moreiras, S. 2016b. Detección de tendencias y saltos abruptos en variables hidrológicas de cuencas de la región de Cuyo. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (CCT-Mendoza).

Orsolini, H; Zimmermann, E; Basile, P. 2017. Hidrología, Procesos y Métodos. Editorial UNR. P 35-36.

Poblete, A; Minetti, J; Escudero, S. 2013. Cambios abruptos en los derrames anuales del río San Juan – Argentina asociados a fenómenos climáticos de la macroescala. XXIV Congreso Nacional del Agua 2013. San Juan, Argentina.

Rodríguez, D. T. 2018. Estudio de dinámica de los excedentes hídricos superficiales en cuencas urbanas de alta pendiente y sus implicancias en los procesos erosivos. Caso de estudio región urbana de la ciudad de Oberá, Misiones. Tesis, FCEIA-UNR, Rosario.

Prytz Nilsson, G; Seufert, A; Ulrich, U; Payeska, G; Schoninger, G. 2019. Gestión de cuencas hidrográficas: Aplicaciones de SIG para mediciones pluviométricas. 9º Jornadas de Investigación, Desarrollo Tecnológico, Extensión, Vinculación y Muestra (JIDETEV 2019) Facultad de ingeniería-UNaM, Oberá, Misiones. ISSN: 2591-4219

Vincenti, S; Zuleta, D; Moscoso, V; Jácome, P; Palacios, E; Villacís, M. 2012. Análisis Estadístico de Datos Meteorológicos Mensuales y Diarios para la Determinación de Variabilidad Climática y Cambio Climático en el Distrito Metropolitano de Quito. La Granja, Revista de Ciencias de la Vida, 16(2) 2012: 23-47.

Siva, F; Eibl, B; Bobadilla, E. 2014. Características de la Precipitación Durante 1981-2012 en Eldorado Misiones. Revista Forestal Yvyrareta v.21, p. 36 – 42.

Vich, A; Bizzotto, F; Vaccarino, E; Correias, M; Manduca, F. 2010. Tendencias y cambios abruptos en el escurrimiento de algunos ríos con nacientes en la cordillera y serranías del oeste argentino. En: Criterios para la determinación de crecidas de diseño en sistemas climáticos cambiantes. Carlos Ubaldo Paoli et al. 1a ed.- Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral. 149-166. 172 p. ISBN 978-987-657-371

ANÁLISE DE EVENTOS DE SECAS NAS CIDADES DE ESPINOSA, SÃO FRANCISCO E BOCAIÚVA EM MINAS GERAIS

Peterson Logullo Ribeiro¹; Gilson de Sousa Silva²; Gabriella Guedes Rocha³; Ana Carolina Vasques Freitas⁴; Sandro Carvalho Izidoro⁵

¹Universidade Federal de Itajubá UNIFEI-Itabira, e-mail: peterlogullo@hotmail.com; ²Universidade Federal de Itajubá UNIFEI-Itabira, e-mail: gilson.ssilva77@gmail.com; ³Universidade Federal de Itajubá UNIFEI-Itabira, e-mail: gabriellaguedesr@unifei.edu.br; ⁴Universidade Federal de Itajubá UNIFEI-Itabira, e-mail: ana.freitas@unifei.edu.br; ⁵Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI-Itabira, e-mail: sandroizidoro@unifei.edu.br

Palavras-Chave: clima; índices de seca; semiárido

Resumo

O semiárido brasileiro é uma das regiões onde a mudança climática tem impactado de forma mais severa. Este estudo analisou os eventos de seca ocorridos nas cidades de Espinosa, São Francisco e Bocaiúva, localizadas no semiárido brasileiro, em Minas Gerais, utilizando o Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração na escala de 12 meses (SPEI-12) no período de 1960 a 2020. Os resultados mostraram um cenário preocupante em termos de ocorrência de eventos de seca nas três cidades analisadas. Com base na análise do SPEI-12, foi possível verificar que, embora as cidades estejam espalhadas dentro da mesorregião norte mineira, elas apresentam algumas similaridades em termos de ocorrência de secas. Foi possível verificar nos últimos anos uma dominância de episódios de secas nas três cidades, especialmente no período de dezembro de 2012 até julho de 2020, com exceção de Espinosa, que teve a ocorrência de fracos episódios úmidos nesse período. Contudo, Espinosa apresentou a maior ocorrência de episódios de seca extrema e o fato de se localizar na região que apresenta os mais baixos índices pluviométricos dentro da mesorregião norte mineira é algo bastante preocupante. Por outro lado, Bocaiúva apresentou o maior número de eventos de seca excepcional e se localiza na região com maiores índices pluviométricos, o que também é digno de atenção por parte dos gestores municipais. Diante desse cenário, é fundamental adotar medidas de adaptação e mitigação para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas na região semiárida. Esse estudo pode servir como base para a tomada de decisões informadas, visando à promoção de ações sustentáveis e políticas de adaptação que assegurem a resiliência das comunidades diante dos desafios climáticos iminentes.

Introdução

O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) alerta para o fato de que o semiárido brasileiro é uma das regiões onde a mudança climática tem impactado de forma mais severa. De acordo com o IPCC, cerca de 3,3 a 3,6 bilhões de pessoas enfrentam uma realidade preocupante, vivendo em contextos altamente vulneráveis às mudanças climáticas e que regiões e comunidades, que enfrentam consideráveis restrições de desenvolvimento, são especialmente suscetíveis aos impactos, como, por exemplo, eventos extremos de seca (IPCC, 2023). Essa interdependência entre fatores socioeconômicos e ambientais ressalta a urgência de adotar ações sustentáveis e políticas de adaptação para garantir a resiliência das comunidades diante dos desafios climáticos iminentes (IPCC, 2023).

A seca é um fenômeno natural, caracterizado por uma redução significativa na quantidade de chuvas em relação à climatologia durante um período de tempo, geralmente de meses ou até mesmo anos, acarretando consequências significativas e onerosas para a agricultura, ecossistemas, abastecimento de água e economia (IPCC, 2023; PALMER, 1965).

O Semiárido Brasileiro abrange 1.427 municípios localizados em dez estados do país: Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. A delimitação dessa região foi definida com base em critérios estabelecidos pela Resolução do Conselho Deliberativo da Sudene de nº 150, de 13/12/2021 (SUDENE, 2021). Esses critérios incluem uma precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm, um Índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50, e um percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano. Essas características climáticas tornam o Semiárido uma área naturalmente suscetível a secas, o que impacta significativamente as condições socioeconômicas e ambientais da população residente nessa região (SUDENE, 2021).

As cidades de Espinosa, Bocaiúva e São Francisco fazem parte das cidades mineiras classificadas como parte do semiárido brasileiro (Figura 1) e a análise dos eventos de seca ocorridos nestas cidades foram objeto deste estudo.

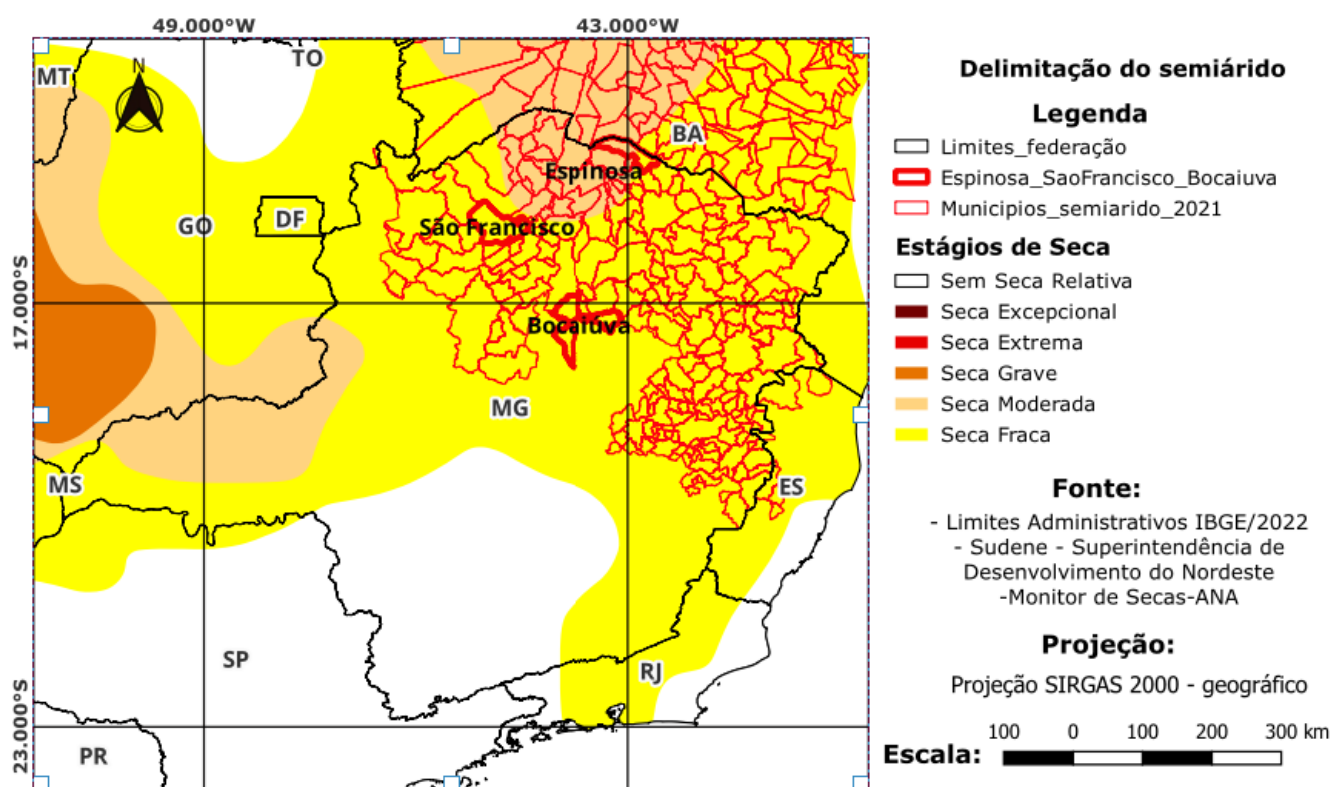


Figura 1: Delimitação do semiárido. Fonte: Autores (2023)

Espinosa é um município localizado no Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais, com uma população de aproximadamente 32.088 habitantes e economia baseada na agropecuária, com destaque para a produção de leite e carne bovina (IBGE, 2022). A cidade apresenta baixa renda per capita e acesso limitado ao esgotamento sanitário (IBGE, 2022). Além disso, a região é frequentemente afetada por secas moderadas a graves, o que pode agravar ainda mais a situação socioeconômica da população (ANA, 2023).

São Francisco, por sua vez, se encontra situado ao sudoeste da cidade de Espinosa, apresentando uma população estimada de 56.398 habitantes e economia baseada na agropecuária, indústria e turismo, com destaque para a produção de frutas, grãos e leite (IBGE, 2022). A cidade apresenta indicadores socioeconômicos e ambientais variados, com uma renda per capita e acesso ao esgotamento sanitário inferiores à média nacional (IBGE, 2022). A região também é afetada por secas moderadas a graves, o que pode impactar na resiliência da população aos efeitos desses eventos (ANA, 2023).

Finalmente, o município de Bocaiúva se localiza mais ao sudeste da cidade de São Francisco, possuindo uma população estimada de 50.605 habitantes e uma economia diversificada, incluindo agropecuária, indústria e comércio, com destaque para a produção de algodão, milho, soja e cana-de-açúcar (IBGE, 2022). Os indicadores socioeconômicos e ambientais de Bocaiúva são intermediários, com taxas de renda per capita e acesso ao esgotamento sanitário próximas à média nacional (IBGE, 2022). A região também enfrenta secas fracas a moderadas, o que pode influenciar a capacidade de adaptação da população aos efeitos desses eventos (ANA, 2023).

Em resumo, essas três cidades enfrentam desafios socioeconômicos e ambientais distintos, mas compartilham a vulnerabilidade aos impactos das secas recorrentes em suas respectivas regiões. A análise dos eventos de seca nessas localidades é essencial para entender suas consequências para a sociedade e o meio ambiente, bem como para desenvolver estratégias de gestão e adaptação mais eficazes, que permitam a mitigação e adaptação a esses eventos, fornecendo uma base sólida para a tomada de decisões informadas e a implementação de medidas preventivas (SHIAU, 2023; ZHANG et al., 2022), que possam garantir uma maior resiliência e segurança hídrica para as comunidades afetadas (ANA, 2023).

Material e Métodos

A área de estudo insere-se na Mesorregião Norte de Minas Gerais, onde, de acordo com a Figura 2, a precipitação média anual é caracterizada por baixos índices pluviométricos na parte norte-nordeste dessa região, enquanto índices pluviométricos maiores são encontrados especialmente na parte sul-sudoeste dessa região. As três cidades analisadas neste estudo foram escolhidas tendo como base a Figura 2, de forma a selecionar aquelas com altos e baixos índices pluviométricos, além do fato de estarem espalhadas dentro da mesorregião norte mineira.

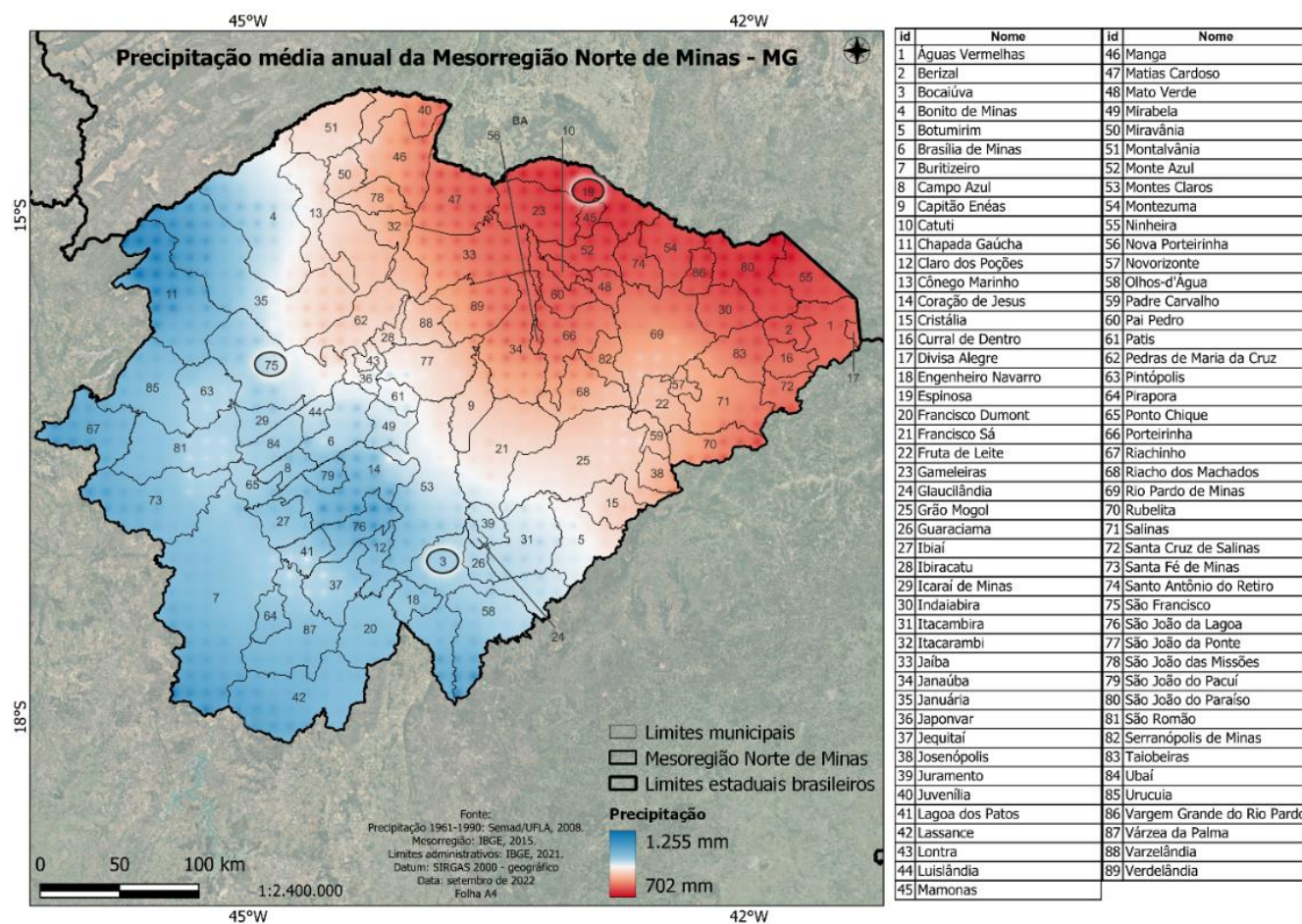


Figura 2: Precipitação na Mesorregião Norte de Minas. Fonte: Autores (2023).

Dados diários de precipitação e evapotranspiração potencial de Xavier et al. (2022) foram utilizados para o período de 01/01/1960 a 31/07/2020. Posteriormente, foram calculados os acumulados mensais de precipitação e evapotranspiração potencial para a mesorregião norte de Minas Gerais utilizando o *software* CDO (*Climate Data Operators*). Foram extraídos estes acumulados para os municípios de Bocaiúva, Espinosa e São Francisco e realizado o cálculo do balanço hídrico (precipitação - evapotranspiração) para cada localidade.

O Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI) (Beguería et al. 2014) foi calculado para uma escala de 12 meses (SPEI-12). Para isso, os dados com o balanço hídrico foram inseridos no *software* Rstudio e utilizou-se o pacote SPEI versão 1.7 para calcular o índice na escala de 12 meses (SPEI-12). O resultado foi a análise dos eventos de seca para as três cidades, considerando que um evento de seca só se inicia quando o valor de SPEI se torna menor do que -1 por dois meses consecutivos e finaliza quando o valor de SPEI se torna positivo por pelo menos dois meses consecutivos (sendo que estes dois últimos meses não foram contabilizados no cálculo de duração, magnitude e frequência).

A duração da seca foi calculada somando-se o número de meses entre o início e o final do evento, a magnitude ou severidade correspondeu ao somatório dos valores de SPEI no mesmo período e a intensidade média foi dada pela razão entre magnitude e duração. Finalmente, a frequência relativa foi dada pelo somatório de meses de todos os eventos de seca, dividido pelo número de meses totais na série, e esta é expressa em porcentagem.

O SPEI é um dos índices mais utilizados para análise de eventos de seca possibilitando apoiar a tomada de decisões relacionadas à gestão de recursos hídricos, adaptação agrícola e medidas de mitigação de riscos em face dos desafios impostos pelas secas, promovendo, assim, a gestão sustentável dos recursos hídricos e garantindo a segurança hídrica para as diversas atividades econômicas, sociais e ambientais.

Resultados e Discussão

Na Figura 3 pode-se verificar o SPEI na escala de 12 meses (SPEI-12) para as cidades de Espinosa, São Francisco e Bocaiúva, respectivamente. Valores acima de 0,5 indicam episódios úmidos; entre 0,5 e -0,5 uma frequência de precipitação próxima ao normal; entre -0,5 e -0,8, seca fraca; entre -0,8 e -1,3, seca moderada; entre -1,3 e -1,6, seca grave; entre -1,6 e -2,0, seca extrema e abaixo de -2,0, seca excepcional. Pode-se verificar um aumento na ocorrência de episódios de seca (barras em cor laranja), destacando-se o período de dezembro de 2014 até julho de 2020, quando praticamente não houve ocorrência de episódios úmidos (barras em cor azul) nas três cidades analisadas (Figura 1).

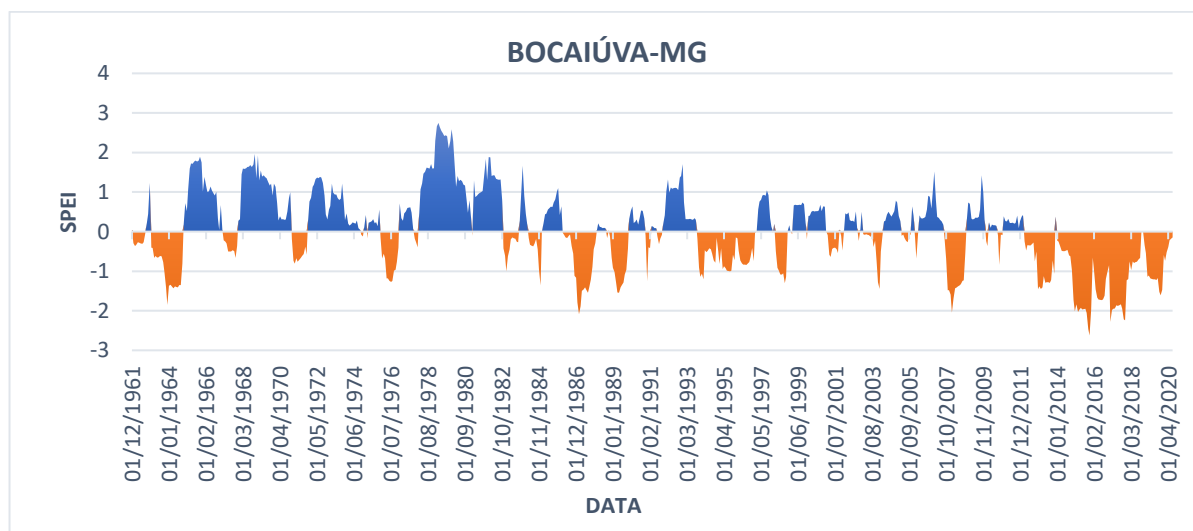
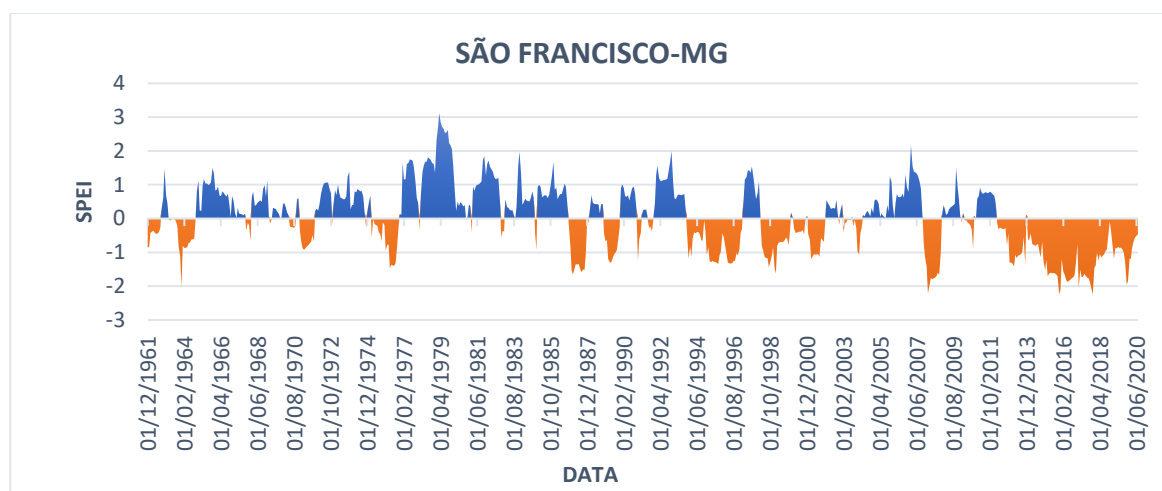
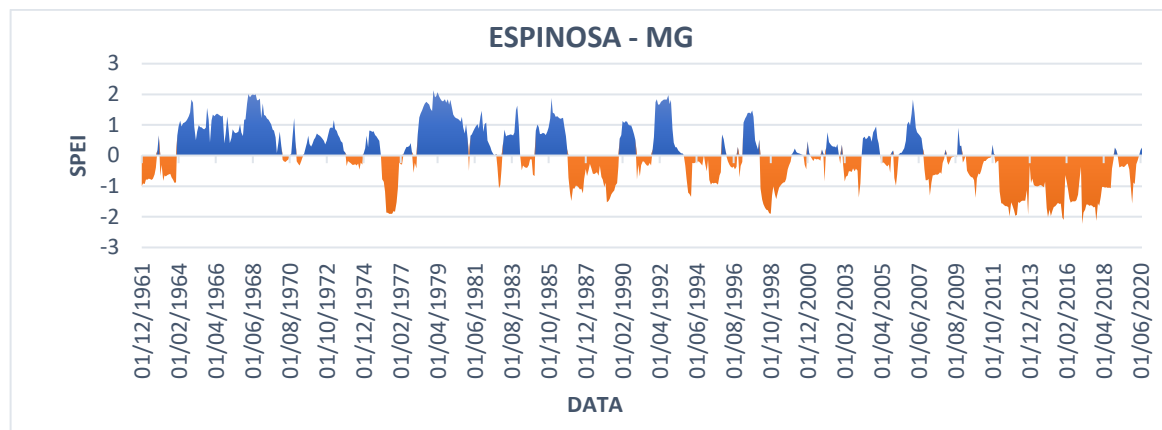


Figura 3: SPEI-12 – Espinosa, São Francisco e Bocaiúva. Fonte: Autores deste estudo (2023).

Por meio das Tabelas 1, 2 e 3, que apresentam os eventos de seca em termos de duração, magnitude e intensidade média, para as três cidades analisadas, pode-se verificar que o evento de maior duração e magnitude ocorreu nas cidades de São Francisco e Bocaiúva, no período de 12/2012 a 07/2020, como visto na Figura 3. Em Espinosa esse período foi mais curto, ocorrendo de 03/2012 a 11/2018, porém apresentou a maior duração, magnitude e intensidade. Em termos de intensidade média, o evento mais intenso ocorreu em São Francisco de 12/2007 a 11/2008 (-1,65) e em Bocaiúva de 11/2007 a 11/2008 (-1,40).

Tabela 1 - Eventos de seca ocorridos na cidade de Espinosa

Período	Duração (meses)	Magnitude	Intensidade média
03/1976 a 03/1977	13	-17,66	-1,36
01/1987 a 11/1989	35	-31,26	-0,89
12/1993 a 11/1995	24	-14,13	-0,59
03/1998 a 12/1999	22	-25,76	-1,17
03/2012 a 11/2018	81	-113,10	-1,40

Fonte: Autores deste estudo (2023).

Tabela 2 - Eventos de seca ocorridos na cidade de São Francisco

Período	Duração (meses)	Magnitude	Intensidade média
11/1963 a 10/1964	12	-9,91	-0,83
04/1976 a 10/1976	7	-8,09	-1,16
01/1987 a 01/1988	13	-16,18	-1,24
03/1989 a 11/1989	9	-8,91	-0,99
03/1995 a 02/1997	24	-25,54	-1,06
06/1998 a 12/1999	19	-17,90	-0,94
03/2001 a 01/2002	11	-9,72	-0,88
12/2007 a 11/2008	12	-19,84	-1,65
12/2012 a 07/2020	92	-113,71	-1,24

Fonte: Autores deste estudo (2023).

Tabela 3 - Eventos de seca ocorridos na cidade de Bocaiúva

Período	Duração (meses)	Magnitude	Intensidade média
10/1963 a 10/1964	13	-17,53	-1,35
04/1976 a 12/1976	9	-9,24	-1,03
11/1986 a 01/1988	15	-19,68	-1,31
02/1989 a 11/1989	10	-11,92	-1,19
12/1993 a 02/1997	39	-25,97	-0,67
06/1998 a 10/1998	5	-5,66	-1,13
12/2003 a 03/2004	4	-3,35	-0,84
11/2007 a 11/2008	13	-18,23	-1,40
12/2012 a 07/2020	92	-111,18	-1,21

Fonte: Autores deste estudo (2023).

Em termos de categorias de seca, pode-se verificar na Figura 4 que Bocaiúva apresenta o maior número de eventos de seca excepcional (7%), já Espinosa apresenta o maior número de eventos de seca extrema (24%). Quando se considera eventos de seca grave a excepcional, pode-se verificar que Bocaiúva e Espinosa são os que tem maior frequência, 51% e 50%, respectivamente (Figura 4). O fato de Espinosa se localizar na região que apresenta os mais baixos índices pluviométricos dentro da mesorregião do norte mineiro e apresentar uma alta frequência de eventos severos de seca é digno de atenção.

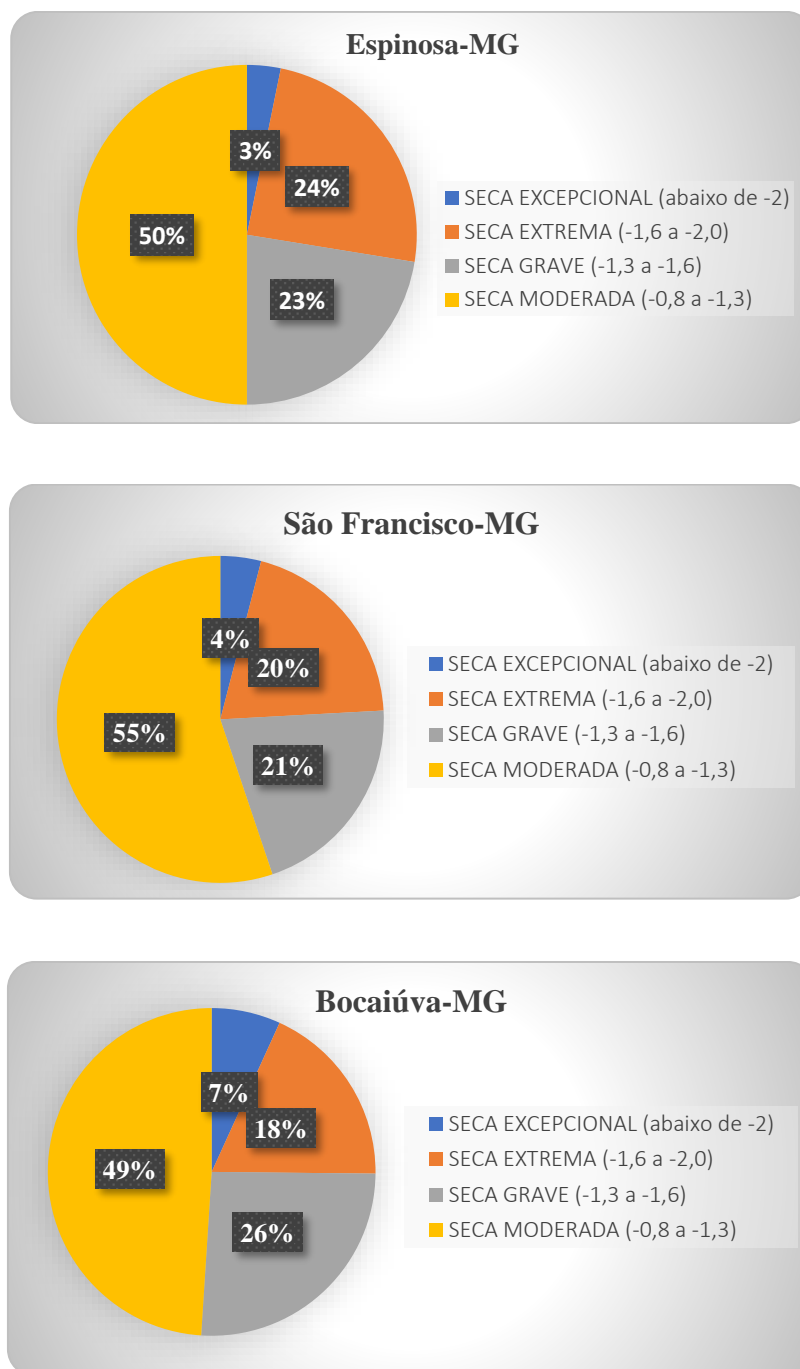


Figura 4: Frequência em porcentagem de eventos de seca por categoria nas três cidades analisadas. Fonte: Autores deste estudo (2023).

Conclusões

Os resultados desta análise apontaram para um cenário preocupante em termos de ocorrência de eventos de seca nas cidades de Espinosa, São Francisco e Bocaiúva, localizadas no Semiárido Brasileiro em Minas Gerais. Embora essas cidades estejam espalhadas dentro da mesorregião norte mineira, elas apresentam algumas similaridades em termos de ocorrência de secas. A partir dos dados do índice SPEI-12, observou-se nos últimos anos uma dominância de episódios de secas nessas 3 cidades analisadas, especialmente no período de dezembro de 2012 até julho de 2020, com exceção de Espinosa, que teve a ocorrência de fracos episódios úmidos nesse período. Contudo, Espinosa apresentou a maior ocorrência de episódios de seca extrema e o fato de se localizar na região que apresenta os mais baixos índices pluviométricos dentro da mesorregião do norte mineiro é algo bastante preocupante. Por outro lado, Bocaiúva apresentou o maior número de eventos de seca excepcional e se localiza na região com maiores índices pluviométricos, o que também é digno de atenção por parte dos gestores municipais.

Esses eventos têm consequências impactantes para as condições socioeconômicas e ambientais das comunidades, afetando a agricultura, o abastecimento de água e a economia local.

Diante desse cenário, é fundamental adotar medidas de adaptação e mitigação para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas na região semiárida. A gestão sustentável dos recursos hídricos, a promoção de práticas agrícolas resilientes e o desenvolvimento socioeconômico responsável são estratégias essenciais para fortalecer a resiliência das comunidades diante dos efeitos das secas.

A colaboração entre órgãos governamentais, instituições acadêmicas e a sociedade civil é imprescindível para implementar políticas eficazes de enfrentamento das mudanças climáticas e garantir um futuro mais seguro e sustentável para as populações do Semiárido Brasileiro.

Além disso, a continuidade de pesquisas e estudos nessa temática é fundamental para aprimorar a compreensão dos padrões de seca na região e embasar decisões informadas para o planejamento de ações preventivas e de resposta a eventos climáticos extremos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradecemos também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado.

Referências

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Monitor de Secas - junho/2023. 2023. Disponível em: <https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=6&ano=2023>. Acesso em: 27 jul. 2023.

Beguiría, S.; Vicente-Serrano, S. M.; Reig, F.; Latorre, B.; 2014. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, v. 34, n. 10, pp. 3001-3023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama Cidades/IBGE. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil>. Acesso em: 27 jul. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 2 ago. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, 2021.

Palmer, W. C.; 1965. Meteorological drought. *Research paper*, v. 45, p. 1–58.

Shiau, J. T.; 2023. Causality-based drought propagation analyses among meteorological drought, hydrologic drought, and water shortage. *Science of the Total Environment*, v. 888, 164216.

Xavier, A. C.; Scanlon, B. R.; King, C. W.; Alves, A. I.; 2022. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). *International Journal of Climatology*, pp. 1–15.

Zhang, X. et al.; 2022. Drought propagation under global warming: Characteristics, approaches, processes, and controlling factors. *Science of The Total Environment*, v. 838, p. 156021.

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E OS INVENTÁRIOS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM CIDADES DA AMÉRICA LATINA: UMA ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA

¹Jaqueline Ramos Grabasck, ²Marilise Garbin, ³Carlos Alberto Mendes Moraes, ⁴Feliciane Andrade Brehm

¹Universidade do Vale do Rio dos Sinos, e-mail: jaquegrabasck@gmail.com; ²Universidade do Vale do Rio dos Sinos, e-mail: garbin.mmari@gmail.com; ³Universidade do Vale do Rio dos Sinos, e-mail: cmoraes@unisin.br;

⁴Universidade do Vale do Rio dos Sinos, e-mail: felicianeb@unisin.br

Palavras-chave: Mudanças climáticas; Inventário de emissões de gases de efeito estufa; Avaliação do ciclo de vida.

Resumo

As mudanças climáticas são consideradas as principais causas do aquecimento global. Seus efeitos ocasionam problemas ambientais no mundo inteiro, por meio de impactos sérios, amplos e duradouros. Os impactos ambientais acarretados pelo aquecimento global estão diretamente ligados ao aumento de gases de efeito estufa (GEE), advindos das diversas atividades humanas (residenciais, comerciais e industriais). A fim de compreender quais setores contribuem com maior significância, tem-se o desenvolvimento dos inventários de emissões de gases de efeito estufa, que podem apresentar uma ampla lista de emissões e remoções de gases induzidos pelo ser humano. Os resultados obtidos podem auxiliar na determinação de quais estratégias podem ser aplicadas visando minimizar os impactos ambientais, tendo em vista que o inventário deve fornecer uma visão geral do cenário em que a organização se encontra e as emissões detalhadas de cada fonte, que o tornam uma base científica sólida, tanto para pesquisas, fornecendo dados secundários, quanto para auxiliar em tomadas de decisão, visando o desenvolvimento de ações de prevenção e ou mitigação. O estudo aqui proposto tem como objetivo avaliar a importância do desenvolvimento de inventários de gases de efeito estufa em consonância com a avaliação do ciclo de vida (ACV), principalmente, em cidades da América Latina, levando em consideração que a ACV é uma ferramenta que tem dentre seus objetivos analisar e mensurar os aspectos e impactos ambientais potenciais de processos e serviços. Para tanto, serão analisadas as emissões averiguadas nos inventários desenvolvidos por cidades que compõem a América Latina, visando construir uma análise sistemática do referencial bibliográfico existente, que aborde a temática da ACV, juntamente com os inventários de emissões de gases de efeito estufa, que atualmente carecem em muitos casos de resultados quantitativos, e em especial, do ponto de vista científico do uso destas ferramentas. Assim como, serão apresentados neste estudo os dados sistemáticos das pesquisas analisadas, como por exemplo, ano com maior índice de publicações, periódico mais relevante neste contexto, autores com maior quantitativo de publicações dentre estas temáticas e palavras-chave mais significativas. De acordo com os resultados obtidos, foi possível concluir que os softwares SimaPro e OpenLCA são importantes ferramentas nos estudos de ACV, além de apresentarem ampla aplicabilidade para o desenvolvimento de inventários de GEE. Dentre as pesquisas analisadas, o método de avaliação impacto ReCiPe juntamente com a base de dados da Ecoinvent, foram utilizadas na grande maioria dos estudos analisados. Concomitantemente, no desenvolvimento de inventários de GEE se mostrou essencial o uso da metodologia desenvolvida pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que é reconhecida mundialmente e considerada relevante dentre estes estudos. Ao desenvolver os inventários de GEE é possível indicar os principais pontos a serem analisados e modificados, a fim de mitigar as emissões geradas, tanto por processos, como por serviços. A utilização da ACV em conjunto com os inventários de GEE proporcionam resultados com alto índice de confiabilidade, pois são consideradas ferramentas complementares na avaliação ambiental de todas as etapas processuais, abrangendo em seu escopo de análise as fases pelas quais os condicionantes perpassam, ou seja, desde a extração da matéria-prima até a destinação final dos produtos, de forma concisa e com reconhecimento em âmbito internacional.

Introdução

As mudanças climáticas são uma preocupação global, desencadeadas pelas atividades humanas, que precisam ser minimizadas, a fim de garantir a existência da vida na Terra. Cada vez mais, os países, seus estados e municípios buscam alternativas para mitigar as emissões dos gases de efeito estufa (GEE), e para direcionar estas ações, os inventários de emissões são os meios mais adequados para definir as práticas a serem adotadas. Os inventários de emissões de gases de efeito estufa são mecanismos utilizados para avaliar as emissões geradas por diversos setores de serviços e produtos. Por meio da metodologia do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é possível desenvolver o levantamento dos dados necessários e realizar os cálculos para obter as emissões em CO₂eq. O principal objetivo do inventário é identificar o perfil de emissões, deixando evidentes as principais fontes de geração, para então desenvolver estratégias com o intuito de reduzir as emissões geradas (PREFEITURA DE PORTO ALEGRE, 2021). O objetivo deste estudo é avaliar a importância do desenvolvimento de inventários de gases de efeito estufa em consonância com a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), em especial em cidades da América Latina, mediante o desenvolvimento de uma análise sistemática do referencial bibliográfico produzido atualmente.

A ACV é a principal ferramenta para avaliar o perfil ambiental tanto de serviços, como de produtos, especialmente tratando-se de emissões de GEE e da pegada de carbono (PETROCHE e RAMIREZ, 2022). Vázquez-Rowe *et al.* (2019) salientam também a importância de se utilizar ACV para apoiar a política climática, enfatizando que esta metodologia não deve ser utilizada apenas para análise de inventário, mas também para identificar as compensações entre os diversos tipos de impactos. Os Planos Locais de Ações Climáticas são ferramentas para aprimorar e expandir as políticas adotadas em determinadas regiões, sendo resultado dos inventários de emissões de GEE, que assim como a ACV, atuam no monitoramento e avaliação dos resultados gerados (PREFEITURA DE CURITIBA, 2020).

Portanto, a revisão sistemática tem o intuito de direcionar a pesquisa, conforme as evidências encontradas durante o processo de busca (GARCIA, SILVA e NASCIMENTO, 2018). De acordo com Haddaway *et al.* (2015), as revisões sistemáticas são consideradas o método mais imparcial e eficiente, que pode ser utilizado para analisar uma pesquisa científica existente. Martini *et al.* (2020) complementam que, todas as etapas de desenvolvimento da revisão sistemática são discutidas e não apenas a sua conclusão, em que são compostas por: “*elaboração das questões de pesquisa; elaboração do processo de busca; e definição dos critérios para filtrar os resultados*” (MARTINI *et al.*, 2020, p.46).

Desta forma, este trabalho se propôs a uma revisão sistemática com o intuito de avaliar a importância destas duas ferramentas, a ACV e o inventário de emissões de GEE, com enfoque nas cidades da América Latina.

Metodologia

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizado o método de revisão sistemática, com o intuito de avaliar a importância do desenvolvimento de inventários de GEE em consonância com a ACV, principalmente, em cidades da América Latina.

Para dar início ao estudo foram definidas: uma questão geral, três questões específicas e quatro questões estatísticas. Com a questão geral tem-se o objetivo de compreender a importância do desenvolvimento de inventários de emissões de GEE, juntamente, com o desenvolvimento da ACV. Nas questões específicas são abordados os softwares e as metodologias utilizados no desenvolvimento da ACV e dos inventários, e as principais categorias de impactos avaliadas. Enquanto, as questões estatísticas focam no desenvolvimento dos resultados numéricos das referências, como, os periódicos, cujas pesquisas são publicadas, o número de publicações, os responsáveis por estas publicações e as palavras-chave mais utilizadas (Tabela 1).

Questão Geral	
QG01	Qual a importância do desenvolvimento de inventários de GEE juntamente com a ACV?
Questões Específicas	
QSP01	Quais os softwares e metodologias mais utilizados para o desenvolvimento de uma ACV?
QSP02	Quais as metodologias mais utilizadas no desenvolvimento de inventários de GEE?
QSP03	Quais as principais categorias de impactos avaliadas?
Questões Estatísticas	
QST01	Quais autores que mais publicam?
QST02	Qual ano houve o maior número de publicações?
QST03	Em quais periódicos houve o maior número de publicações?
QST04	Quais as palavras-chave mais utilizadas?

Tabela 1: Questões de pesquisa.

Para o desenvolvimento desta pesquisa utilizou-se as palavras-chave *life cycle assessment, greenhouse gas inventory e Latin America cities*, aplicadas nas bases de dados: EBSCOhost, SCOPUS, CAPES e *Web of Science*. As pesquisas foram feitas individualmente com cada conjunto de palavras, aplicou-se o critério de inclusão (textos completos, revistas acadêmicas e ano conforme disponibilidade na base de dados) e finalizou-se a pesquisa com os três conjuntos de palavras, chegando a um resultado de 250 artigos na base de dados SCOPUS. Como critérios de exclusão, retirou-se os artigos duplicados e realizou-se a leitura dos títulos e resumos para avaliar quais artigos encontram-se dentro da temática deste estudo, após retirar as publicações que não compreendiam a temática de ACV e inventários de GEE na América Latina, obteve-se um total de 116 artigos, conforme apresentado na Figura 1. Como as demais bases de dados apresentaram resultados entre 1 e 3 artigos, optou-se pela SCOPUS, para se ter uma análise mais significativa das produções realizadas nesta área. Entretanto, cabe ressaltar que os artigos encontrados na CAPES e na *Web of Science* também foram observados no resultado de pesquisa realizado na SCOPUS.

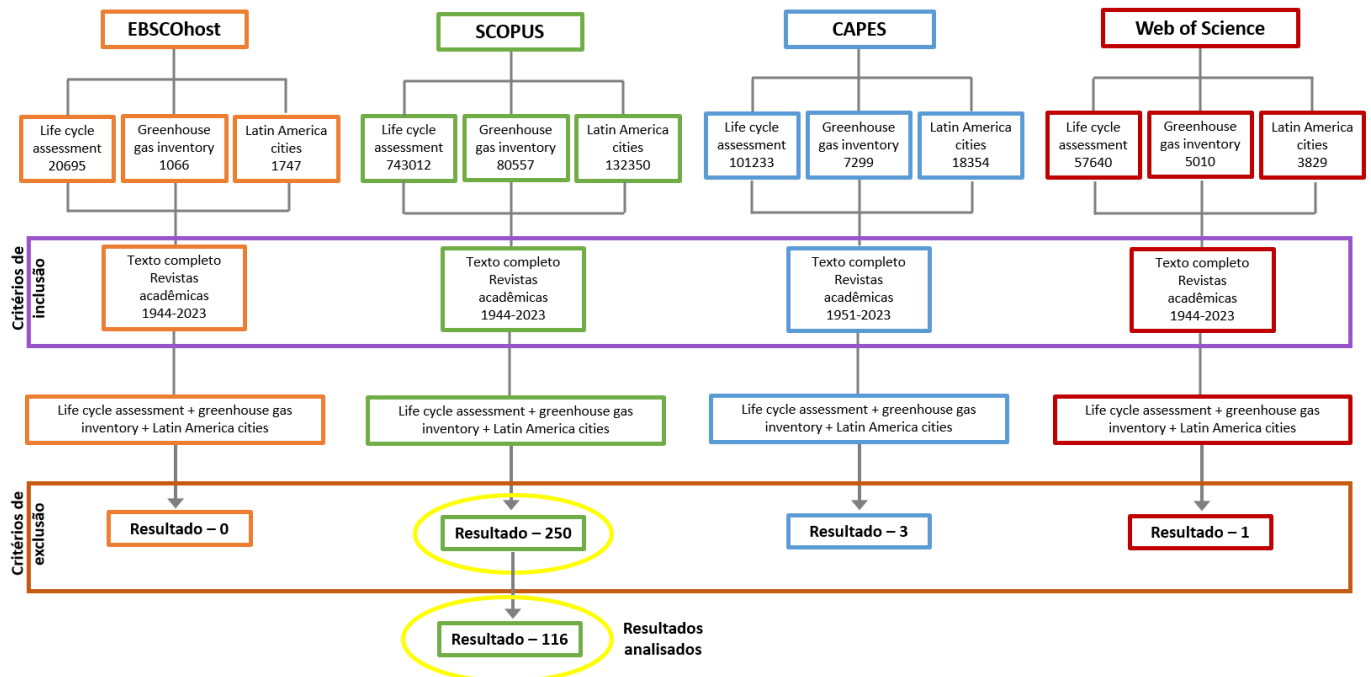


Figura 1: Resultados das pesquisas as bases de dados com aplicação dos critérios de inclusão e exclusão.

Os dados referentes aos 116 artigos foram aplicados no software RStudio e analisados conforme os dados obtidos com o Biblioshiny.

Resultados e Discussão

Após a exclusão das publicações duplicadas e dos artigos que não se relacionavam ao tema, foram obtidos 116 resultados publicados entre 2004 e 2023, em 78 periódicos distintos. Nestas publicações foram observados 572 autores, sendo que apenas três artigos foram desenvolvidos por um único autor. Entretanto, observou-se que houve uma taxa significativa de colaboração internacional entre os autores, totalizando 46,55% (Figura 2).



Figura 2: Informações principais sobre as 116 produções científicas analisadas.

Com os resultados obtidos no Biblioshiny pode-se observar que houve uma forte crescente de publicações com estes temas entre 2015 e 2018, havendo uma queda entre 2018 e 2019, para voltar a se destacar com um pico em 2021, com a publicação de 17 artigos. A partir de 2022 manteve-se uma constante de publicações de artigos, com 16 publicações em 2022 e 16 publicações em 2023, conforme pode-se observar na Figura 3. Com estes resultados é possível concluir que a temática vem ganhando destaque entre as pesquisas e tende a manter-se constante ou em crescimento no decorrer dos próximos anos.

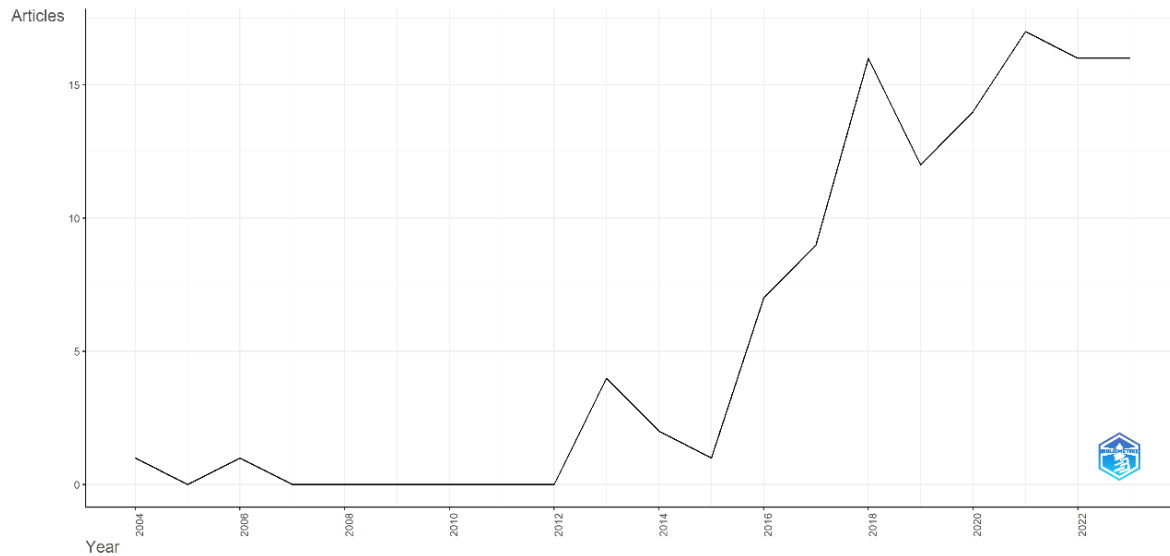


Figura 3: Produção científica anual (artigos por ano de publicação).

Como autores mais relevantes, Vázquez-Rowe se destaca com 8 artigos publicados, seguido por Kahhat com 5 publicações e Aldaco e Ziegler-Rodriguez com 4 publicações cada. Com relação aos periódicos, *Science of the Total Environment* apresentou 9 publicações, seguido do *Journal of Cleaner Production* com 6 artigos e do *Journal of Industrial Ecology* com 5 publicações.

Dentre os países mais citados, México se encontra em primeiro lugar com 490 citações, seguido pelos Estados Unidos com 452 citações, Dinamarca com 336 e do Brasil com 334. Já em termos de artigos citados globalmente, a publicação de Sueyoshi, Yuan e Goto (2017), intitulada *A literature study for DEA Applied to energy and environment*, publicada na *Energy Economics* foi citada em 340 publicações, seguida pelo artigo de Lenzen *et al.* (2006), também publicado na *Energy Economics*, intitulado *A comparative multivariate analysis of household energy requirements in Australia, Brazil, Denmark, India and Japan*, sendo citado em 336 publicações e, por fim, sendo citado em 166 artigos encontra-se a publicação de Landrigan *et al.* (2020), intitulada *Human health and ocean pollution*, no periódico *Annals of Global Health*. Cabe ressaltar, que na sexta posição das publicações mais citadas globalmente encontra-se um artigo de autores brasileiros, Santos *et al.* (2018), publicado na *Resources, Conservation & Recycling*, intitulado *Assessment of potential biogas production from multiple organic waste in Brazil: impact on energy generation, use, and emissions abatement*.

Com relação as instituições de ensino que apresentaram maior índice de relevância, considerando o número de artigos publicados dentre os pesquisados, destaca-se a *Pontificia Universidad Católica de Chile*, com 9 publicações, seguida pela *Pontificia Universidad Católica del Perú* com 8 artigos publicados e pela *Espol Polytechnic University* com 7 publicações. Nesta análise, observa-se que há três universidades brasileiras que encontram-se entre os 10 resultados de instituições mais relevantes em termos de quantitativo de publicações, sendo elas, Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal da Paraíba e Universidade de São Paulo, cada uma com 5 artigos publicados, como pode-se observar na Figura 4.

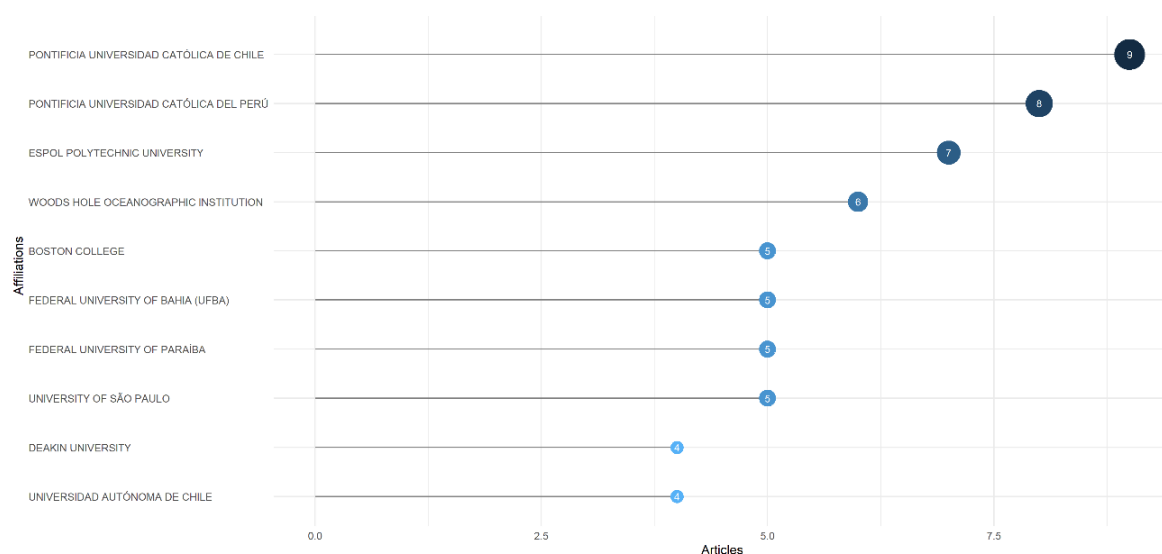


Figura 4: Instituições mais relevantes em termos de quantitativo de publicações.

O Brasil se destaca também em termos de países correspondentes dos autores, sendo classificado como primeiro lugar, ao apresentar um total de 19 artigos, sendo 14 como publicações de um único país e 5 artigos desenvolvidos por múltiplos países, conforme apresentado na Figura 5.

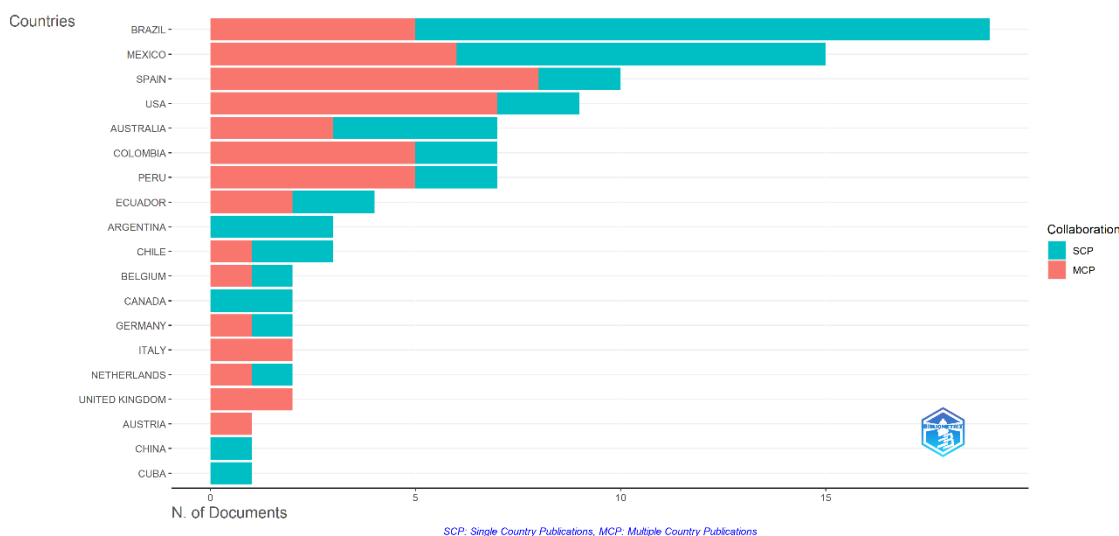


Figura 5: Países correspondentes dos autores conforme o número de publicações.

Considerando as 10 palavras-chave que ocorrem com maior frequência dentre os artigos analisados, destaca-se *climate change* com 40 ocorrências, *environmental impact* com 33 ocorrências e *greenhouse gas* com 32 ocorrências, conforme apresentado na Figura 6.

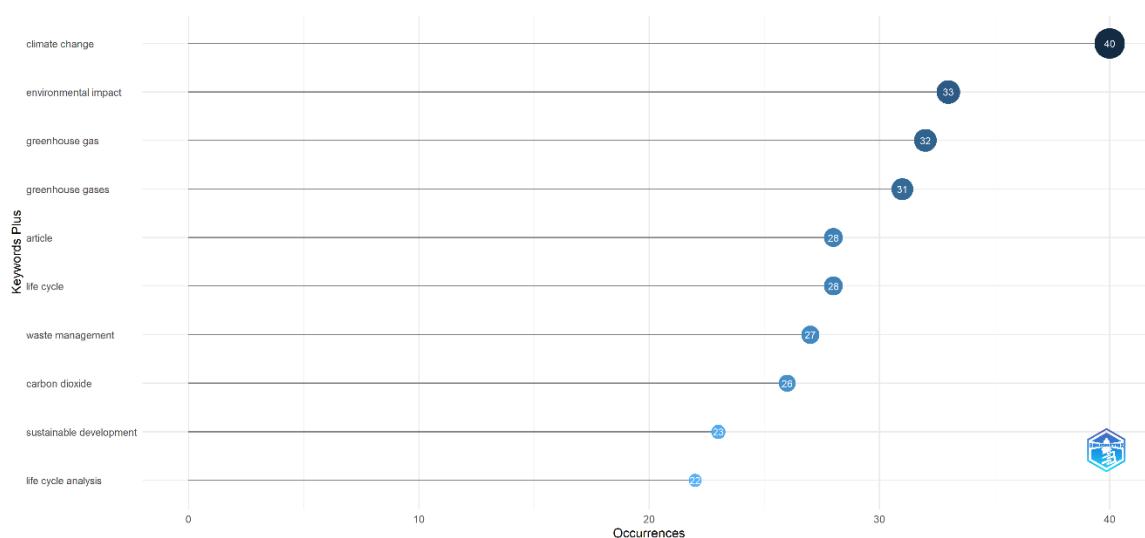


Figura 6: Palavras-chave mais relevantes.

Frente as publicações analisadas, a fim de responder ao questionamento referente a Questão Geral (QG01 – Qual a importância do desenvolvimento de inventários de GEE juntamente com a ACV?) pôde-se concluir que os inventários de GEE e a ACV são considerados ferramentas complementares, que servem para avaliar o perfil ambiental tanto de serviços, como de produtos.

Já na Tabela 2 são apresentadas as demais questões de pesquisa, formuladas inicialmente, com as suas respectivas respostas.

Questões Específicas		Respostas
QSP01	Quais os softwares e metodologias mais utilizados para o desenvolvimento de uma ACV?	Software – OpenLCA e SimaPro Base de dados – Ecoinvent Método de avaliação de impacto – ReCiPe
QSP02	Quais as metodologias mais utilizadas no desenvolvimento de inventários de GEE?	IPCC

QSP03	Quais as principais categorias de impactos avaliadas?	Aquecimento global, Depleção do ozônio, Toxicidade humana, Ecotoxicidade terrestre, Ecotoxicidade aquática, Depleção de recursos abióticos, Acidificação, Eutrofização e Oxidação fotoquímica.
Questões Estatísticas		
QST01	Quais autores que mais publicam?	Vázquez-Rowe (8), Kahhat (5), Aldaco (4), Ziegler-Rodríguez (4), Güereca (3), Margallo (3), Muñiz (3), Barros (2), Botello-Álvarez (2) e Bustamante (2)
QST02	Qual ano houve o maior número de publicações?	2021 – 17 publicações
QST03	Em quais periódicos houve o maior número de publicações?	<i>Science of the Total Environment</i> – 9 <i>Journal of Cleaner Production</i> – 6 <i>Journal of Industrial Ecology</i> – 5 <i>Energies</i> – 4 <i>Sustainability (Switzerland)</i> – 4 <i>Environmental Development</i> – 3 <i>International Journal of Life Cycle Assessment</i> – 3 <i>Journal of Environmental Management</i> – 3 <i>Resources, Conservation and Recycling</i> – 3 <i>Waste Management</i> – 3
QST04	Quais as palavras-chave mais utilizadas?	<i>Climate change</i> (40), <i>Environmental impact</i> (33), <i>Greenhouse gas</i> (32), <i>Greenhouse gases</i> (31), <i>Article</i> (28), <i>Life cycle</i> (28), <i>Waste management</i> (27), <i>Carbon dioxide</i> (26), <i>Sustainable development</i> (23) e <i>Life cycle analysis</i> (22)

Tabela 2: Respostas as questões de pesquisa.

Dentre as publicações analisadas, os *softwares* SimaPro e OpenLCA foram os mais utilizados nos estudos de ACV, juntamente com a base de dados da Ecoinvent e como método de avaliação de impacto ReCiPe, que possui aplicação Global. Cabe ressaltar que, o método ReCiPe utiliza o IPCC como metodologia para cálculo de GEE-GWP.

Em termos de inventários de gases de efeito estufa, o uso da metodologia desenvolvida pelo IPCC foi observada em todos os estudos analisados desta temática, pois está incluída nos métodos de avaliação ambiental para GEE. Esta escolha pode-se dar devido a consistência e relevância da metodologia em questão, que é reconhecida internacionalmente e amplamente utilizada no desenvolvimento de inventários. Mirabella e Allacker (2021) indicam as discrepâncias, as restrições e as oportunidades para o desenvolvimento de inventários de GEE em cidades, analisando, principalmente, a metodologia GPC, que tem como base a metodologia desenvolvida pelo IPCC. Em seu artigo sobre forma urbana e estrutura espacial, Muñiz e Rojas (2019) também utilizam a metodologia do IPCC para analisar as emissões de GEE que podem ocorrer em uma cidade. Ou seja, em inventários de GEE em cidades, que abrangem diversos escopos, usualmente, utiliza-se a metodologia do IPCC, como é o caso do 1º Inventário de GEE do município de São Leopoldo, desenvolvido com esta metodologia (PREFEITURA DE SÃO LEOPOLDO, 2022).

Reforçando a importância destes instrumentos frente as mudanças climáticas, a categoria de impacto aquecimento global foi sinalizada na maioria dos estudos analisados, tendo destaque devido à grande ocorrência em todas as cidades da América Latina.

Depleção do ozônio, toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade aquática, depleção de recursos abióticos, acidificação, eutrofização e oxidação fotoquímica também foram categorias de impacto observadas com frequência nos estudos analisados.

Apesar dos resultados terem sido significativos, pode-se afirmar que o desenvolvimento de ACV e de inventários de GEE em consonância ainda é um assunto incipiente, que necessita ser aprofundado e estendido a diversas outras áreas. Cabe ressaltar, que foram encontrados estudos acerca do tema em diversas áreas, como, segurança alimentar (VÁZQUEZ-ROWE *et al.*, 2021), produção de cimento (VÁZQUEZ-ROWE *et al.*, 2019), produção de biogás por meio de resíduos orgânicos (SANTOS *et al.*, 2018), pegada de carbono em instituições educacionais (ROCHA *et al.*, 2023), ou seja, as mais diversas temáticas utilizam da ACV e dos inventários de GEE para definir estratégias e alternativas em prol da mitigação dos impactos acarretados ao meio ambiente, seja por processos produtivos ou por serviços.

Considerações finais

Com base na pesquisa realizada é possível afirmar que a ACV e o inventário de emissões de GEE são processos que se complementam e geram resultados com maior confiabilidade, a fim de garantir que as estratégias a serem definidas, com o intuito de mitigar as emissões sejam as mais adequadas, proporcionando resultados satisfatórios.

Os *softwares* SimaPro e OpenLCA podem ser considerados importantes ferramentas no desenvolvimento de uma ACV, juntamente com a base de dados da Ecoinvent e com o método de avaliação de impacto ReCiPe. Assim como, para o

desenvolvimento dos inventários de emissões de GEE, o uso do IPCC é considerado essencial, devido ao seu alto índice de reconhecimento e precisão na geração dos resultados.

Frente aos resultados analisados, a categoria de impacto “potencial de aquecimento global” (*Global warming potential* – GWP) é a que apresenta os maiores impactos observados nos estudos encontrados, devendo esta categoria ser analisada com atenção e tendo o seu resultado, uma importância considerável para o desenvolvimento dos pareceres conclusivos. Com todos os resultados analisados, é possível definir quais as estratégias e ações que podem ser implementadas, seja por políticas públicas ou por organizações privadas, para fazer com que os impactos acarretados ao meio ambiente sejam reduzidos significativamente.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a CAPES pelas bolsas de doutorado, ao CNPq pelas bolsas DT, e a cidade de São Leopoldo pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa.

Referências Bibliográficas

Garcia, T.; Silva, M.; Nascimento, R. 2018. Mapeamento sistemático: Adoção de padrões de interoperabilidade no Governo. Revista Científica da Fasete, v.1, p.207-221.

Haddaway, N.; Woodcock, P.; Macura, B.; Collins, A. 2015. Making literature reviews more reliable through application of lessons from systematic reviews. *Conservation Biology*, v.29, p.1596-1605.

Landrigan *et al.* 2020. Human health and ocean pollution. *Annals of Global Health*, v.86(1), 151, p.1-64.

Lenzen *et al.* 2006. A comparative multivariate analysis of household energy requirements in Australia, Brazil, Denmark, India and Japan. *Energy*, v.31, p.181-207.

Martini, B.; Helfer, G.; Barbosa, J.; Modolo, R.; Silva, M.; Figueiredo, R. 2020. Prediction and context awareness in agriculture: A systematic mapping. *Agris on-line Papers in Economics and Informatics*, XII, 3, p.45-58.

Mirabella, N.; Allacker, K. 2021. Urban GHG accounting: discrepancies, constraints and cities. *Buildings and Cities*, v.2(1), p.21-35.

Muñoz, I.; Rojas, C. 2019. Urban form and spatial structure a determinants of per capita greenhouse gas emissions considering possible endogeneity and compensation behaviors. *Environmental Impact Assessment Review*, v.76, p.79-87.

Petroche, D.; Ramirez, A. 2022. The environmental profile of clinker, cement and concrete: A life cycle perspective study based on Ecuadorian Data. *Buildings*, 12, 311, p.02-18.

Prefeitura de Curitiba. 2020. PlanClima – Plano de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. p.01-119.

Prefeitura de Porto Alegre. 2021. Inventário de emissões de gases de efeito estufa de Porto Alegre. Sumário Executivo, p.01-41.

Prefeitura de São Leopoldo. 2022. 1º Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa de São Leopoldo. São Leopoldo, p.1-28.

Rocha *et al.* 2023. Carbon footprint in an educational institution and compensation potential in urban forests. *Environmental Development*, v.46.

Santos *et al.* 2018. Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: impact on energy generation, use, and, emissions abatement. *Resources, Conservation & Recycling*, v.131, p.54-63.

Sueyoshi, T.; Yuan, Y.; Goto, M. 2017. A literature study for DEA Applied to energy and environment. *Energy Economics*, v. 62, p.104-124.

Vázquez-Rowe *et al.* 2019. Production of cement in Peru: Understanding carbon-related environmental impacts and their policy implications. *Resources, Conservation & Recycling*, v.142, p.283-292.

Vázquez-Rowe *et al.* 2021. Climate action and food security: Strategies to reduce GHG emissions from food loss and waste in emerging economies. *Resources, Conservation & Recycling*, v.170.

ARTIGOS COMPLETOS

ÁREA TEMÁTICA
Bacias Hidrográficas e Gestão de Recursos Naturais



USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA DO RIO PROVIDÊNCIA, NO ESTADO DO TOCANTINS

¹Maria de Fatima Ribeiro, ²José Eustáquio Canguçu Leal, ³Lucas Filipe Ribeiro Avelino,
⁴Magno Nascimento Pimenta, ⁵Carlos Sergio Gomes, ⁶Eder Soares Pinto, ⁷Neliane de Sousa Alves.

¹ Instituto Federal do Tocantins, campus Palmas e Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS e-mail: ftimaribeiro@yahoo.com.br; ²Instituto Federal do Tocantins, campus Palmas, e-mail: eustaquio@ifto.edu.br; ³Universidade Federal do Tocantins, Campus Palmas; e-mail: lucas.avelino@mail.uft.edu.br; ⁴Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS e Instituto Federal do Tocantins, campus Palmas, e-mail: magmo.profagua@gmail.com; ⁵Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS, e-mail: carlosemesrac@gmail.com; ⁶Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS, e-mail: eder.pinto@naturatins.to.gov.br; ⁷Universidade do Estado do Amazonas e-mail: nsalves@uea.edu.br

Palavras-chave: Hidrografia; Biodiversidade; Supressão da Vegetação Nativa.

Resumo

A bacia hidrográfica do rio Providência é uma das sub-bacias da Bacia Tocantins Araguaia, localizada no Estado do Tocantins e inserida no bioma Cerrado. O estado do Tocantins, está na rota para a expansão agrícola brasileira, O local é caracterizado por sua importância econômica e social, principalmente em função da produção agrícola. Diante disso o objetivo deste estudo foi analisar o uso e ocupação do solo, os recursos hídricos e potenciais para expansão agropecuária na Bacia do Rio Providência, no estado do Tocantins. Para a análise da bacia foram gerados mapas utilizados o Sistema de Informações Geográficas (SIG)/software QGIS, dados vetoriais temáticos geoespaciais da Base de Dados Geográficos do Estado do Tocantins, cenas SRTM com as seguintes imagens: Imagem do ano 1984: Landsat 5; ano 1990: Landsat 5, ano 2000: Landsat 7; ano 2010: Landsat 5; ano 2020: Sentinel 2A. A análise da vazão no exutório da bacia foi realizada por interpolação, utilizando dados da Estação Fluviométrica Miracema e da precipitação com base nas informações da Estação Pluviométrica Miracema do Tocantins. As emissões dos gases de efeito estufa CO₂e (GWP-AR5) foram obtidas a partir do SEEG (2021). Os dados de uso do solo foram obtidos a partir dos dados brutos do projeto TerraClass do ano de referência 2020, imagens raster com a classificação dos diferentes tipos de uso do solo. Foi recortado os dados rasters do TerraClass que envolvem caracterização do Bioma Cerrado, para avaliar as classes de uso do solo. As imagens rasters classificadas foram reprojatadas para um sistema de coordenadas que permitisse a aproximação do cálculo de área das diferentes classes usadas para representação do uso do solo. A análise morfométrica da Bacia possibilitou calcular sua área de drenagem em 1.610,06 km² e o perímetro de 206,9 Km, com ramificações hidrográficas em 5ª ordem. Foram observadas variações na declividade entre 0 e 45%, e altimetria entre 178 m e 701 m. Na área foi constatado que teve expressiva supressão da vegetação nativa, no período entre 1984 e 2020, com 85,43%. As estimativas das vazões médias mensais do exutório mostram que os meses mais críticos com relação ao volume de água são de junho a outubro. As médias dos acumulados mensais das últimas décadas (1970 a 2020) mostraram o período do ano com menor precipitação pluviométrica na região (entre maio e setembro). A intensidade foi aumentando gradativamente, ao longo dos anos para o mês de maio e diminuindo para setembro. A precipitação para o mês de agosto nas últimas décadas fica quase nula. Pastagem é uma importante atividade para a região, ocupando 52,31% da área da Bacia do Rio Providência. É possível observar que na área da bacia vegetação nativa existente, está abaixo do mínimo obrigatório dos 35% de Reserva Legal, como preconiza o novo código florestal para áreas de Cerrado. Mudanças do uso da terra, floresta e agropecuária foram as atividades que mais emitiram gases do efeito estufa entre 2000 e 2018, na região estudada. Mudanças no uso do solo e supressão vegetal é apontada como uma das principais causas para emissão dos gases de efeito estufa e aquecimento global na região. A vegetação tem função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, proteger o solo além de assegurar o bem-estar das populações humanas, promover a conservação da biodiversidade, abrigo e proteção de fauna silvestre e da flora nativa.

Palavras-chave: Hidrografia; Biodiversidade; Supressão da Vegetação Nativa.

Introdução

A produção de alimentos para suprir a demanda de 7,7 bilhões de pessoas até o ano de 2019 (ROSER, 2019), foi possibilitada pelo crescimento da indústria química, desenvolvimento de fertilizantes para melhorar ou recuperar a fertilidade do solo e agrotóxicos para eliminar as perdas decorrentes de “pragas” (PESSANHA e MENEZES, 1985).

Contudo o crescimento da população deve continuar acelerado nos próximos anos. De acordo com a UNITED NATIONS (2017) e Roser (2019) esse crescimento deve ficar entorno de 83 milhões de pessoas a cada ano, no mundo, com expectativas para atingir entre 9,4 e 10,2 bilhões em 2050 e 9,6 e 13,2 em 2100. Em consequência disso, a projeção para demanda por alimentos pode aumentar em até 70% (FAO, 2017).

Conforme o GLOBAL AGRICULTURAL PRODUCTIVITY REPORT (2017), a produção de alimentos, não está acelerando o suficiente para atender de forma sustentável às necessidades futuras. Intensificar o uso de defensivos agrícolas pode não ser uma opção muito favorável e indicada para aumentar a produção de alimentos (CARVALHO *et al.*, 2017).

De acordo com FREITAS e MENDONÇA (2016), o Brasil é um dos poucos países ainda capazes de expandir sua área agricultável. Estudos realizados por Donagemma *et al.* (2016) e Freitas e Mendonça (2016) mostram que o estado do Tocantins, está na rota para a expansão agrícola brasileira. Segundo Brasil (2009), o estado está inserido na Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia, uma das doze regiões hidrográficas do território nacional.

Dentro do Estado, esse sistema é formado por 16 sub-bacias hidrográficas pertencentes ao Rio Araguaia e 14 sub-bacias hidrográficas ao Rio Tocantins. A Bacia do Rio Providência é uma das 14 sub-bacia do Rio Tocantins, o local é caracterizado por sua importância econômica e social, principalmente em função da produção agrícola. Segundo dados do IBGE (2017), as culturas que mais se destacam na região da bacia, em ordem de área ocupada são a pastagem, soja, milho e sorgo.

De acordo com Matos *et al.* (2014), outra atividade que está sobressaindo na região é a cultura do abacaxi. Para Pereira (2009), o setor de fruticultura no Tocantins está se sobressaindo em função das condições favoráveis, alta luminosidade praticamente o ano todo e água disponível para irrigação no período de seca.

Entretanto, Fernandes e Nunes (2017) relataram o baixo nível do Rio Providência no período de junho a setembro de 2017, em alguns pontos do rio, a água vazou completamente, restando apenas algumas poças em sua calha. As populações dos municípios de abrangência do rio ficaram apreensivas, tendo em vista que grande parte da população usa esta água para consumo e dessedentação de animais. Os moradores da região cobraram medidas das autoridades competentes e apontaram como principal causa para a redução do nível das águas, a captação excessiva de água para uso na irrigação agrícola, bem como o desmatamento.

O conhecimento da bacia hidrográfica, a análise de suas características morfométricas e os recursos hídricos disponíveis, com base em dados fluviométricos e pluviométricos são de fundamental importância para tomada de decisão do empreendedor do agronegócio rural. De acordo com Paula (2016) é de aceitação universal, a utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, na qual as interações são mais facilmente interpretadas.

As características da bacia são determinantes para a análise do potencial de expansão agropecuária na região, decidir a área adequada para o plantio, o que plantar, quando plantar e até avaliar a possibilidade de iniciar ou expandir um empreendimento agropecuário. Os atributos servem ainda para estimar o sistema de produção adequado, capacidade de produção e vulnerabilidade à degradação. Diante disso esse trabalho tem o objetivo de analisar o uso e a ocupação do solo, os recursos hídricos e potenciais para expansão agropecuária na Bacia do Rio Providência, no estado do Tocantins.

Material e Métodos

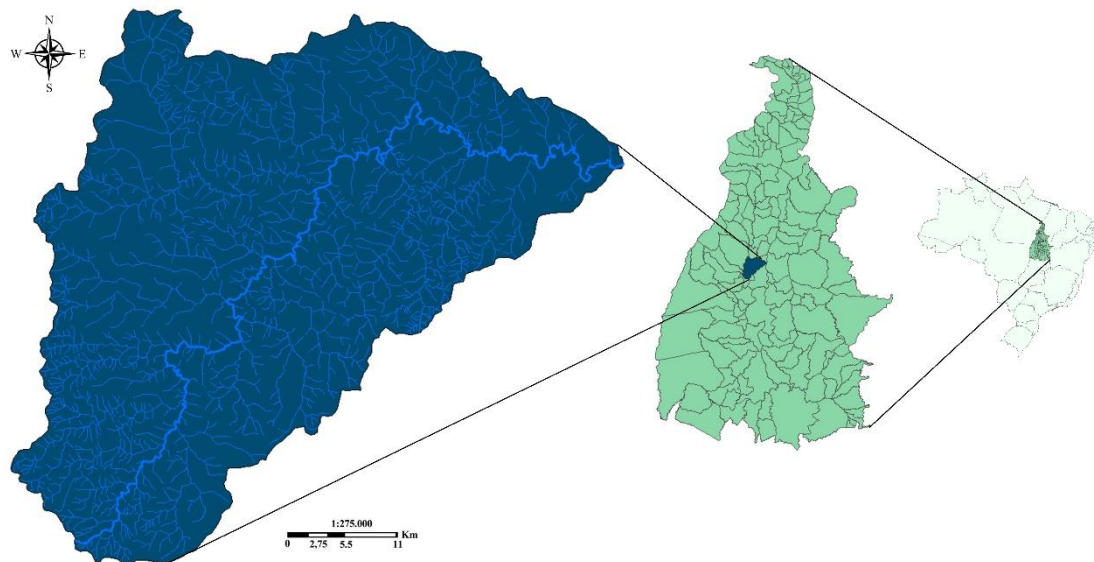


Figura 1: Localização da Bacia do Rio Providência no estado do Tocantins e no Brasil, adaptado de IBGE

A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do rio Providência que possui área de 1.610,06 km² (figura 1). Essa é uma das sub-bacias da Bacia Tocantins Araguaia, localizada no Estado do Tocantins e inserida no bioma Cerrado. O rio Providência tem suas principais nascentes dentro de Barrolândia, município que possui área de 70.024,83 ha (hectares), banha parte dos municípios de Miranorte (área de 103.538,07 ha) e Miracema (área de 266.110,80 ha), desembocando no rio Tocantins. A bacia ocupa 36,62% da área total dos três municípios, que juntos somam uma área de 439.673,70 ha.

Para o desenvolvimento das imagens (mapas da bacia), desse trabalho foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas (SIG)/software QGIS, software livre licenciado sob a GNU General Public License e dados vetoriais temáticos geoespaciais da Base de Dados Geográficos do Estado do Tocantins. Os dados referentes ao arquivo *raster* contendo elevação das cenas do SRTM (Missão Topográfica Radar Shuttle), correspondente à área de estudo, foram obtidos a partir do acesso INPE (2021).

A partir da adição das cenas SRTM elaborou-se o mosaico, e em seguida obteve-se a imagem *raster* da área de estudo. Foram utilizados os arquivos vetoriais dos limites da sub-bacia hidrográfica e hidrografia linha da área de estudo oriundos da Base Cartográfica Digital Temática do CAR (Cadastro Ambiental Rural) do estado de Tocantins (TOCANTINS, 2021).

A partir dos dados espaciais a bacia hidrográfica foi delimitada e determinados os seguintes parâmetros morfométricos: área da bacia, perímetro, comprimento do canal principal, comprimentos axiais, densidade de drenagem e hierarquização dos cursos d'água. Esses elementos subsidiaram a análise da ordem dos cursos d'água e vazões médias mensais das bacias. A densidade de drenagem foi determinada utilizando a equação 1, de acordo com Villela e Mattos (1975):

$$Dd = \frac{L_{tot}}{A} \quad (1)$$

Onde: L_{tot} é a extensão total dos cursos d'água e A é a área da bacia hidrográfica. A ordem de hierarquização dos cursos d'água foi baseada na classificação proposta por Strahler (1957). O nível da ordem da rede de drenagem é em função da sua ramificação. Canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários; os de segunda ordem só recebem tributários de primeira ordem; e, os de terceira, podem receber tributários de primeira e segunda ordem e assim sucessivamente (TEODORO *et al.*, 2007).

Para a composição do mapa de pressão sobre o uso e ocupação na Bacia do Rio Providência, utilizou-se a sobreposição dos planos de informações, tendo como principais critérios analíticos as classes de uso e cobertura, o desmatamento de cada ano, a hidrografia principal e secundária do Rio Providência.

As classes de destaque: vegetação nativa florestal e antropizada pelo desmatamento foram obtidas e analisadas por meio de técnicas de processamento digital de imagens e análise espacial com os seguintes parâmetros: origem da quilometragem: Equador e Meridiano Central 51° W.Gr acrescida das constantes N 10.000Km E 500Km, Datum horizontal Sirgas 2000, Fuso 22, conforme dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2021) e imagens: Imagem do ano 1984: Landsat 5, res. espacial; 30 m, data de passagem: 18/06/1984, Órb / Ponto: 222/67; ano 1990: Landsat 5, res. espacial; 30 m, data de passagem: 16/04/1990, Órb / Ponto: 222/67; ano 2000: Landsat 7, res. espacial; 15 m, data de passagem: 08/07/2000, Órb / Ponto: 222/67; ano 2010: Landsat 5, res. espacial; 30 m, data de passagem: 28/07/2010, Órb / Ponto: 222/67; ano 2020: Sentinel 2A, res. espacial; 10 m, data de passagem: 21/07/2020, Órb / Ponto: T22LGQ.

Para análise da vazão no exutório da bacia, foi realizado a regionalização da Estação Fluviométrica Miracema, código 22500000, estação mais próxima do ponto. A estação possui área de 183.355,00 km² com série histórica de 09/1969 a 12/2014. Foi utilizado a ferramenta, ArcGis 10.3 e o Sistema de Informação Hidrológica da Agência Nacional de Águas e Saneamento - SIH/ANA. Os dados da estação foram disponibilizados através do HidroWeb juntamente com as suas séries históricas de vazão média.

Em seguida foi calculada a vazão específica da estação, através da divisão da vazão Q_{90} da estação, pela área de drenagem (AD). Para obtenção da vazão mensal de referência Q_{90} do exutório de cada bacia, foi feita interpolação multiplicando o valor da vazão específica da estação, pela área de drenagem de cada ponto estudado.

A Q_{90} é a vazão com 90% de permanência no tempo, podendo ser extrapolada para outras seções do curso d'água, com base na área da bacia hidrográfica contribuinte e nas quantidades de chuvas da região (ANA, 2011). As vazões médias mensais foram calculadas utilizando as equações 2 e 3 de acordo com Villela e Mattos (1975):

$$Q_{especifica\ est.} = \frac{Q_{90\ estac\ao}}{AD_{estac\ao}} \quad (2)$$

$$Q_{90\ EBHRP} = (Q_{especifica\ est.}) * (AD_{BHRP}) \quad (3)$$

Onde: EBHRP é Exutório da Bacia Hidrográfica do Rio Providência; AD é a área de drenagem da bacia hidrográfica; Q é vazão e Q_{90} é a vazão determinada a partir das observações em um posto fluviométrico em certo período de tempo, em que 90% daquele período as vazões foram iguais ou superiores a ela (ANA, 2011).

Os valores de médias mensais, anuais e chuva acumulada para a região de estudo, foram calculados com base nas informações contidas na HIDROWEB v3.2.6 (ANA, 2021), da Estação Pluviométrica Miracema do Tocantins, código 948000, coordenadas 9°33'36,00"S 48°22'48,00"O. Para o cálculo das médias dos acumulados mensais de precipitação foi utilizado à série de dados observados entre os anos de 1970 a 2020. As falhas de dados para os meses de fevereiro, abril e maio de 2008; maio e dezembro de 2014; março de 2016, outubro, novembro e dezembro de 2019 e janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro de 2020 foram complementados com as médias dos acumulados do determinado mês. Para o ano de 2017, foi utilizado também os valores absolutos dos acumulados mensais (ANA, 2021).

Também, a partir dos dados disponibilizados na HIDROWEB v3.2.6, foram calculados os acumulados de precipitação para os meses de maio a setembro entre os anos de 1970 a 2020 e a soma do acumulado para os cinco meses. Esses meses foram utilizados por serem os menos chuvosos ao longo da série histórica.

Para o cálculo das emissões dos gases de efeito estufa CO₂e (GWP-AR5) em toneladas (t), relacionados aos anos de 2000 a 2018, as informações foram obtidas a partir do SEEG (2021). Foram somados os resultados das emissões dos municípios de Barrolândia, Miracema do Tocantins e Miranorte.

Os dados de uso do solos foram obtidos a partir dos dados brutos do projeto TerraClass do ano de referência 2020 (BRASIL, 2023), imagens raster com a classificação dos diferentes tipos de uso do solo (Vegetação natural primária; Vegetação natural secundária; Pastagem; Cultura agrícola perene, Cultura Agrícola Temporária de mais de um ciclo; Cultura Agrícola Temporária de um ciclo; Desflorestamento no ano, urbanizada e Corpo de água). As informações foram processadas com a utilização de softwares de geoprocessamento, usando a delimitação da área da bacia. Foi recortado os dados rasters do TerraClass que envolvem caracterização do Bioma Cerrado, para avaliar as classes de uso do solo. As imagens rasters classificadas foram reprojatadas para um sistema de coordenadas que permitisse a aproximação do cálculo de área das diferentes classes usadas para representação do uso do solo.

Resultados e Discussão

A área de drenagem da Bacia do Rio Providência foi calculada em 161.006,00 ha, perímetro de (206,9 Km), com rios ramificados em até 5ª ordem. A partir desses dados foi possível classificar a bacia hidrográfica como de grande porte, conforme critérios adotados por Strahler (1957) e Santos e Eloi (2015).

Por meio da análise morfométrica também foram determinados o comprimento do principal rio, o Providência, da nascente até sua foz no rio Tocantins em 123,01 Km, que junto com seus tributários formam uma rede hídrica com 2.162,01 km de extensão, de acordo com Santos e Eloi (2015), essa organização pode ser classificado como um bom sistema de drenagem.

Os valores de declividade (figura 2a) apresentam variações entre 0 a 75%, com parte do relevo classificado como suavemente ondulado entre 0 e 3%, predominante na área junto com relevo entre 3 e 8%, dentro do perímetro da bacia. A altimetria (figura 2b) está entre 178,00 m e 701,00 m, com variação de 523 metros entre o ponto mais baixo e o mais alto, predominando altitudes entre 278 e 378, com 47% da área.

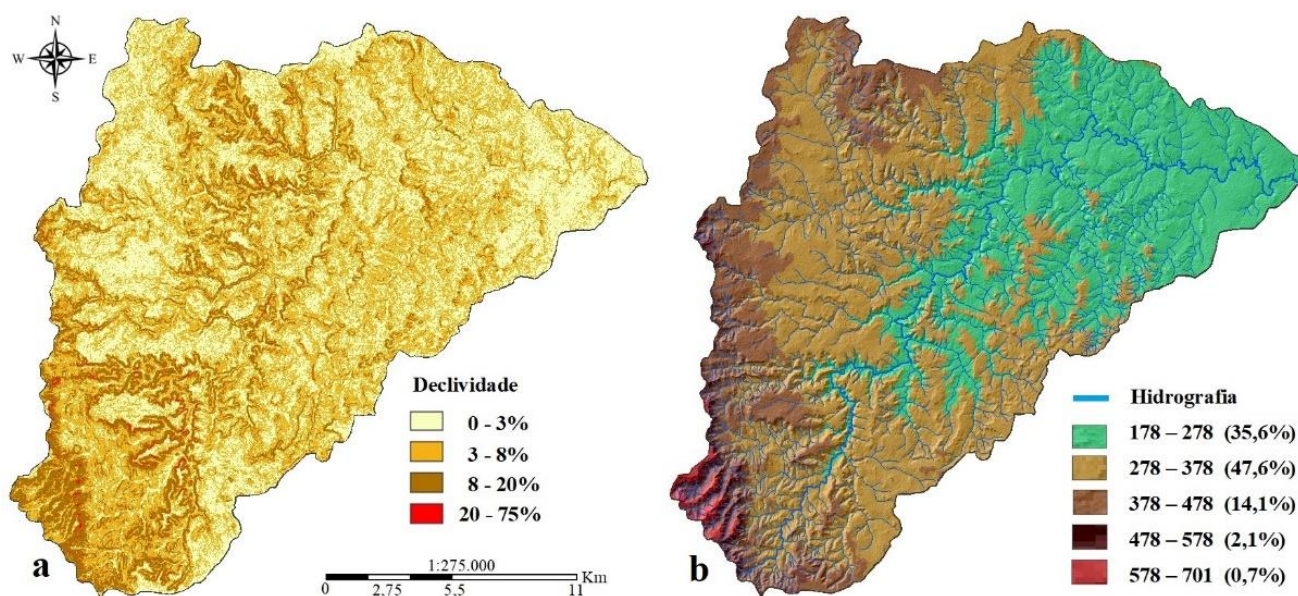


Figura 2: Mapa de declividade em porcentagem (a) e mapa hipsométrico (b) da Bacia Hidrográfica do Rio Providência, adaptado de INPE (2021).

A caracterização do relevo é fundamental para tomada de decisão no uso do solo. Para Oliveira (2014), o relevo tem papel preponderante como fator de formação dos solos e determinante na intensidade e direcionamento do fluxo hídrico. Sendo que cada tipo de solo e topografia ao longo da vertente demanda um manejo diferenciado, para melhor aproveitamento e conservação dos solos, especialmente os menos desenvolvidos.

Até 1960 a área da bacia em estudo era pouco cultivada, o Cerrado ainda era visto como inapto ao desenvolvimento de atividades agrícolas. Só a partir da década de 1970, quando o governo brasileiro iniciou a variadas ações para acelerar o desenvolvimento da produção agrícola no Cerrado (BOLFE *et al.*, 2020), foi que a área estudada começou ser modificada por ações antrópicas.

Em 1984, apenas 12% (19.649,96 ha) da área da Bacia do Rio Providência tinham sido suprimidas, conforme mostra a figura 3a. Até então, o Tocantins fazia parte do norte goiano, era considerado de pouca importância econômica, o PIB da região correspondia a apenas 3,7% da participação em relação ao PIB do sul de Goiás, denotando, assim, baixa participação na conjuntura econômica do estado (Marques 2019).

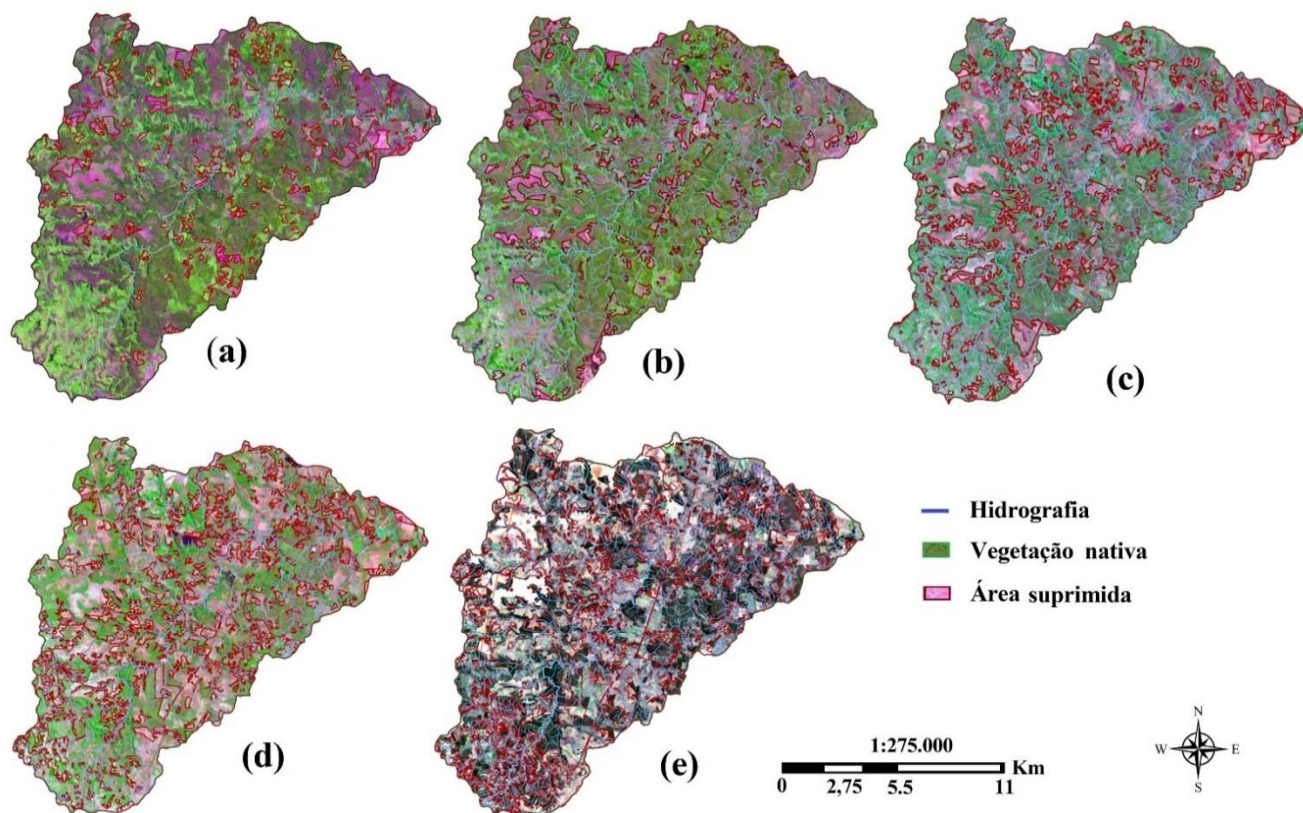


Figura 3: Área total da Bacia do Rio Providência 161.005,31 hectares, vegetação suprimida até 1984: 19.649,96; (b) vegetação suprimida até 1990: 33.847,43; (c) vegetação suprimida até 2000: 83.357,96; (d) vegetação suprimida até 2010: 115.854,15; (e) vegetação suprimida até 2020: 136.961,02. Considerando imagem de 18 de jun. de 1984; 18 de jun. de 1990; 18 de jul. de 2010 e 18 de jul. de 2020, adaptado de INPE (2021).

De acordo com Santos (2017), o desenvolvimento da pecuária e atividades agrícolas no Cerrado Tocantinense, foi intensificado no início da década de 1990, pela recém-criação do estado do Tocantins. No período (entre 1985 e 2017), o bioma Cerrado, teve diminuição de 17,65% vegetação nativa, passando de uma área 136 milhões de hectares para 112 milhões (BOLFE *et al.*, 2020). Na Bacia Hidrográfica do Rio Providência, a supressão foi bem mais expressiva 85,43%, no mesmo período. No local a área de vegetação nativa passou de 140.814,45 ha para 20.503,39 ha, as imagens das figuras 3a, 3b, 3c, 3d e 3e mostram a evolução desse desmatamento.

As últimas duas imagens evidenciam a antropização, até mesmo nas faixas marginais de nascentes e cursos hídricos. De acordo com o Novo Código Florestal, Lei nº 12.651 de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, essas são Áreas de Proteção Permanente – APPs e deve ser mantida a qualquer título. Tendo ocorrido a supressão, o proprietário da área, é obrigado a promover sua recomposição.

O Novo Código, também diz que, imóveis rurais situados em área de cerrado, deve manter área de 35%, com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal. Contudo na bacia, até 2020, restavam apenas 20.503,30 ha ou 12,73% da área.

A área de Reserva Legal deve ser mantida não só por obrigação da lei, para Dutra e Souza (2017) e Copertino *et al.* (2019), a supressão desordenada pode acarretar instabilidade da variação climática, que pode afetar e deixar vulneráveis ambientes por meio do aumento da temperatura, aumento na variação da temperatura, redução da precipitação, deixar as áreas menos úmidas e mais inflamáveis.

O clima exerce grande influência sobre o ambiente, atuando como fator de interações entre componentes bióticos e abióticos. A seca é uma das características causadora de maior impacto negativo sobre as atividades agrícolas. A deficiência hídrica associada aos períodos de longa estiagem constitui uma das principais causas das quebras de safras (FRANCISCO *et al.*, 2021).

Segundo Meireles *et al.* (2007), as atividades agropecuárias são seguimentos econômicos e de produção de alimentos que mais depende das condições ambientais, com destaque para o solo o clima e a água que podem interferir principalmente na produtividade. Além disso a água e sua disponibilidade pode ser determinante para classificar o grau de risco para as áreas de produção. Considerando a importância do recuso a tabela 1, mostra o resultado dos cálculos com estimativas das vazões médias mensais de água do exutório da Bacia do Rio Providência.

Os dados mostram que o período mais crítico com relação ao volume de água está entre junho e outubro do ano calendário. Os resultados estão relacionados a estimativa de água superficial que flui na bacia e os 75% da Q90 a parte disponível para os usos múltiplos no local de acordo com Decreto Estadual nº 2.432 de 2005, que regulamenta a emissão de atos de outorga de uso de recursos hídricos do Tocantins.

Mês	Vazão Q ₉₀ (m ³ /dia)	75% da Q ₉₀ (m ³ /dia)	25% da Q ₉₀ (m ³ /dia)	Precipitação média (mm) 1970/2020	Precipitação 2017
Jan	1.436.945,59	1.077.709,19	359.236,40	264,62	321,90
Fev	1.565.163,01	1.173.872,26	391.290,75	233,88	227,70
Mar	1.867.877,53	1.400.908,14	466.969,39	271,76	249,60
Abr	1.576.543,26	1.182.407,44	394.135,82	170,69	103,20
Mai	892.969,88	669.727,41	223.242,47	50,97	18,60
Jun	652.467,37	489.350,53	163.116,84	5,56	0,00
Jul	493.143,94	369.857,96	123.285,98	2,44	0,00
Ago	395.273,84	296.455,38	98.818,46	6,26	0,00
Set	346.718,13	260.038,60	86.679,53	47,24	0,00
Out	481.005,02	360.753,76	120.251,26	142,82	27,20
Nov	767.787,19	575.840,39	191.946,80	217,64	115,00
Dez	1.024.980,72	768.735,54	256.245,18	273,22	286,30
Média dos Acumulados anuais e acumulado de 2017				1.673,30	1.349,50

Tabela 1: Estimativas das vazões médias mensais Q90 75% da vazão Q90 do exutório da Bacia do Rio Providência e médias dos acumulados mensais da precipitação entre os anos de 1970 e 2020, acumulados mensais para 2017 e acumulados anuais em milímetros mm, (ANA, 2021)

Ainda conforme a tabela 1, com exceção de janeiro, a precipitação para o ano de 2017 na região, ficou abaixo da média, entre junho e setembro a precipitação foi zero. Segundo Fernandes e Nunes (2017), no ano houve grande conflito pelo uso da água do Rio Providência. As médias dos acumulados mensais das últimas décadas (1970 a 2020) mostraram o período do ano com menor precipitação pluviométrica na região (entre maio e setembro).

Analisando comportamento das chuvas para os cinco meses entre maio e setembro (Figura 4), é possível observar que a precipitação pluvial tinha menor variação nas duas primeiras décadas. A intensidade foi aumentando gradativamente, ao longo dos anos para o mês de maio e diminuindo para setembro. A precipitação para o mês de agosto nas últimas décadas fica quase nula.

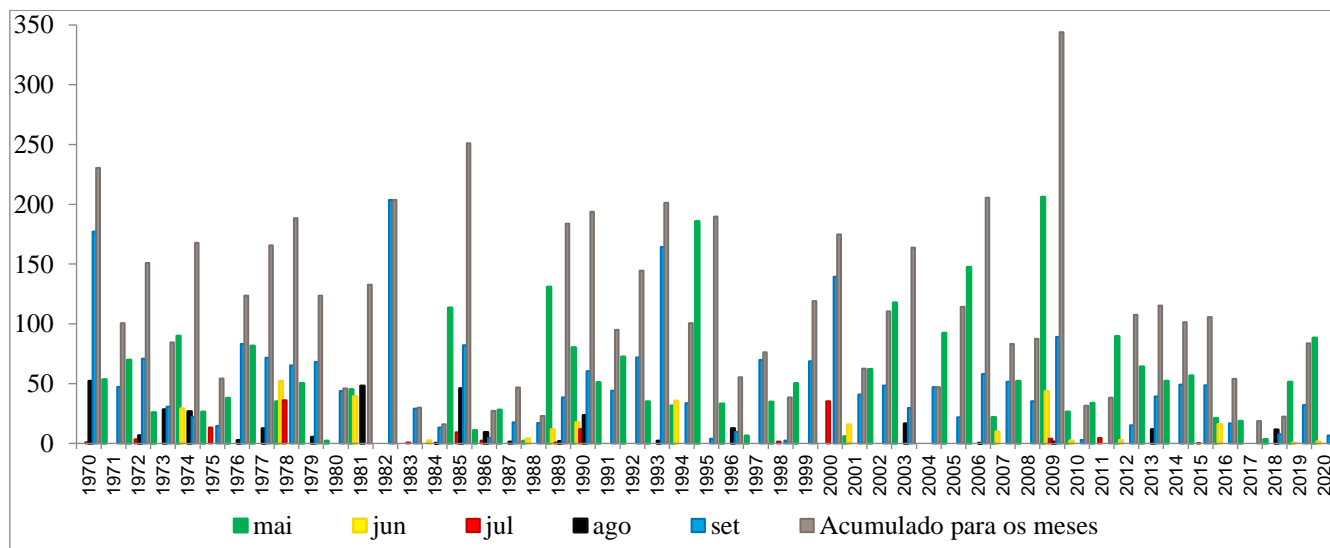


Figura 4: Acumulado da precipitação mensal e soma dos acumulados dos meses de maio a setembro dos anos de 1970 a 2020 em milímetros mm, (ANA, 2021)

Para Freitas *et al.* (2016) o estresse climático é um fator que pode contribuir para degradação das pastagens na região do Tocantins, seja pela concentração intensiva das chuvas que pode provocar erosão no solo e perda de fertilidade ou prolongamento na estação da seca, que prejudica a produtividade.

A pastagem é uma importante atividade para a região, conforme mostra a figura 5, ocupando 52,31% da área da Bacia do Rio Providência. A constatação corrobora com as informações do IBGE (2017), estimando que da área dos municípios de Barrolândia, Miracema do Tocantins e Miranorte, onde esta inserido a bacia, há predominância com 81,18% da ocupação com área de produção, sendo que 3,97% são de pastagem degradada. Na área de pastagem degradada do local (7.351 ha), seria possível, cultivar mais que toda produção da lavoura de milho, abacaxi e sorgo, segunda terceira e quarta respectivamente culturas agrícolas mais produzidas nos municípios.

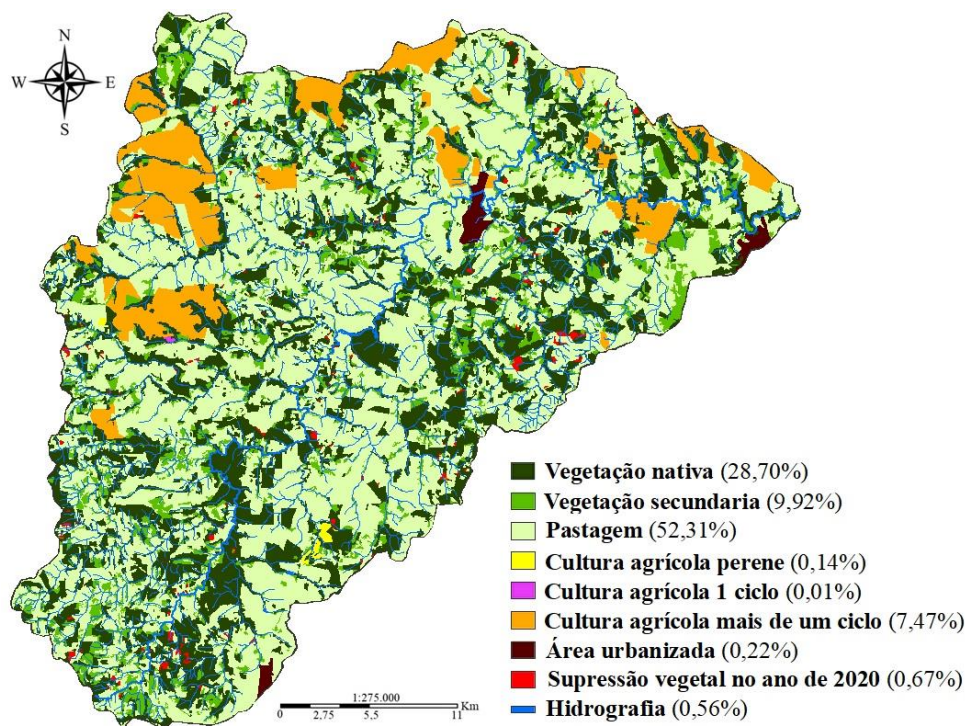


Figura 4: Classes do uso do solo na Bacia do Rio Providência conforme dados do projeto TerraCass, 2020.

A predominância em área de pastagem é análoga ao da brasileira, em relação aos outros usos (IBGE, 2017), pastagem essa que suporta a produção bovina que se destaca no cenário mundial do agronegócio. Segundo dados da USDA (2018 e 2021), o país possui o maior rebanho comercial efetivo, sendo o maior exportador de carne bovina do mundo. Contudo o país possui produtividade baixa, comparados por exemplo, com Estados Unidos da América - EUA. Enquanto EUA produz 12,719 milhões de toneladas carne, com rebanho 93,595 milhões de cabeças de bovinos. O Brasil com mais que dobro do rebanho, 252,700 milhões, produz 9,550 milhões de toneladas de carne (USDA, 2021).

A imagem da figura 4, mostra ainda que na Bacia do Rio Providência, restam apenas 28,70% da vegetação nativa. Embora acima dos dados mostrados na figura 3e, as informações são muito preocupantes. O local apresenta área desmatada maior do que o permitido pelo novo código florestal brasileiro (Lei 12.651, 2012), para o Bioma Cerrado. É importante resaltar que no local tem 9,92% de área com vegetação secundária, contudo é perceptível na imagem vários cursos hídricos sem as APPs.

Cultura temporária é a segunda classe de uso, com 11.270,42 hectares ou 7,47% do local estudado, corroborando com dados do IBGE (2017). Segundo IBGE (2017), desta a cultura mais produzida na região é a soja, seguida por milho e abacaxi. Soja representa uma importante cultura para o agronegócio brasileiro. É uma atividade dependente dos padrões regulares do clima. Segundo Radin *et al.* (2017), oscilações discrepantes na precipitação pluviométrica durante o ciclo da cultura, é uma variável que pode agravar os efeitos negativos na produtividade.

As mudanças no clima estão sendo intensificadas pelo efeito estufa causadas pelo aumento das emissões de CO₂ resultante principalmente, do uso energético de combustíveis fósseis e as mudanças do uso e cobertura da terra (BRASIL, 2020). O Brasil está na quarta posição de maior emissor, no país, aproximadamente 75%, são resultantes de desmatamentos e da mudança no uso da terra (ASSAD *et al.*, 2008). Entre 2000 e 2018, mudança do uso da terra e agropecuária, também foram as atividades que mais emitiram gases do efeito estufa na região da Bacia do Rio Providência, conforme figura 5.

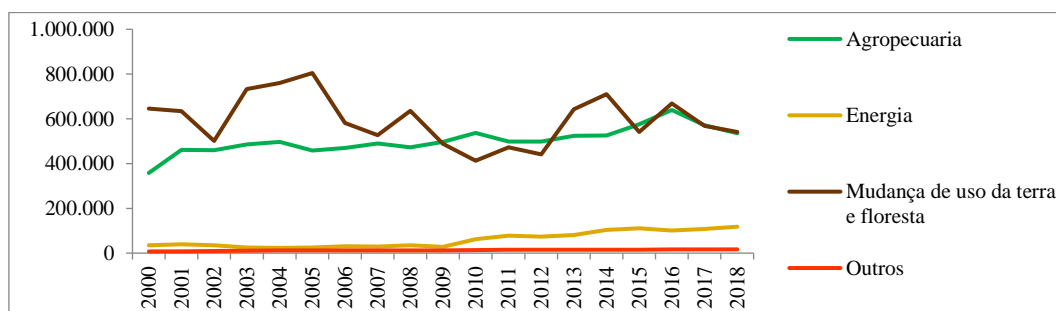


Figura 5: Emissões em toneladas (t) de CO₂e (GWP-AR5)* nos municípios de Barrolândia, Miracema do Tocantins e Miranorte, por setor* Com base potencial de aquecimento global – GWP-AR5 todos os gases do efeito estufa são convertidos em CO₂e, segundo os fatores de conversão estabelecidos no 5º relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC AR5 (SEEG, 2021).

Nos últimos anos, os eventos extremos provocados pelo aquecimento global, tem atraído apreensão sobre os fatores de risco relacionado à saúde, a biodiversidade e ao agronegócio principalmente na produção de alimentos. De acordo com Brasil (2020), as perdas na produção agrícola em função da redução das áreas aptas para o cultivo, pode se intensificar com as mudanças climáticas.

O risco é determinado pela relação entre a evapotranspiração real e evapotranspiração máxima que depende da temperatura e da oferta de água (relaciona à deficiência hídrica durante o ciclo das culturas). Culturas como café, feijão, arroz, milho, milho safrinha e soja, podem ter redução nas suas áreas de cultivo (ASSAD *et al.*, 2008).

No caso da soja, as projeções para aumentar as áreas de alto risco em função do aquecimento global é de 20,3 milhões de hectares. As perdas de áreas de baixo risco podem ficar acima de 81%, reduzindo de 24,98 milhões de hectares em 2012, para 4,69 milhões de hectares em 2085 (ASSAD *et al.*, 2016; BRASIL, 2020).

Havendo a redução do período favorável ao plantio pode também reduzir a frequência da segunda safra. O cultivo de duas safras anuais (soja e milho principalmente) é um dos pontos fortes da agricultura brasileira. A figura 6 pode exemplificar a projeção para perda de área apta ao cultivo de soja e milho safrinha. Mostra ainda que a Bacia do Rio Providencia junto com todo estado do Tocantins estão dentro dessa área de alto risco.

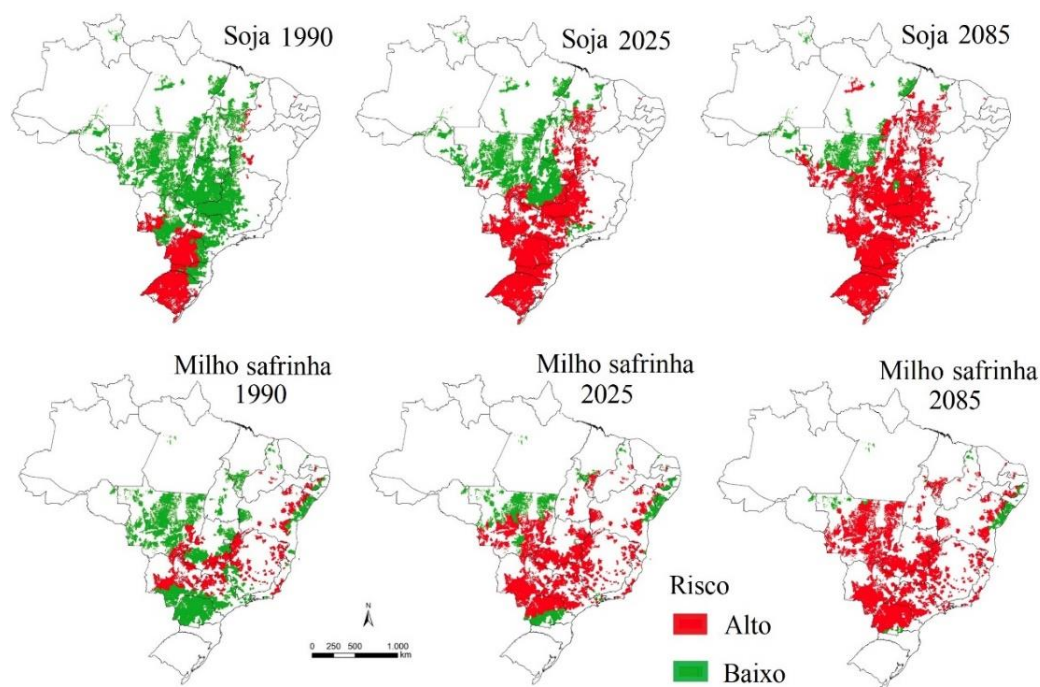


Figura 6: Espacialização das áreas de cultivo de soja e milho safrinha em 1990 e projeção para cenário de alto risco em 2085, Brasil (2016)

O milho safrinha que já é uma cultura de risco, nas projeções de cenários de aquecimento global, o risco aumenta substancialmente, em função do aumento da temperatura e da deficiência hídrica, passando de uma área de 7.468.878 para 204.339 ha em 2085, redução de 97,3% (Brasil, 2016; Brasil, 2020).

Considerações Finais

Considerando que restam menos de 30% de vegetação nativa na Bacia do Rio Providência é razoável pressupor que não será possível expandir a agropecuária na região. Mesmo que na área somam-se quase 10% de vegetação secundária, há evidência de falta de mata ciliar para proteger muitos cursos hídricos, fato que pode deixar o ambiente suscetíveis ao desequilíbrio. Ocorre que, ambientes ecologicamente equilibrados são mais resistentes para suportar variações climatológicas como a que ocorreu em 2017 quando o Rio Providencia chegou a secar. A vegetação tem função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, proteger o solo além de assegurar o bem-estar das populações humanas, promover a conservação da biodiversidade, abrigo e proteção de fauna silvestre e da flora nativa.

É fundamental para a região melhorar eficiência produtiva da bovinocultura, cujo sistema produtivo como no restante do Brasil é a atividade econômica que mais ocupa extensão de terras. Recomenda também como alternativas para evitar os processos erosivos nas pastagens, a avaliação da aptidão e capacidade de uso solo, podendo assim fazer uso racional do recurso, devem-se ainda identificar as práticas de uso do solo que mais se adequam ao local de forma sustentável.

Recomenda-se, a promoção de estudos de melhoramentos genéticos de cultivares de plantas agrícolas principalmente as alimentícias, a fim de torná-las mais adaptadas às condições climáticas; a adoção de práticas que impeçam o avanço do desmatamento para a abertura de novas áreas de plantio.

Referências Bibliográficas

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). 2011. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: Cadernos de capacitação em recursos hídricos**, Brasília, p.52.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). 2013. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional De Águas**, Brasília, p.252.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). 2015. **Lista de termos para o thesaurus de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas**. PORTARIA Nº 149.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). 2021. **Séries Históricas de Estações**. HIDROWEB V.3.2.6. em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 07 out. 2021.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLU JR, J.; MARIN, F.; PELLEGRINO, G. 2008. **Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil**. Plenarium, v.5, n.5, p. 96 – 117.
- ASSAD, E. D.; VICTORIA, D. de C.; CUADRA, S. V.; CUADRA, S. V.; ZANETTI, M. R. 2020. **Efeito das mudanças climáticas na agricultura do Cerrado**. In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (Ed.). *Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções*. Brasília, DF: Embrapa, v.1, cap. 7, p. 213-228.
- BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (Ed.). 2020. *Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções*. Brasília, DF: Embrapa, v. 1, cap. 7, p. 213-228.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal brasileiro.
- BRASIL – Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. 2020. **Quarta comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: 4ª Ed. p. 516.
- BRASIL – Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. 2016. **Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: p. 590.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **TerraClass: Bioma Cerrado**. 2020. Disponível em: <<https://www.terraclass.gov.br/geoportall-cerrado/#dados>>. Acesso em: 05 mar. 2023.
- CARVALHO, M. M. X.; NODARI, E. S.; NODARI, R. O. 2017. “Defensivos” ou “agrotóxicos”? História do uso e da percepção dos agrotóxicos no estado de Santa Catarina, Brasil, 1950-2002. *História, Ciências, Saúde, Manguinhos* v.24, n.1, p.75-91.
- COPERTINO, M.; PIEDADE, M. T. F.; VIEIRA, I. C. G.; BUSTAMANTE, M. 2019. Desmatamento, fogo e clima estão intimamente conectados na Amazônia. **Cienc. Cult.** vol.7, n.4, São Paulo.
- DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAÚJO FILHO, J. A.; SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE, M. R.; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.;
- DUTRA, R. M. S.; SOUZA, M. M. O. 2017. Cerrado, Revolução Verde e Evolução do Consumo de Agrotóxicos Uberlândia. **Sociedade & Natureza**, v. 29, n. 3, pp. 473-488.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017. **The future of food and agriculture Trends and challenges**. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2020.
- FERNANDES, N. e NUNES, B. 2017. **Em Miranorte, Rio Providência pede socorro; moradores cobram revitalização**. *Gazeta do Cerrado*. Disponível em: <<https://gazetadocerrado.com.br/em-miranorte-rio-providencia-pede-socorro-moradores-cobram-revitalizacao/>>. Acesso em: 12 fev. 2021.
- FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; BARBOSA, R. B. G.; LEITE, N. M. G.; RIBEIRO, G. N. 2021. Zoneamento agrícola de risco climático da região do médio curso do Rio Paraíba. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.3, p. 25275-25294.

FREITAS, R. E. e MENDONÇA, M. A. A. 2016. Expansão Agrícola no Brasil e a Participação da Soja: 20 anos. Rev. **Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 54, n. 03, p. 497-516.

GLOBAL AGRICULTURAL PRODUCTIVITY REPORT. 2017. A World of Productive Sustainable Agriculture. (GAP Report®) **Global Harvest Initiative**, Washington, D.C. Disponível em: <https://www.globalharvestinitiative.org/wp-content/uploads/2017/10/GHI_2017-GAP-Report_FINAL.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2017. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/pesquisa/24/76693>>. Acesso em: 08 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Indicadores IBGE. 2018. **Censo agropecuária 2017**. Rio de Janeiro.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). TOPODADTA, Banco de dados geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 08 out. 2021.

MARQUES, N. 2019. **Desenvolvimento regional e territorial do Tocantins**. Universidade Federal do Tocantins, EDUFT, Palmas. p. 214.

MATOS, A. P. VASCONCELOS, J. A. R.; SIMÃO, A. H. 2014. **Práticas de Cultivo para a Cultura do Abacaxi no Estado do Tocantins**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, P. 36.

MEIRELES, E. J. L.; VOLPATO, M. M. L.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C. 2007. Zoneamento agroclimático: um estudo de caso para o café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.28, n.241, p.50-57.

PAULA, M. M. de; MARTINS, A. P.; SCOPEL, I. 2016. **Geotecnologias Aplicadas à Análise Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Preto – Goiás/Brasil**. p. 1243 - 1256. In: SIONE, W. F.; VIVA MAYER, F. M.; ANTES, M. E. Y SERAFINI, M.C. XVII Simposio Internacional SELPER 2016 Geotecnologías, herramientas para la construcción de una nueva visión del cambio global y su transformación para un futuro sostenible.

PESSANHA, B. e MENEZES, F. A. F. 1985. **A questão dos agrotóxicos**. Agroanalysis, São Paulo, v. 9, n. 9, p. 2-22. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/view/56037>>. Acesso em: 26 Fev. 2020.

PEREIRA, M. A. B.; SIEBENEICHLER, S. C.; LORENÇONI, R.; ADORIAN, G. C.; SILVA, J. C.; GARCIA, R. B. M.; PEQUENO, D. N. L.; SOUZA, C. M.; BRITO, R. F. F. 2009. Qualidade do fruto de abacaxi comercializado pela Cooperfruto: Miranorte-TO. **Economia Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 4.

RADIN, B.; SCHÖNHOFEN, A.; TAZZO, I. F. 2017. Impacto da quantidade e frequência de chuva no rendimento da soja. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.25, n.1, p.19-26.

ROSER, M. Future Population Growth. 2019. **Our World in Data**. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/future-population-growth#licence>>. Acesso em: 15 fev. 2021.

SANTOS, A. C.; SALCEDO, S. H.. GALVÃO, S. R. S. 2008. Relações entre uso do solo, relevo e fertilidade do solo em escala de microbacia. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental** v. 12 n. 5.

SANTOS, R. S. 2017. A construção da rodovia BR-153 na fronteira e urbanização da cidade de Araguaína, Tocantins. **Novos Cadernos NAEA**. v. 20, n. 3, p. 97-114.

SANTOS, S. e ELOI, W.M. 2015. **Princípios de Hidrologia Ambiental**. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional das Águas e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. 2021. **Emissões por Município**. Disponível em: <<https://plataforma.seeg.eco.br/city/statistics?cities=true>>. Acesso em: 28 de ago. 2021.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. 1957. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913-920.

TEODORO, V. L.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J.; FULLER, B. B. O. 2007. Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **UNIARA**, v. 20, p. 137-155.

TOCANTINS. Decreto 2432, de 6 de junho de 2005. Regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos.

TOCANTINS - Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2021. **Base Vetorial Digital Temática do CAR**. Disponível em: <<https://www.to.gov.br/semarh/car/25wyp2vw2tsd>>. Acesso em: 08 out.

UNITED NATIONS - Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2017 **World Population Prospects: The 2017 Revision**, v.I, New York. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_Volume-I_Comprehensive-Tables.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2020.

USDA – United States Department of Agriculture. 2018. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade**. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf >. Acesso em: 5/11/2018.

USDA – United States Department of Agriculture. 2021. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade**. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf>. Acesso em: 14/10/2021.

VICTORIA, D. C.; BOLFE, É. L.; SANO, E. E.; ASSAD, E. D.; ANDRADE, R. G.; GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. 2020. **Potencialidades para expansão e diversificação agrícola sustentável do Cerrado**. In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (Ed.). 2020. **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções**. Brasília, DF: Embrapa, v. 1, cap. 7, p. 213-228.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. 1975 **Hidrologia aplicada**. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo. p. 239.

SISTEMAS DE DENÚNCIAS DE USO DA ÁGUA COMO FACILITADOR DO CONTROLE SOCIAL E INSTITUCIONAL NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA

¹Klaus Reitz, ²Irineu Tamaio

¹Universidade de Brasília, e-mail: reitz.klaus@gmail.com; ²Universidade de Brasília, e-mail: irineu.tamaio@gmail.com

Palavras-chave: Controle social. Denúncias. Usos das águas.

Resumo

Apesar de os sistemas de denúncias serem amplamente usados por órgãos gestores de recursos hídricos para fiscalizar os usos das águas, pouco se sabe sobre o papel desses sistemas na facilitação do controle social e institucional na administração pública. Essa forma de compreensão pode contribuir para o limite da capacidade e da eficácia e para a otimização desses sistemas. O propósito deste estudo é explorar a efetividade dos sistemas de denúncias de uso da água como facilitador do controle social e institucional na administração pública, considerando a participação social e o exercício da cidadania nos locais onde há águas superficiais.

O estudo recorreu à pesquisa bibliográfica para verificação da hipótese de haver efetividade dos sistemas de denúncias de uso da água como facilitador do controle social e institucional na administração pública, partindo de premissas gerais sobre espaços públicos e cidadania, até generalizações por uma abordagem dedutiva. Os resultados podem beneficiar aos órgãos gestores do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) com a indicação de condicionantes para a participação social e o exercício da cidadania nos locais onde há águas superficiais e o aprimoramento de sistemas de denúncias informais de irregularidades ou de infrações aos usos de recursos hídricos superficiais.

Como resultado da investigação constatou-se que a construção de sistemas sustentáveis no âmbito da água, não pode prescindir do controle social na gestão de recursos hídricos e da vida social em espaços públicos às margens das águas superficiais, onde a participação seja estimulada por programas de Educação Ambiental e sistemas de denúncias informais, que permitam aos cidadãos oportunidade de participação transversa em espaços públicos de órgãos colegiados do Singreh. A mera existência de sistemas de denúncias informais, idealizados e geralmente mantidos por órgãos gestores de recursos hídricos, apesar de facilitar o controle social e institucional na administração pública, não parece ser suficiente para garantir o efetivo controle social sobre a gestão de recursos hídricos. Falta a identificação e o mapeamento das áreas com acesso aos cidadãos às margens dos corpos hídricos superficiais, e a avaliação da usabilidade desses espaços, para a identificação de trechos de rios sob o efetivo controle social e para a identificação e delimitação dos espaços públicos para a participação cidadã dos agentes controladores da sociedade. Apesar de não exercerem domínio algum sobre as águas, é evidente o protagonismo dos municípios nesse zoneamento, o que confere complexidade ao tema.

Introdução

No Brasil, todas as águas superficiais ou subterrâneas são bens ou da União, ou dos Estados da federação. A Constituição Federal de 1988, no seu Art. 20 estabelece que são bens da União: “[...] III - os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais” (BRASIL, 1988). Já no Art. 26. da Constituição Federal está definido que se incluem entre os bens dos Estados: “[...] I - as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União” (BRASIL, 1988).

Todos os bens pertencentes aos Estados federados e à União são bens públicos. A Lei Federal 10.406/02, que institui o Código Civil, define no Art. 98, do Capítulo III – dos bens públicos, do Título Único - das diferentes classes de bens, do Livro II – dos bens, que “são públicos os bens do domínio nacional pertencentes às pessoas jurídicas de direito público interno; todos os outros são particulares, seja qual for a pessoa a que pertencerem” (BRASIL, 2002). Sendo todas as águas bens da União ou dos Estados e todos os bens dos Estados e da União bens públicos; por silogismo deduz-se que as águas superficiais e subterrâneas são bens públicos. O aspecto mais importante de um domínio público são os princípios que estruturam as interações entre as pessoas, que “garantem as bases de uma vida em comum entre indivíduos autônomos e independentes que, em tese, não se conhecem e não dispõem de outros laços” (GOMES, 2018, p. 116).

O meio ambiente é bem de uso comum do povo. No Art. 225 do Cap. VI – do meio ambiente, da Constituição Federal de 1988 é estabelecido que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988). Como a água é parte do meio ambiente, por silogismo hipotético, deduz-se que a água é bem de uso comum do povo. As águas, portanto, são bens públicos de uso comum do povo.

No Inciso I do Art. 1º da Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997, o legislador define na Política Nacional de Recursos Hídricos o fundamento de que a água é um bem de domínio público. Para Cunha et al. (2004) “o domínio eminente do Estado ou da União sobre seus bens diz respeito a auto-organização e autogoverno” (CUNHA et al., 2004, p. 4). Segundo

Machado (1994, apud CUNHA et al., 2004) “o domínio público, afirmado na Lei nº 9.433/97, não transforma o Poder Público Federal e Estadual em proprietário da água, mas o torna gestor desse bem, no interesse de todos” (MACHADO, 1994, apud CUNHA et al., 2004, p. 3). A água como bem de uso, deve ser compulsoriamente gerida como meio de satisfação direta de necessidades da coletividade, não devendo a Administração Pública vedar sua função primária de ser usada por alguém (MARRARA, 2017). Referindo-se à União, aos 26 Estados e ao Distrito Federal, existem 28 domínios das águas no Brasil (FREITAS, 2014; BATISTA, 2020), o que é considerado um fator de complexidade à gestão das águas.

Usando o exemplo de uma maçã, Zetland (2011b, p.17) explica que “a água é usada quando os bens são produzidos [quando a maçã é cultivada], não quando eles são consumidos. Para Gleick (2003) os usos consuntivos de água implicam a retirada de água do manancial, tornando o volume retirado indisponível para reutilização na mesma bacia. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) descreve como usos setoriais consuntivos da água no Brasil aqueles para as finalidades de irrigação, de abastecimento humano (urbano e rural), de abastecimento dos rebanhos, da indústria, da geração termelétrica e da mineração (ANA, 2022). Usos como navegação, pesca, recreação, turismo e lazer não captam água diretamente, ou seja, são não consuntivos (ANA, 2022b, p. 45). Para o CNRH (2022), de acordo com o § 2º do Art. 1º da Resolução 232 daquele conselho, de 22 de março de 2022, que aprovou o Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040, são considerados usos consuntivos da água o abastecimento humano, o abastecimento animal, a indústria, a mineração, a irrigação e a termoelectricidade.

Segundo Marrara (2017) para orientar a autoridade pública sobre como gerir o bem público quanto à ordem de preferência de usos primários e prever os usos preferenciais em casos de conflitos, “a legislação de águas (Lei 9.433/1997), ainda que não tenha apontado os diversos usos afetados, traz norma que impõe o uso preferencial em favor do consumo humano e da dessedentação de animais em situações de escassez” (MARRARA, 2017). Segundo Pompeu (2010) “quando não definido como insignificante, o uso das águas públicas depende de outorga do titular do respectivo domínio, o que ocorre por meio de ato administrativo, forma pela qual a Administração manifesta a sua vontade” (POMPEU, 2010, p.103). “A finalidade da outorga é assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício do direito de acesso à água na bacia hidrográfica” (ANA, 2022b, p. 83). A outorga de direito de uso das águas é um dos instrumentos de que a Política Nacional de Recursos Hídricos dispõe à gestão de recursos hídricos no Brasil.

Nas ações de fiscalização, são realizadas atividades que envolvem “o acompanhamento e controle sistemático de usos da água, a verificação de irregularidades, a apuração de infrações, a determinação de medidas corretivas e a aplicação de penalidades, quando o usuário cometer alguma das infrações previstas em Lei” (ANA, 2022b, p.89). A apuração de denúncias informais (aquelas que não são qualificadas e que requerem apuração) vem sendo realizada nas atividades de fiscalização de usos de recursos hídricos e, segundo ANA (2022b), no nivelamento proposto para a variável 4.2 Fiscalização, do Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas (Progestão), a capacidade de apuração de denúncias dos Estados está vinculada aos níveis mais elementares (nível 3) preconizados para as tipologias mais básicas de gestão (tipologias C e D) almejadas pelo programa.

Controlar significa “verificar se a realização de uma determinada atividade não se desvia dos objetivos ou das normas e princípios que a regem [...] pressupõe examinar se a atividade governamental atendeu à finalidade pública (em oposição às finalidades privadas), à legislação e aos princípios básicos aplicáveis ao setor público” (ENAP, 2015, p. 5). Para Santos (2002, p. 14) o controle da Administração Pública pode ser concebido como “a fiscalização exercida pelo Poder Público (controle estatal) ou pelo cidadão (controle social) quanto à atuação dos diversos órgãos que compõem a estrutura do Estado”.

Segundo Lima (2011), em relação ao tempo em que for realizado, o controle pode ser dividido entre controle prévio, concomitante ou subsequente e as denúncias se relacionam ao controle concomitante:

“[...] o controle prévio tem finalidade preventiva e é, essencialmente, realizado pela auditoria interna ou pelos sistemas de controle interno da organização que orientam os gestores e agentes a corrigir falhas e adotar os procedimentos recomendáveis. O controle concomitante é exercido, via de regra, por provocações externas à organização: denúncias, representações, auditorias, solicitações dos órgãos de controle e do Ministério Público. O controle subsequente tem o objetivo de proceder a avaliações periódicas, como nas prestações anuais de contas, e possui conteúdo corretivo e, eventualmente, sancionador (LIMA, 2011, p. 4)”.

Já com respeito ao posicionamento do órgão controlador, Lima (2011, p. 6) classifica o controle em interno - “quando o agente controlador integra a própria administração objeto do controle” ou externo. No Art. 70 da Constituição Federal (CF) de 1988 são estabelecidos o controle externo e o sistema de controle interno da seguinte forma:

“[...] A fiscalização contábil, financeira, orçamentária, operacional e patrimonial da União e das entidades da administração direta e indireta, quanto à legalidade, legitimidade, economicidade, aplicação das subvenções e renúncia de receitas, será exercida pelo Congresso Nacional, mediante controle externo, e pelo sistema de controle interno de cada Poder” (BRASIL, 1988).

No Art. 71 da CF de 1988, a constituinte estabeleceu que o controle externo é “exercido com o auxílio do Tribunal de Contas da União” (BRASIL, 1988). No mesmo Art. 71, definem-se diversas competências ao controle externo, dentre as quais a de “representar contra os responsáveis por órgãos ou entidades sob sua fiscalização” (ALVES, 2013, p. 467) por quaisquer irregularidades ou abusos apurados” (BRASIL, 1988, Inciso XI do Art. 71). Na esfera municipal, “o controle externo é exercido

pela Câmara de Vereadores, enquanto nos estados, pela Assembleia Legislativa, ambos com o auxílio dos Tribunais de Contas dos Estados, ou, caso instituídos, dos Tribunais de Contas dos Municípios” (ENAP, 2015, p. 6). Segundo Lima (2011, p. 195) “tal representação difere da denúncia em dois aspectos essenciais: a denúncia pode ser formulada por qualquer cidadão; a representação apenas pelas pessoas legitimadas para tanto; e a denúncia é um direito, já a representação é um dever”.

Sobre o sistema de controle interno, o Art. 74 da CF de 1988 estabelece que os Poderes manterão, de forma integrada, sistema de controle interno. Na esfera federal, a Controladoria-Geral da União (CGU) é o órgão central do Sistema de Controle Interno do Poder Executivo Federal (ENAP, 2015, p. 7). O texto constitucional estabelece ao sistema de controle interno as finalidades de: avaliar o cumprimento das metas previstas no plano plurianual, a execução dos programas de governo e dos orçamentos da União; comprovar a legalidade e avaliar os resultados, quanto à eficácia e eficiência, da gestão orçamentária, financeira e patrimonial nos órgãos e entidades da administração federal, bem como da aplicação de recursos públicos por entidades de direito privado; exercer o controle das operações de crédito, avais e garantias, bem como dos direitos e haveres da União; e apoiar o controle externo no exercício de sua missão institucional.

Para Santos (2002) o controle social está na modalidade de controle não-estatal externo, visto que o espaço público é mais amplo que o estatal e o agente controlador é a sociedade civil organizada ou cidadãos e está situado em posição de exterioridade em relação à Administração Pública. Segundo Santos (2002) denúncias são instrumentos jurídicos colocados à disposição de cidadãos para que individualmente possam atuar como agentes controladores.

Para Santos (2002, p.18) “o controle social é um mecanismo de manifestação da cidadania ativa e é exercido por meio da participação popular soerguendo-se como forma de expressão da democracia direta, pois se trata da participação direta do cidadão”. “O controle social é exercido pelo cidadão diretamente ou pela sociedade civil organizada, e se enquadra como modalidade de controle externo, ao lado do controle judicial, controle parlamentar ou político e do controle exercido diretamente pelo Tribunal de Contas” (SANTOS, 2002, p.24). O autor salienta que “o controle exercido pela sociedade se manifesta por iniciativas individuais dos cidadãos, pela participação em audiências públicas e por meio de órgãos colegiados, tais como conselhos gestores de políticas públicas criados para a fiscalização e acompanhamento de transferências financeiras da União para os Estados e Municípios” (SANTOS, 2002, p. 18).

Apesar de os sistemas de denúncias serem amplamente usados por órgãos gestores de recursos hídricos para fiscalizar os usos das águas, pouco se sabe sobre o papel desses sistemas na facilitação do controle social e institucional na administração pública. Essa falta de compreensão limita nossa capacidade de avaliar a eficácia e de otimizar esses sistemas. O propósito deste estudo é explorar a efetividade dos sistemas de denúncias de uso da água como facilitador do controle social e institucional na administração pública, considerando a participação social e o exercício da cidadania nos locais onde há águas superficiais.

Material e Métodos

Neste estudo, foi realizada pesquisa bibliográfica para verificação da hipótese de haver efetividade dos sistemas de denúncias de uso da água como facilitador do controle social e institucional na administração pública, partindo de premissas gerais sobre espaços públicos e cidadania, até generalizações por uma abordagem dedutiva. Os resultados podem beneficiar aos órgãos gestores do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) com a indicação de condicionantes para a participação social e o exercício da cidadania nos locais onde há águas superficiais e o aprimoramento de sistemas de denúncias informais de irregularidades ou de infrações aos usos de recursos hídricos superficiais.

Resultados e Discussão

Segundo Gomes (2018) desde os anos 2000 as discussões sobre a definição da expressão espaço público ganham proeminência e aos poucos se consolida uma autonomia temática e o reconhecimento como um campo de pesquisa geográfica. Para o autor, “o estatuto público possui determinadas características das quais derivam propriedades [...] e depende de como esse espaço é concebido, usado e vivido” (GOMES, 2018, p. 115). Para o autor, na medida em que a estrutura que mantém as pessoas unidas e cooperando é formada por um conjunto de disposições que garantem a independência de julgamento e de manifestação das pessoas consideradas nesse conjunto, forma-se um corpo político e um público estruturado no domínio público. O domínio público possui, como aspecto mais importante, princípios que estruturam as interações entre as pessoas, que “garantem as bases de uma vida em comum entre indivíduos autônomos e independentes que, em tese, não se conhecem e não dispõem de outros laços” (GOMES, 2018, p. 116).

Nos espaços públicos “as identidades estão expostas, comunicadas, interpretadas, compreendidas e transformadas [...] locais [são] estratégicos para as lutas da democracia e da cidadania” (PÉREZ, 2016, p. 4). Segundo Gomes (2018) poucos autores atribuem significado político à simples permanência e uso de espaços públicos e “os espaços públicos seriam só aqueles onde há uma finalidade dirigida a construir e controlar as regras da vida pública – aparelho burocrático, assembleias, câmaras, comícios etc. Nos comitês de bacias hidrográficas temos claramente um exemplo de arena política na qual o espaço público é franqueado a um “colegiado formado setorialmente por representantes do ‘poder público’, dos ‘usuários de água’ e da ‘sociedade civil’” (SILVA, 2021, p. 77), para que possam se expressar e deliberar sobre os usos das águas em toda a bacia hidrográfica sob influência do comitê, em que pese a necessária mobilização do Estado para a efetiva implementação da participação (ABERS; KECK, 2009).

Segundo Pompeu (2010), para situar os atos administrativos no mundo jurídico é importante distinguir primeiramente os eventos com e sem a participação humana, estando afeto às ciências especulativas aqueles sem a participação humana que são denominados *factos*. Já aqueles eventos de que o homem participa são denominados *atos* (POMPEU, 2010). “Está-se,

portanto, diante do *mundo dos fatos* e do *mundo dos atos*” (POMPERU, 2010, p. 104). Já no âmbito dos eventos nos quais os homens participam, diferenciam-se os eventos nos quais os homens são *expectadores*, daqueles nos quais são *atores* “que interferem no mundo natural e encerram dentro de si, a ocorrência de fenômenos físicos e psicológicos. Seus pensamentos enquanto não manifestados são questões de *foro íntimo* e não afetam o mundo exterior. A partir do momento em que se exteriorizam, o homem passa a interferir na natureza e no comportamento de outros homens, surgindo, então, algo por ele criado” (POMPEU, 2010, p. 104). Quando há alteração de direitos, do *mundo da natureza* deriva o *mundo jurídico*, composto de *fatos* e *atos* jurídicos (POMPEU, 2010). O uso das águas superficiais e as denúncias informais de usos dessas águas são atos político da vida social que ocorrem em espaços públicos distantes do parlamento das águas, onde a denúncia nasce da observação e da vivência, materializando a participação cidadã: “permanecer nos espaços públicos, com todos os direitos que eles asseguram, é um exercício político na vida social e afirmar a livre expressão da heterogeneidade nestes espaços constitui outro fundamento da vida democrática”. De acordo com Jacobi (2003, p. 333) “a participação assume um papel cada vez mais relevante na denúncia das contradições entre os interesses privados e os interesses públicos na construção de uma cidadania ambiental”.

Por outro lado, segundo Gomes (2018) a vida pública vernacular e seus espaços cotidianos estão no campo dos lugares públicos e não dos espaços públicos. Porém, para Perez (2016, p.2) “democracia e cidadania não são uniformes em todos os lugares, mantém uma assimetria no espaço que deve ser estudada, para não [se] cair em falsas generalizações”. A temática da água pode ser pensada “como um fato social total, pelas imbricações sociais, políticas, culturais, econômicas e físico-naturais implicadas nos seus usos e percepções” (SILVA, 2021, p. 75). A noção de faixa de areia de uma praia fluvial como espaço público é mais evidente no contexto urbano, onde é fácil imaginar a reunião de pessoas com o pretexto do lazer, por exemplo. Segundo Albuquerque (2006) as faixas de praia e de rio são espaços livres naturais que se desenvolvem na área litorânea ou às margens dos rios, podendo conter equipamentos de esportes e de lazer contemplativo, e, sendo naturais, são espaços livres públicos. Na zona urbana dos municípios, segundo Londe e Mendonça (2014), as águas superficiais estão inseridas no sistema de espaços públicos livres de construção. Não são lugares públicos, pois dali podem se originar denúncias.

Espaços públicos “não são produtos dados e acabados, uma instituição que, uma vez estabelecida, traria a paz da consensualidade e a perfeita igualdade nas sociedades democráticas” (GOMES, 2018, p. 17). Em vez disso, para Gomes (2018), nos espaços públicos os conflitos aparecem, em que pesem a normatização, a heterogeneidade de interesses e a comunicação, como componentes essenciais. A Política Nacional de Recursos Hídricos define aos comitês de bacias hidrográficas a competência para arbitrar em primeira instância em conflitos de usos de recursos hídricos, motivo pelo qual, parece natural que as denúncias sejam levadas ao conhecimento desses comitês. Entretanto, atualmente, as denúncias vêm sendo direcionadas aos órgãos gestores de recursos hídricos, os quais exercem o controle, por ações de fiscalização, em sistemática totalmente alheia aos comitês de bacias hidrográficas.

Segundo Jacobi (2006, p.1), “os impactos das práticas participativas na gestão ambiental, apesar de controversas, apontam para uma nova qualidade de cidadania, que institui o cidadão como criador de direitos para abrir novos espaços de participação sociopolítica”. Nesse contexto, Silva (2021, p.77) caracteriza a alocação negociada de água como “uma negociação política fundamentada em dados técnicos” que ocorre em espaços públicos, onde “os atores sociais debatem e disputam as quantidades de água a serem disponibilizadas para múltiplos tipos de usos”, uma adaptação da governança das águas para o enfrentamento de crises hídricas por escassez de água.

Para que a fiscalização se beneficie da cidadania participativa em sistemas de denúncias informais, é imprescindível que os locais onde há águas superficiais possam ser caracterizados como espaços públicos de participação, nos quais são imprescindíveis plenas condições de acesso e usabilidade. A usabilidade dos espaços públicos relaciona-se com o conforto e eficiência e com a acessibilidade para a fácil utilização desses espaços, respeitadas as necessidades e exigências dos usuários (VERGARA et al., 2020).

Para Santos (2002, p.15) “o espaço público pode ser estatal e não-estatal: estatal é aquele em que o Estado faz parte, ao passo que não-estatal é o espaço em que atuam organizações sem fins lucrativos, de direito privado, voltadas para o interesse público e não para o lucro ou consumo privado”. Nesse contexto é importante registrar que as águas particulares foram extintas na Constituição de 1988; porém, segundo Silva (2021, p. 83), “a legislação criou o caráter público da água, mas não tocou nas questões prementes da propriedade da terra e do acesso aos mananciais. Tal fato tem sido vetor de inúmeros conflitos e de situações de desabastecimento de algumas localidades.”

Considerações Finais

O controle social na gestão de recursos hídricos não pode prescindir a vida social em espaços públicos às margens das águas superficiais, onde a participação seja estimulada por programas de educação ambiental e sistemas de denúncias informais, que permitam aos cidadãos oportunidade de participação transversa em espaços públicos de órgãos colegiados do Singreh. A mera existência de sistemas de denúncias informais, idealizados e geralmente mantidos por órgãos gestores de recursos hídricos, apesar de facilitar o controle social e institucional na administração pública, não parece ser suficiente para garantir o efetivo controle social sobre a gestão de recursos hídricos. Falta a identificação e o mapeamento das áreas com acesso aos cidadãos às margens dos corpos hídricos superficiais, e a avaliação da usabilidade desses espaços, para a identificação de trechos de rios sob o efetivo controle social e para a identificação e delimitação dos espaços públicos para a participação cidadã dos agentes controladores da sociedade. Apesar de não exercerem domínio algum sobre as águas, é importante registrar o protagonismo dos municípios nesse zoneamento, o que confere complexidade ao tema.

Agradecimentos

Este estudo foi elaborado no âmbito do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua 2022, Projeto CAPES/ANA/AUXPE N° 2717/2015, criado e fomentado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), sob coordenação geral da Universidade Estadual Paulista - UNESP, em parceria com 14 Instituições de ensino superior nacionais, dentre as quais está a Universidade de Brasília (UnB), campus Planaltina, polo ao qual os autores estão diretamente vinculados e agradecem, a todos os envolvidos, o apoio técnico científico aportado até o momento, especialmente o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001.

Referências Bibliográficas

Abers, R. N.; Keck, M. E. 2009. Mobilizing the State: The Erratic Partner in Brazil's Participatory Water Policy. *Politics & Society*, v. 37, n. 2, p. 289-314.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). 2022a. Boletim Progestão: boletim trimestral do programa. 32. ed. Brasília: ANA.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). 2022b. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: relatório pleno. Brasília: ANA.

Brasil. 1988. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília: Imprensa Nacional.

Brasil. 1988. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília: Presidência da República.

ENAP - Escola Nacional de Administração Pública. 2015. Controle Social: Módulo 1, Introdução e Conceitos Básicos. Brasília, p. 1-12.

Esteves, J. P. 2003. Espaço público e democracia: comunicação, processos de sentido e identidades sociais. Edições Colibri.

Lima, L. H. 2011. Controle externo. Rio de Janeiro: Elsevier.

Londe, P. R.; Mendonça, M. das G. 2014. Espaços livres públicos: relações entre meio ambiente, função social e mobilidade urbana. *Caminhos de Geografia*, v. 15, n. 49, p. 138-151.

Machado, C. (Org.) 2013. Constituição Federal Interpretada: artigo por artigo, parágrafo por parágrafo. 4ª. ed. Barueri, p. 467.

Monteiro, R. P. 2015. Análise do sistema de controle interno no Brasil: objetivos, importância e barreiras para sua implantação. *UFSC*, v. 12, n. 25, p. 159-188.

Pérez, G. P.; Luna Gómez, L. A. 2016. Cidade e cidadãos: meio ambiente e transformação do espaço público. *Revista Vozes dos Vales*, n. 10, ano V.

Pompeu, C. T. 2010. Direito de Águas no Brasil. 2. ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais.

Santos, J. L. 2002. O TCU e os controles estatal e social da administração pública. *Revista TCU*, v. 33, n. 94, p. 13-47.

Silva, D. C. da. 2021. Dilemas na gestão das águas de nascentes no Cariri, Ceará, Brasil (2014 - 2016). *Agua y Territorio*, n. 18, p. 73-88.

Vergara, L. G. L.; Merino, G. S. A. D.; Merino, E. A. D.; Tissot, J.; Modesti, I. B. de. 2020. Usabilidade do espaço público: A percepção ao risco de quedas em usuários idosos no município de Balneário Camboriú/SC. *Revista Projetar*, v. 5, n. 3.

Zetland, D. 2011. The end of abundance: economic solutions to water scarcity. Amsterdam: Aguanomics Press.

PROSPECCIÓN SISTEMÁTICA DE SITIOS PARA PRESAS Y EMBALSES MEDIANTE LA DETERMINACIÓN AUTOMÁTICA DE SU GEOMETRÍA

¹Sergio Armando Trelles Jasso, ²Ricardo Sebastián Sandoval Garzón

¹HIDROTEC, S. de R.L. MI., atrelles10@gmail.com; ²Escuela Politécnica Nacional (EPN), ricardo.sandoval@epn.edu.ec

Palabras clave: presas y embalses; prospección de sitios; potencial hidroeléctrico

Resumen

La evaluación objetiva de los beneficios, costos e impactos de presas y embalses nuevos requiere determinar la geometría de alternativas de localización, orientación y altura de presas; así como las áreas inundadas y volúmenes de embalse correspondientes. En una cuenca hidrográfica extensa puede haber miles de sitios como alternativas de cierre; cada uno con decenas de alternativas de altura de presa. La prospección sistemática de sitios para presas y embalses consiste en la generación exhaustiva de alternativas para las que se determina su geometría. Esto permite la selección racional de sitios y el dimensionamiento de presas y embalses de propósitos múltiples, particularmente para hidroenergía. Se presenta la aplicación *GeoDamRes* programada en R que recorre el archivo matricial de la red de corrientes, extraída de un modelo digital de elevación (MDE); procediendo en cada minicuenca, en cada celda o sitio del cauce y en cada altura de presa. En cada sitio se determina la orientación de la presa que hace mínima su área vertical para diferentes alturas; y se determina la geometría del embalse correspondiente. Luego, se determina un índice de eficiencia geométrica para cada alternativa. El usuario puede indicar los intervalos de exploración de la red de corrientes (horizontal), y de altura de presa (vertical), la altura límite de las presas, y el criterio para omitir sitios con laderas de poca pendiente, entre otros. Los resultados se obtienen en forma tabular, gráfica y geográfica. Esta técnica se ha aplicado a la cuenca del río Paute en Ecuador, que drena 6,435 km², con un MDE con celda de 90 metros.

Introducción

La construcción de presas origina la creación de embalses que son benéficos para la gestión sostenible de los recursos hídricos. Por otra parte, las presas y los embalses implican costos y efectos no deseados. La evaluación objetiva de los beneficios, costos e impactos de presas y embalses requiere determinar la geometría de las alternativas de localización, orientación y altura de presas; así como las áreas inundadas y volúmenes de embalse correspondientes (Fig. 1).

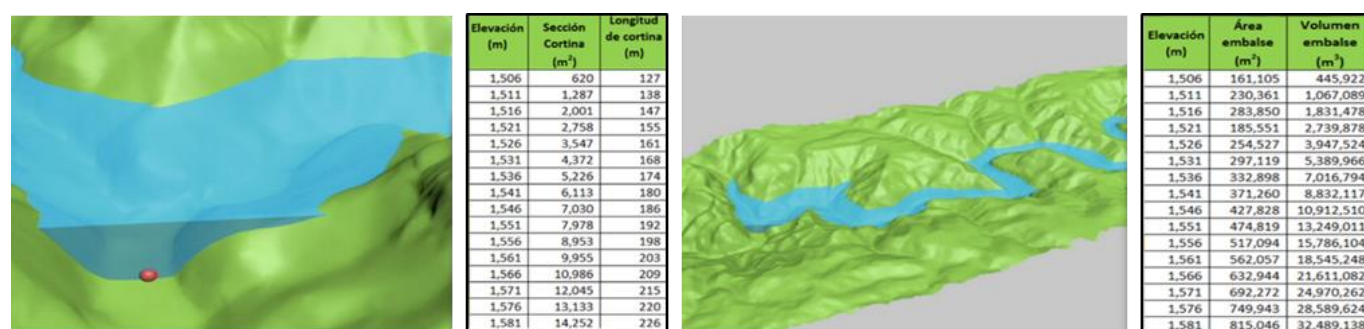


Figura 1. Geometría de presa y de embalse

Se han difundido ampliamente diversos procedimientos manuales o asistidos por una herramienta geomática para determinar la geometría de un embalse. Sin embargo, en una cuenca hidrográfica extensa suele haber miles de sitios sobre la red de corrientes que pueden ser considerados como alternativas de cierres o boquillas para la localización de presas y embalses. En cada sitio se pueden considerar decenas de alternativas de altura de presa.

La prospección sistemática de sitios para la construcción de presas y embalses se basa en la generación automática exhaustiva de alternativas de localización de presas con diferentes alturas, para las que se determina su geometría. Este es un proceso que se puede abordar eficientemente con la programación de aplicaciones geomáticas que aprovechan la información geográfica matricial (*raster*) de modelos digitales de elevación (MDE) o, preferentemente, de terreno (MDT).

Se presenta aquí la aplicación *GeoDamRes*, con algoritmos programados que recorren el archivo matricial de la red de corrientes de una cuenca hidrográfica, extraída de un MDE; procediendo en cada tramo de corriente y en cada celda (*pixel*) del cauce. Esto permite la selección de sitios y el dimensionamiento racional posterior de presas y embalses en una cuenca hidrográfica.

Materiales y métodos

Para representar el relieve de la cuenca, se ha utilizado el MDE MERIT Hydro (Yamazaki et al, 2017, 2019), que es adecuado para aplicaciones hidrológicas, pues la elevación de cada celda en la red de corrientes es igual o desciende aguas abajo. Su resolución de celda es cercana a 90 m.

Se ha elegido como área de prueba la cuenca del río Paute en Ecuador, que drena una superficie 6,435.36 km² (Fig. 2). La resolución del MDE es de 92.412 m en esa región (Fig. 3).

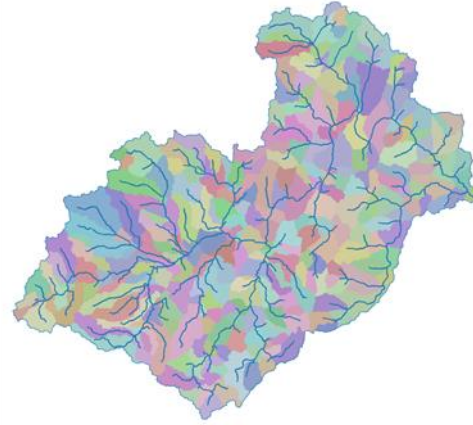
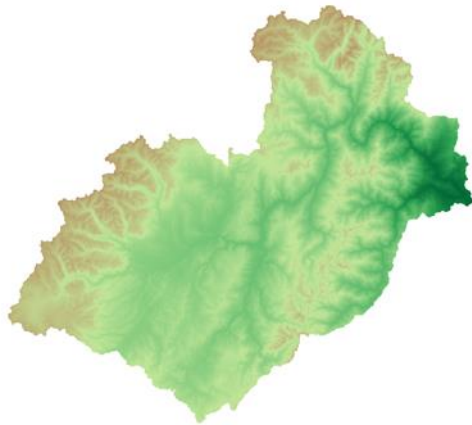


Figura 2. MDE de la cuenca hidrográfica Paute **Figura 3. Tramos de corriente y minicuenas**

Se utilizan como entrada los resultados generados por la aplicación de análisis fisiográfico IPH-HydroTools (Siqueira et al, 2016), que incluyen archivos matriciales de la cuenca hidrográfica: de la red de corrientes discretizada en forma detallada y homogénea por confluencias de tramos, cada uno con su minicuenca en relación biunívoca (Fig. 3); de la red de corrientes con las celdas acumuladas aguas arriba de cada celda de la red de corrientes (CC), con lo que se determina su área drenada. Asimismo, la tabla de topología que indica para cada tramo y minicuenca, la minicuenca aguas abajo.

Ambiente informático

La programación de la aplicación *GeoDamRes* se ha desarrollado en lenguaje interpretado R 4.2.1 (R Foundation, 2022), por la ventaja que da su rapidez de ejecución y la disponibilidad de herramientas geoespaciales de terceros, entre otras. Los resultados geográficos en formato matricial y vectorial son utilizables con el manejador de uso libre QGIS 3.26.1 (QGIS, 2022), entre otros.

Descripción de la aplicación

La aplicación *GeoDamRes* procesa una minicuenca y su tramo de corriente a la vez. En el tramo recorre aguas abajo cada sitio o celda del cauce. En cada celda se procede por intervalos de altura, desde la elevación del cauce hasta una altura límite, a determinar la geometría de la presa y del embalse. En algunas celdas se omite la determinación de la geometría en condiciones definidas por el usuario. Así se procesan todas las celdas no omitidas de todos los tramos y termina la ejecución.

Inicialmente, se verifica que las celdas de cada tramo de corriente tengan elevación igual o menor en sentido aguas abajo, con base en su valor de área drenada. Luego, se numeran secuencialmente aguas abajo y se determina su cadenamamiento desde el inicio del tramo.

La aplicación tiene variables que permiten al usuario indicar al inicio de su ejecución las condiciones deseadas de análisis. Se pueden prospectar sitios en una, varias o todas las minicuenas. Se pueden considerar todas las celdas de la red de corrientes o una parte de ellas, definiendo el intervalo horizontal de exploración Δh (Fig. 4).

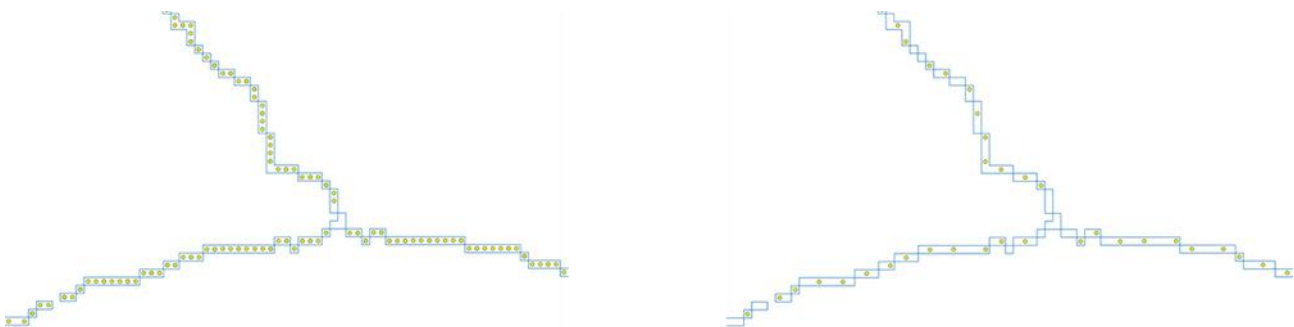


Figura 4. a) Intervalo $\Delta h = 90$ m; b) $\Delta h = 300$ m

El área de la proyección vertical de la presa es determinante para su costo, y está correlacionada de la longitud de su corona. Entonces, en cada celda del cauce se determina la orientación de la presa, o eje de la cortina, que hace mínima la longitud de la corona a una altura de orientación indicada H_o (Fig. 5). Para ello, se determina el azimut de los vectores con distancia mínima entre la curva de nivel Z y el punto CC en el cauce, tanto en la margen izquierda (MI), como en la margen derecha (MD). Luego, se calcula el azimut de la presa de margen izquierda a derecha como el promedio ponderado de las distancias mencionadas. Se registra en la tabla de identificación, localización y orientación de la presa.

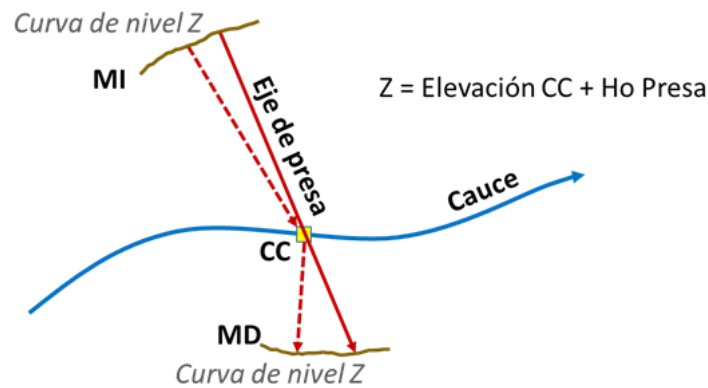


Figura 5. Orientación del eje de presa

Se extrae el perfil longitudinal del terreno en el eje de la presa, mediante la intersección con el MDE. Antes de proceder a calcular la geometría en un sitio o celda del cauce, se verifica la pendiente mínima de laderas, de otra forma se omite el sitio (Fig. 6, Ec. 1).



Figura 6. Criterio de pendiente de laderas

$$D_{max} = 2 \cdot H_v / S_{min} \quad (1)$$

Donde D_{max} es la distancia horizontal máxima (m) entre las laderas; H_v es la altura de verificación (m) de esa distancia; y S_{min} es el valor mínimo aceptable de pendiente media (%) de las laderas.

La altura de exploración vertical de la geometría de la presa se limita por el mínimo de un conjunto de criterios (Ec. 2). Éstos pueden ser constantes predefinidas por el usuario de aplicación general, como la altura máxima de construcción por la tecnología disponible (H_c), o una altura de proyecto seleccionada (H_y). O bien, por la elevación del parteaguas más bajo en el eje de presa (H_t), ya sea en la margen izquierda o derecha, que es específico de cada celda (Fig. 7).

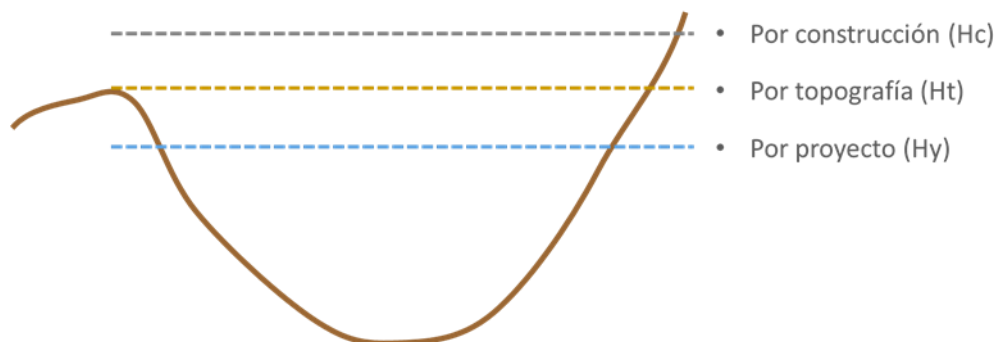


Figura 7. Altura límite de exploración de presa

$$H_{max} = \text{Min} (H_c, H_y, H_t) \quad (2)$$

Se determina la geometría de la sección vertical de la presa, con un intervalo vertical de exploración Δv de 1 m, o de sus múltiplos, hasta el límite H_{max} (Figs. 8, 9).

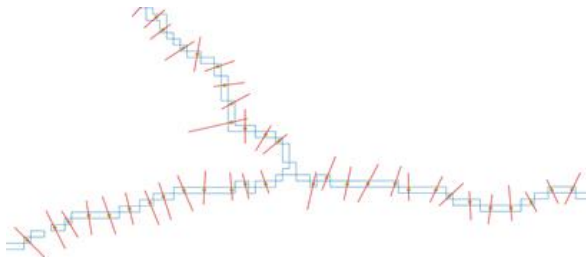


Figura 8. Ejes de presas orientados

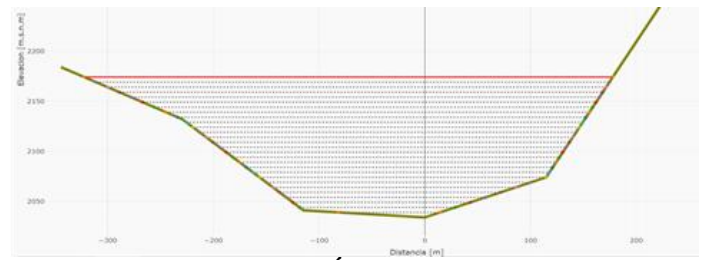


Figura 9. Área de presa

El área de la sección vertical transversal al tramo de corriente, que representa el área de la presa o cortina, se determina con Fórmula del área de Gauss (Ec. 3). Se registra en la tabla de alternativas de presas los valores de elevación, altura, área de la sección transversal y longitud de corona.

$$A = \frac{1}{2} (\sum_{i=1}^{n-1} x_i y_{i+1} + x_n y_1 - \sum_{i=1}^{n-1} x_{i+1} y_i - x_1 y_n) \quad (3)$$

Donde A es el área del polígono (m^2), n es el número de lados del polígono; y (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$ son los vértices del polígono de la sección, es decir las distancias al cauce (m) y las elevaciones del MDE (msnm).

En paralelo, se determina por intervalos Δv la geometría de los embalses correspondientes a las alternativas de altura de presas. El volumen entre dos curvas de nivel en un embalse, se asemeja al de un tronco de pirámide o cono con bases paralelas (Fig. 10), y se calcula con la media heroniana (Ec. 4).

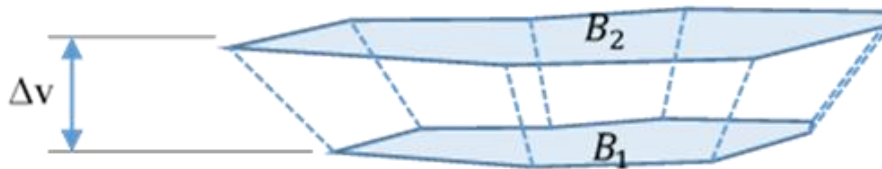


Figura 10. Volumen troncocónico de embalse

$$V = 1/3 \Delta v (B_1 + B_2 + \sqrt{B_1 \cdot B_2}) \quad (4)$$

Donde V es el volumen del embalse entre las elevaciones 1 y 2 (hm^3); B_1 y B_2 son las áreas horizontales del embalse en las elevaciones 1 y 2 (ha); Δv es la diferencia entre las elevaciones 1 y 2 (m), es decir la altura de la pirámide trunca. Se registra en la tabla de alternativas de embalse los valores de elevación, altura, área inundada y volumen de embalse.

Se determina el indicador de eficiencia geométrica (I_{eg}) para cada alternativa de localización y altura de presa y embalse (Ec. 5), y se registra en la misma tabla.

$$I_{eg} = V_e / A_p \quad (5)$$

A solicitud del usuario, se obtienen tablas de localización y de geometría de las alternativas de presas y embalses, así como gráficos de diferentes tipos y mapas que pueden ser analizadas con las funciones de R y sus bibliotecas, o exportadas a otras aplicaciones (Figs. 11, 12, 13, 14, 15).

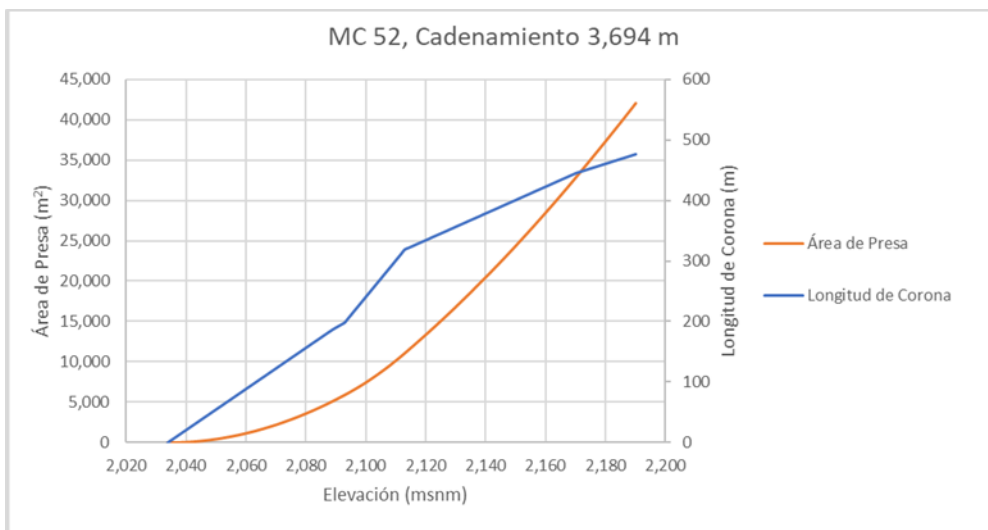


Figura 11. Geometría de presa Mazar

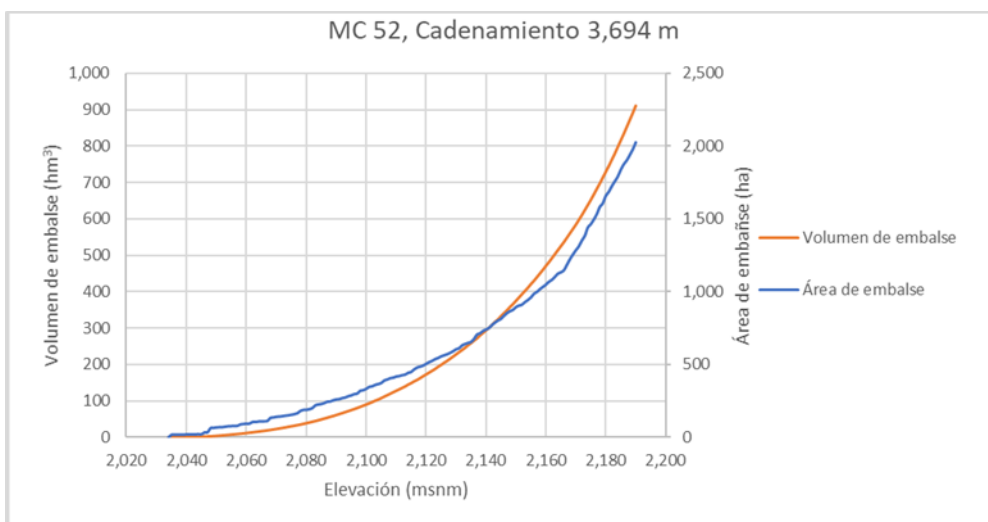


Figura 12. Geometría de embalse Mazar

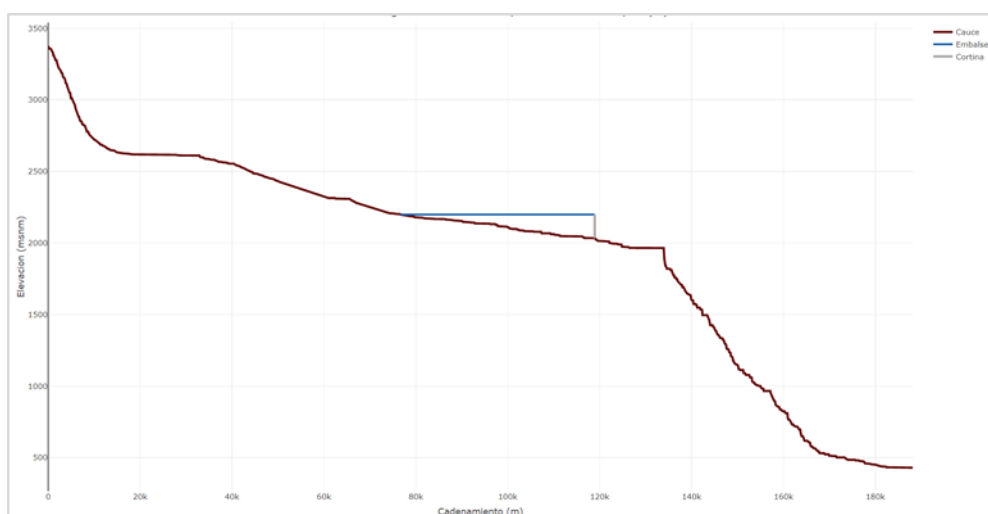


Figura 13. Perfil de corriente principal de presa Mazar

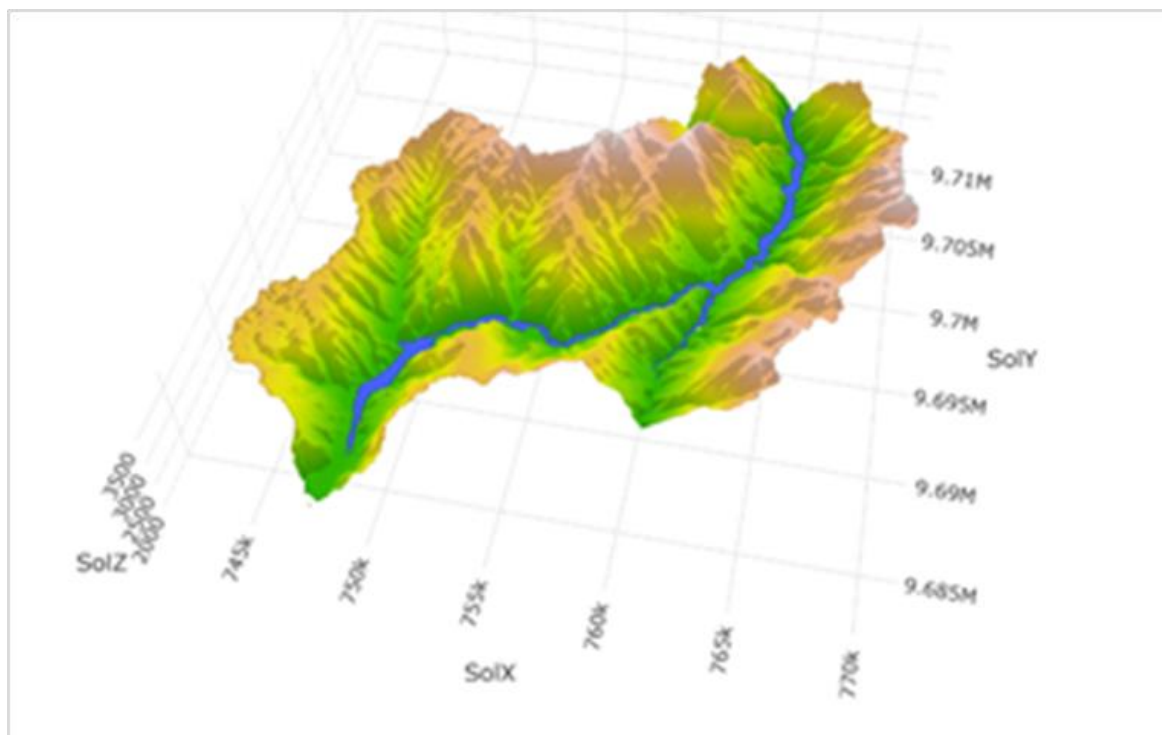


Figura 14. Vista 3D de presa Mazar y MDE

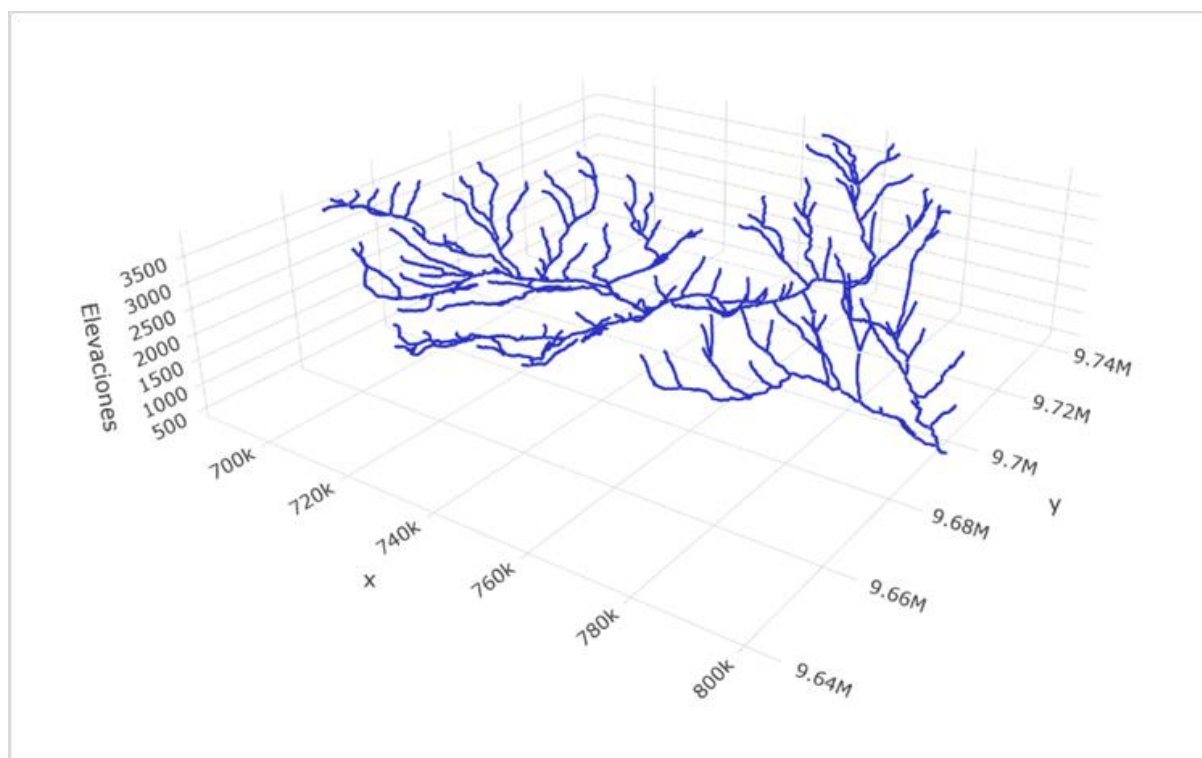


Figura 15. Vista 3D de red de corrientes del río Paute

Resultados

GeoDamRes se ha aplicado en forma piloto a la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador, que tiene una extensión de 6,435 km². Su MDT, con resolución de 92.417 m, fue discretizado en forma homogénea y detallada en 323 minicuecas con superficie media de 20 km². La red de corrientes resultante tiene 323 tramos, con longitud total de 1,432 km y media de 4.433 km. La red de corrientes completa tiene 13,758 celdas, que es el máximo de sitios que podría ser explorado.

Se ejecutó la aplicación en un computador portátil con procesador RYZEN 5 4600 H @3.00 GHz, considerando la prospección exhaustiva y parcial. La tabla 1 muestra las estadísticas correspondientes.

En el primer caso, con tiempo de 19.15 h, el intervalo horizontal de exploración fue de 90 m, en todas las celdas posibles; el intervalo vertical fue 1 m; la pendiente mínima de laderas fue de 10%; y la altura limitante de presa fue la constructiva de 250 m o la topográfica. En el segundo caso, con tiempo de 5.28 h, el intervalo horizontal de exploración fue de 180 m, aproximadamente cada dos celdas posibles; el intervalo vertical fue 2 m; la pendiente mínima de laderas fue de 10%; y la altura limitante de presa fue la de proyecto de 120 m o la topográfica.

Tabla 1. Estadísticas de ejecución de *GeoDamRes*

Variable	Prospección exhaustiva	Prospección parcial
Tiempo de ejecución (s)	68,927	18,994
Sitios analizados	11,726	6,032
Alternativas encontradas	2,148,594	185,560
Celdas de corriente omitidas	2,032	7,726
Altura media de presa (m)	182.23	59.50
Longitud media de corona (m)	1,370.86	444.47

Discusión

La aplicación *GeoDamRes* forma parte de un conjunto más amplio de herramientas en desarrollo, útiles en la gestión de recursos hídricos, particularmente en la prospección sistemática del potencial hidroeléctrico de cuencas hidrográficas.

Para mejorar la representación del relieve de la cuenca hidrográfica, es enteramente posible utilizar como entrada de la aplicación un MDE más detallado, por ejemplo, con resolución de celda de 10 metros. Con ello, se tendrá mayor precisión en la geometría de presas y embalses.

En una etapa siguiente de desarrollo de la aplicación se añadirán criterios limitantes de la altura de presa, incluyendo: por reglamento (*Hr*), por área de embalse (*Ha*), por volumen de embalse (*He*), por hidrología (*Hh*), por potencia (*Hp*), por uso de suelo restringido (*Hs*), y por coincidencia con obra de infraestructura (*Hi*). El primer criterio es predefinido y de aplicación general. Los criterios restantes son específicos de la geometría de cada embalse, así como del análisis geoespacial en cada celda, con rasgos geográficos adicionales de entrada,

En etapas posteriores de desarrollo, se contempla incluir metodologías complementarias para estimar en forma aproximada, a nivel de planeación, el volumen de azolves, el volumen útil o de regulación, el volumen de control de avenidas, y el bordo libre. Con ello, se podrá estimar la altura total de la presa en forma más realista, así como los niveles característicos correspondientes.

Para el análisis hidrológico certero, se contempla usar como entrada de la aplicación los resultados de la plataforma de modelación hidrológica distribuida MGB (Collischonn et al, 2001), que usa como entrada los resultados de análisis fisiográfico procesados por IPH-HydroTools.

Conclusiones

Se desarrolló y probó la aplicación *GeoDamRes*, que es una herramienta que permite determinar en forma sistemática, eficiente y precisa la geometría de presas y embalses, en todos los puntos de la red de corrientes de cuencas hidrográficas extensas.

El conocimiento para la determinación de la geometría de presas y embalses dará base al cálculo posterior de los atributos económicos, ambientales y sociales. Esto hará posible seleccionar y dimensionar prospectos de embalses de propósitos múltiples; particularmente, para proyectos hidroeléctricos.

Referencias Bibliográficas

Cedeño, J., Donoso, M.C. (2010). Atlas pluviométrico del Ecuador. UNESCO Programa Hidrológico Internacional, PHI-VII, Documento Técnico N° 21, 86 p., ISBN: 978-92-9089-140-6

Collischonn, W. (2001). Simulação hidrológica de grandes bacias. Tesis de Doctorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil.

QGIS (2022). Un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto, versión 3.26.1. Disponible en <https://www.qgis.org/es/site/>

R Foundation (2022). Lenguaje y ambiente de programación libre, versión 4.2.1. Disponible en <https://www.r-project.org/>

Siqueira, V., Fleischmann, A., Jardim, P., Fan, F., & Collischonn, W. (2016). IPH-Hydro Tools: A GIS coupled tool for watershed topology acquisition in an open-source environment. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21, 274-287. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p274-287>

Yamazaki, D., Ikeshima, D., Tawatari, R., Yamaguchi, T., O'Loughlin, F., Neal, J. C., Sampson, C.C., Kanae, S., and Bates, P.D. (2017). A high-accuracy map of global terrain elevations. *Geophysical Research Letters*, 44, 5844– 5853, doi: 10.1002/2017GL072874

Yamazaki, D., Ikeshima, D., Sosa, J., Bates, P.D., Allen, G.H., Pavelsky, T.M. (2019). MERIT Hydro: A high-resolution global hydrography map based on latest topography datasets. *Water Resources Research*, vol.55, pp.5053-5073, 2019, doi: 10.1029/2019WR024873

AVALIAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE PRIORITÁRIAS À RESTAURAÇÃO FLORESTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAÍ/RS, A PARTIR DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO

¹Ana Paula Müller, ²Adriane Brill Thum

¹Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, e-mail: a.paul4@hotmail.com;

²Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, e-mail: adrianebt@unisinobr

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica do Rio Caí; Áreas de Preservação Permanente; Sistemas de Informação Geográfica

Resumo

O presente artigo teve como objetivo avaliar as Áreas de Preservação Permanente (APPs) prioritárias de recuperação na Bacia Hidrográfica do Rio Caí/RS, a qual possui nascente na Cidade de São Francisco de Paula/RS e deságua em Nova Santa Rita/RS. (SAMUEL, 2011). Considerando que a identificação, conservação e recuperação de APPs em margens de rios, banhados, áreas de encostas e nascentes, constam entre as linhas de ações do Plano de Bacia do Caí (COMITÊ CAÍ, 2015); foram identificadas as APPs da Bacia, de acordo com as disposições do Código Florestal. Utilizou-se a Técnica AHP da Análise Multicritério no Software de Geoprocessamento QGIS, para avaliar as APPs prioritárias em termos de recuperação ambiental. Para tanto, foram utilizados quatro indicadores: Indicador de Classe da APP (ICAPP), Indicador da Ordem do Curso d'água (IOCD), Indicador de Uso e Ocupação do Solo (IUOS), e Indicador de Proximidade de Vegetação Nativa (IPVN). Para a elaboração dos mapas utilizaram-se diversos arquivos vetoriais, imagens do Satélite Landsat-8/OLI, além de imagens do Modelo Digital de Elevação (MDE) abrangendo a área de estudo. Os resultados obtidos revelaram que 45,82% das APPs da Bacia estão em desacordo com o Código Florestal, e que 20.871,79 hectares necessitam da recuperação de APPs, sendo que 19,49% possuem prioridade muito alta, 39,54% prioridade alta, 40,97% prioridade média e somente 0,005% possuem prioridade baixa. Os resultados do presente trabalho poderão servir de contribuição ao Comitê Caí, à população que vive na bacia, aos usuários da água e ao meio ambiente.

Introdução

Conforme Oliveira e Reis (2017), a bacia hidrográfica constitui o recorte territorial ideal para a adequada gestão dos recursos hídricos. Inclusive, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei N° 9.433 de 1997, define a bacia hidrográfica como unidade ideal de planejamento para a gestão das águas, pelo fato de ser um local de convergência entre o meio biótico, físico e antrópico. Portanto, foi definido que a bacia hidrográfica seria a unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGRH). (BRASIL, 1997). Para realizar o manejo de bacias hidrográficas foram criados os Comitês de Bacia, que disciplinam o uso dos recursos hídricos, além da legislação pertinente ao tema. (ISAIAS, 2008).

A manutenção dos ecossistemas aquáticos depende das matas ciliares, pois estas auxiliam a infiltração de água no solo, funcionando como produtoras de água, facilitando o abastecimento do lençol freático, disponibilizando água aos poucos aos rios, mantendo a vazão nos períodos de seca. Esta característica da bacia hidrográfica é fundamental para o uso econômico e social da bacia, pois proporciona bebedouros, água para irrigação e abastecimento público, mesmo nos períodos de seca. (LIMA, 2008; FREITAS et. al, 2013; SILVEIRA E OLIVEIRA, 2016; ANA, 2012).

A vegetação ciliar também isola o curso d'água dos terrenos mais elevados da microbacia, mantendo a qualidade da água, visto que, dificulta o escoamento superficial de sedimentos que causam poluição e assoreamento dos cursos d'água, além de reter grande parte dos nutrientes aplicados em solos agrícolas que chegariam aos cursos d'água por meio do escoamento subsuperficial. As raízes também estabilizam as margens e protegem contra o impacto direto da chuva no solo, minimizando os processos erosivos. As matas ciliares fornecem sombra, abrigo e alimento para grande parte da fauna; além de promover a formação de corredores ecológicos, auxiliando na preservação da biodiversidade. (LIMA, 2008; FREITAS et. al, 2013; ATTANASIO, 2012).

O Código Florestal, Lei N° 12.651 de 2012, em seu artigo segundo, capítulo quatro, dispõe sobre a proteção das matas ciliares, denominadas de Áreas de Preservação Permanente (APP), as quais são definidas como faixas de vegetação localizadas junto aos cursos d'água, represas, lagos naturais, no entorno de nascentes, em topo de morros e em terrenos com declividades superiores a 45°. (BRASIL, 2012).

A recuperação de APPs consta no Plano de Bacia do Rio Caí, elaborado pelo Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí, em 2015, o qual estabelece linhas de ações para alcançar as metas propostas. Uma das ações é a identificação, conservação e recuperação de APPs, em margens de rios, banhados, áreas de encostas e nascentes. Dentre as 33 ações propostas, a ação supracitada está entre as 16 prioritárias. (COMITÊ CAÍ, 2015).

Estudos envolvendo áreas muito extensas, como uma Bacia Hidrográfica inteira, podem despende muito tempo e demandar altos custos. As geotecnologias, assim como o sensoriamento remoto e os SIG, possibilitam a abrangência de

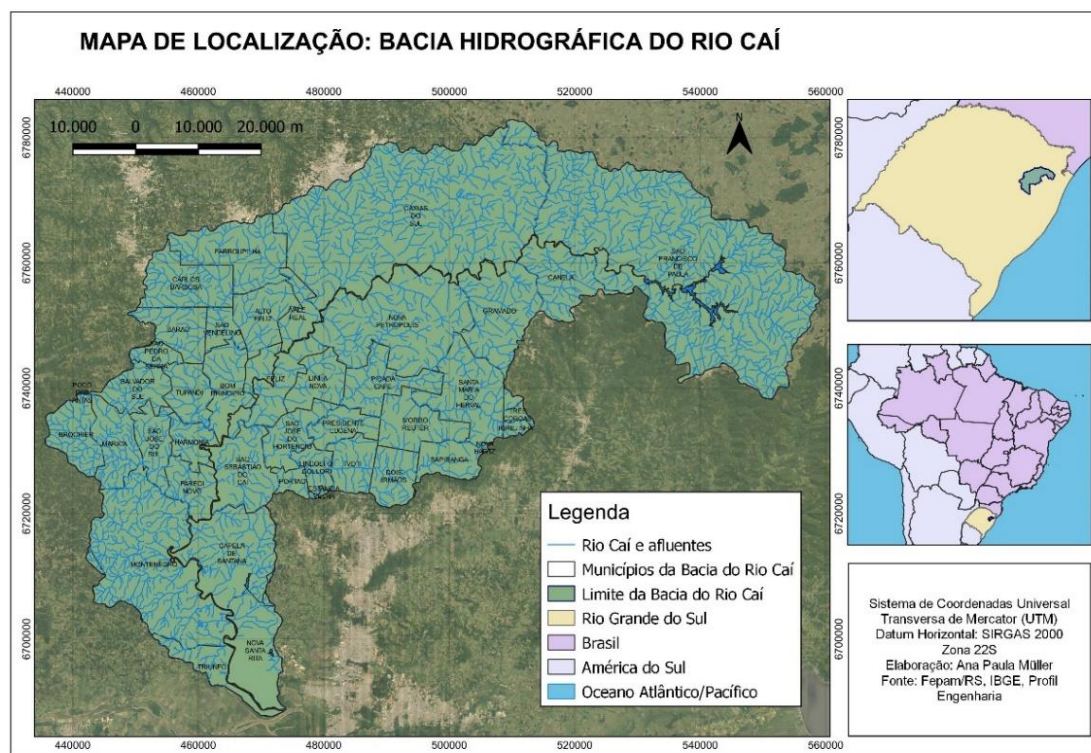
análises de grandes áreas com maior periodicidade, com a vantagem de se monitorar áreas remotas de difícil acesso e a espacialização das informações. (SILVA et. al, 2014). Os SIG otimizam tempo com a análise de fenômenos espaciais e com robustos bancos de dados, permitindo maior eficácia nos diagnósticos e prognósticos voltados ao planejamento ambiental e territorial. (PEREIRA, 2019).

Levando em consideração os fatores apresentados, o presente artigo teve como objetivo geral avaliar qualitativa e quantitativa as Áreas de Preservação Permanente prioritárias em termos de recuperação ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Caí/RS, por meio da Análise Multicritério em um Software de SIG.

Material e Métodos

A área de estudo do presente trabalho é a Bacia Hidrográfica do Rio Caí, situada no nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 29°06' a 30°00' de latitude Sul e 50°24' a 51°40' de longitude Oeste. (SEMA, 2020). Possui 4.976,61 km² de área e 485,927 km de perímetro. Atinge total ou parcialmente 42 municípios. (SILVA, 2019).

O curso d'água principal é denominado de Rio Caí, mas nasce com o nome de Rio Santa Cruz, na cidade de São Francisco de Paula, na Serra Gaúcha, em altitudes aproximadas de mil metros. No total percorre 195 km até desaguar no Delta do Jacuí em Nova Santa Rita, na Região Metropolitana de Porto Alegre. (SILVA, 2019). A localização da bacia e as cidades que a compõem encontram-se na Figura 1.



**Figura 1: Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Caí
Elaborado pela Autora**

Dentre os dados remotos e cartográficos utilizados para criar o Banco de Dados Geográficos e desenvolver as etapas da pesquisa, estão duas imagens do Sensor OLI a bordo do Satélite Landsat-8, obtidas do site da Divisão de Geração de Imagem (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE, 2020).

A Resolução espectral utilizada no presente trabalho foram as bandas 5 (Infravermelho próximo), 4 (vermelho), 3 (verde), para destacar cursos d'água e vegetação, fusionadas à banda 8 (pancromática). (USGS, 2020). A resolução espacial nominal é de 30 metros para as bandas 5, 4, 3, mas passa a ser de 15 metros quando fusionadas à banda 8, que possui resolução de 15 metros. (GEOAPLICADA, 2020).

Para identificar as APPs de encostas foram utilizadas imagens SRTM obtidas do Mapa Índice, no site Topodata, do INPE. O Projeto Topodata oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e derivações em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) disponibilizados pela USGS. (TOPODATA/INPE, 2020).

Além dos dados descritos acima, foram utilizados arquivos vetoriais disponíveis na Biblioteca Digital da Fepam/RS (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler, 2020), referentes a limite estadual, limites municipais, ordens dos canais de drenagem, lagos e lagoas. Os arquivos dos países da América do Sul, dos Estados brasileiros e do Oceano foram obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020).

A hidrografia em polígonos foi obtida da Base cartográfica vetorial da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (HASENACK; WEBER, 2020). A empresa Profil Engenharia, responsável pela elaboração das Fases A, B e C do Plano de Bacia do Rio Caí, disponibilizou arquivos vetoriais da delimitação da bacia do Rio Caí e da segmentação desta em 20 Sub-bacias. (BORTOLI, 2020).

O software de Geoprocessamento adotado na elaboração do presente trabalho foi o QGIS, na versão de longa duração 3.4.11 Madeira, com o complemento Grass instalado. Para alguns recortes e vetorizações foi necessário o uso do Software ArcGIS 10.3. O EPSG utilizado foi o 31982, o qual se refere ao Datum SIRGAS 2000 e ao Sistema de Coordenadas Planas UTM, zona 22 S.

Efetuarão-se correções no traçado dos canais de drenagem e da hidrografia em polígonos, para o curso do rio principal e para os afluentes maiores, utilizando-se como base a composição colorida das imagens Landsat 8/OLI. As nascentes foram demarcadas manualmente, a partir dos canais de drenagem de primeira ordem.

Realizou-se a classificação supervisionada de imagens para vislumbrar a situação das APPs de acordo com o Código Florestal, assim como, para gerar o mapa de uso e ocupação do solo na Bacia. Para tanto, utilizou-se a composição colorida das imagens Landsat 8.

Para identificar a situação atual das APPs foi avaliado o percentual de APPs preservadas em relação ao total de APPs de cada sub-bacia. Para tanto, utilizou-se o Indicador de Integridade de Área de Preservação Permanente (IAPP), também empregado por Silva et. al (2017) e por Sales (2019), ambos na Bacia Hidrográfica do Rio Una, em São Paulo. O indicador define uma pontuação, que varia de 0 a 1, de acordo com o percentual de cobertura vegetal nas APPs, quanto maior este percentual, maior a pontuação, conforme é apresentado na Tabela 1.

Integridade de APPs (%)	Pontuação do IAPP
$95 > \text{IAPP} \leq 100$	1
$90 > \text{IAPP} \leq 95$	0,8
$80 < \text{IAPP} \leq 90$	0,6
$70 < \text{IAPP} \leq 80$	0,4
$60 < \text{IAPP} \leq 70$	0,2
$\text{IAPP} \leq 60$	0

Tabela 1: Pontuação do IAPP
Fonte: Adaptado de Silva et. al (2017).

Para identificar as APPs prioritárias de recuperação foram utilizados 4 indicadores, também empregados por Freitas et. al (2013) na identificação de APPs prioritárias de recuperação na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-mirim em São Paulo; e por Neto et. al (2014), que utilizaram a análise multicritério para estabelecer prioridades para recuperação de APPs na Bacia Hidrográfica do Córrego Jararaca, em São Carlos/SP. Os 4 indicadores aplicados no presente estudo foram: Indicador de Proximidade com Vegetação Nativa (IPVN), Indicador de Ordem dos Cursos D'água (IOCD), Indicador de Classificação das Áreas de Preservação Permanente (ICAPP) e Indicador de Uso e Ocupação do Solo (IUOS).

Conforme Silveira (2019), a Análise Multicriterial auxilia estatisticamente na análise de dados complexos, buscando a melhor estratégia de gestão ambiental, considerando diversas alternativas que se resumem a uma decisão a ser tomada. O método de Análise Multicritério utilizado no presente trabalho foi o método AHP (Análise Hierárquica de Processo).

A parte inicial do método foi realizada no Software Microsoft Excel, no qual, primeiramente os indicadores foram comparados entre si numa Matriz de Comparação Pareada, usando-se os pesos conforme definição da importância de cada indicador em relação ao outro. Posteriormente, procedendo com os cálculos do método AHP, foram obtidos os autovetores, IPVN obteve autovetor de 0,446, seguido por IUOS com 0,290, ICAPP com 0,171 e IOCD com 0,093. (OPEN GIS, 2020a).

A fim de confirmar se as pontuações descritas acima são válidas, calculou-se a Razão de Consistência (RC). Conforme Open GIS (2020a), caso o valor do RC resultante seja inferior a 0,1, a pontuação possui consistência. Neste estudo chegou-se a um RC de 0,014, válido portanto.

A tabela 2 apresenta os quatro indicadores avaliados, as classes utilizadas em cada indicador, com seu respectivo peso, e o autovetor obtido.

Indicadores	Classes	Peso	Autovetor
IPVN	Proximidade de vegetação nativa (m)		
	0 =< 10	1	0,446
	10 =< 20	0,8	
	20 =< 30	0,6	
	30 =< 40	0,4	
	40 =< 50	0,2	
Mais de 50	0,1		
IUOS	Classes de Uso do Solo		
	Mosaico de ocupações	1	0,29
	Agricultura e pecuária	0,75	
	Área urbanizada	0,5	
	Vegetação exótica	0,25	
Vegetação nativa/Água	0		
ICAPP	Categorias das APPs		
	Nascentes	1	0,171
	Margens de cursos d'água	0,75	
	Encostas	0,5	
Lagos/Lagoas	0,25		
IOCD	Ordem do Curso d'água		
	1	1	0,093
	2	0,9	
	3	0,8	
	4	0,7	
	5	0,6	
	6	0,5	
7	0,4		

Tabela 2: Pesos das classes dos indicadores e autovetor
Fonte: Adaptado de Freitas et. al (2013); Pina (2017); Francisco (2006).

A próxima etapa da Análise Multicritério foi realizada no QGIS, no qual foi calculada a soma de cada critério multiplicado pela sua importância (autovetor). (OPEN GIS, 2020b), por meio da fórmula:

$$(IPVN * 0,446) + (IUOS * 0,290) + (ICAPP * 0,171) + (IOCD * 0,093)$$

O resultado obtido foi o Mapa de Prioridade à restauração florestal em APPs da Bacia Hidrográfica do Rio Caí, dividido em prioridade baixa, média, alta e muito alta.

Resultados e Discussão

A Bacia Hidrográfica do Rio Caí possui 54.755,39 hectares de área total de APPs, sendo que 29.664,98 hectares estão cobertos por vegetação nativa, somente 54,18% do total de APPs da Bacia estão de acordo com as disposições do Código Florestal. Freitas et. al (2013) encontrou dados ainda mais alarmantes na Bacia do Jundiá-Mirim, em São Paulo, somente 44,6% das APPs avaliadas estavam de acordo com a Legislação.

Quanto as categorias de APPs, lagos e lagoas são as que menos são preservadas, somente 31,83% estão cobertas por vegetação nativa, seguidas pelas APPs de nascentes, nas quais 36,02% encontram-se preservadas. As APPs de matas ciliares dos cursos d'água possuem mais que a metade das áreas preservadas, 54,85%, contudo, segundo o indicador IAPP fica com pontuação 0, igual às categorias nascentes, e lagos e lagoas, pois menos de 60% de suas APPs são ocupadas por matas nativas. As APPs de encostas com declividade superior a 45° são as mais preservadas, 87,14% da área total destas está coberta por vegetação nativa, provavelmente a dificuldade de acesso e exploração as tenha poupado. Configuram, desta maneira com a maior pontuação do IAPP: 0,6.

Avaliando o IAPP das vinte sub-bacias do Rio Caí, identificou-se que oito apresentaram pontuação 0, ou seja, menos de 60% das APPs são ocupadas por vegetação nativa; enquanto nove apresentaram pontuação 0,2, ocupação de vegetação

nativa entre 60 a 70%. Somente três sub-bacias apresentaram IAPP de 0,4, mais de 70% das APPs ocupadas por vegetação nativa. A Figura 2 ilustra os resultados do indicador IAPP nas vinte sub-bacias do Rio Caí.

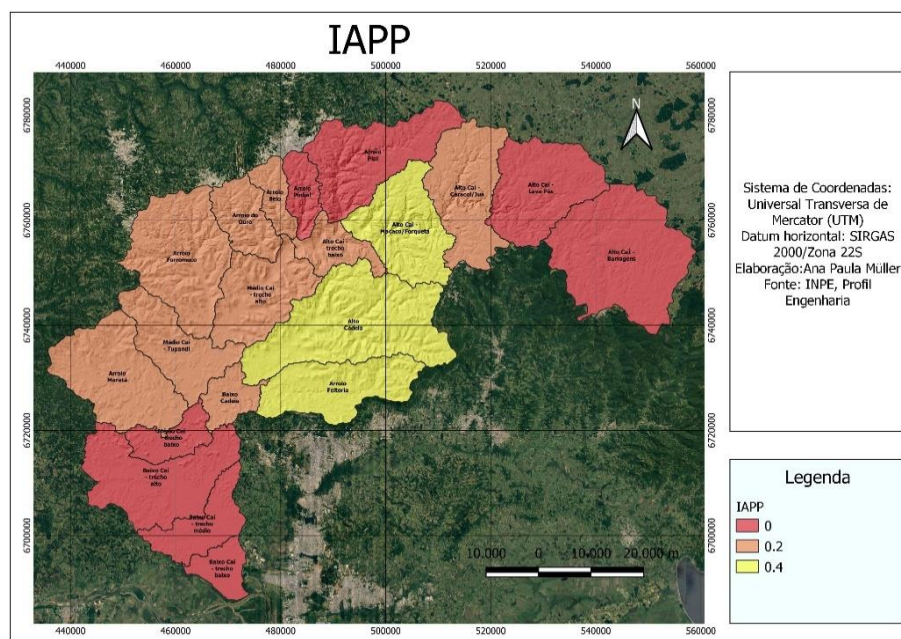


Figura 2: IAPP nas Sub-bacias do Rio Caí
Elaborado pela autora

A avaliação das áreas de APPs prioritárias à restauração florestal na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, seguiu a metodologia adotada por Freitas et. al (2013). Os pesos de cada subcritério foram atribuídos dependendo do número de variáveis de cada indicador e para que ficassem normalizados no intervalo de 0 a 1, sendo 1 a pontuação para o critério com maior prioridade de recuperação e 0 sem prioridade. Foram gerados cinco mapas, o primeiro refere-se ao indicador ICAPP.

No indicador ICAPP (Figura 3), as APPs foram divididas em categorias, nas quais a prioridade foi dada às APPs de nascentes, pois são áreas mais frágeis, nas quais ocorre o afloramento do aquífero e nascimento do rio, e normalmente se encontram em áreas altas da bacia, com maior suscetibilidade à erosão. (Freitas et. al, 2013). As margens dos cursos d'água receberam a segunda maior pontuação, seguidas das APPs de encostas e de lagos e lagoas.

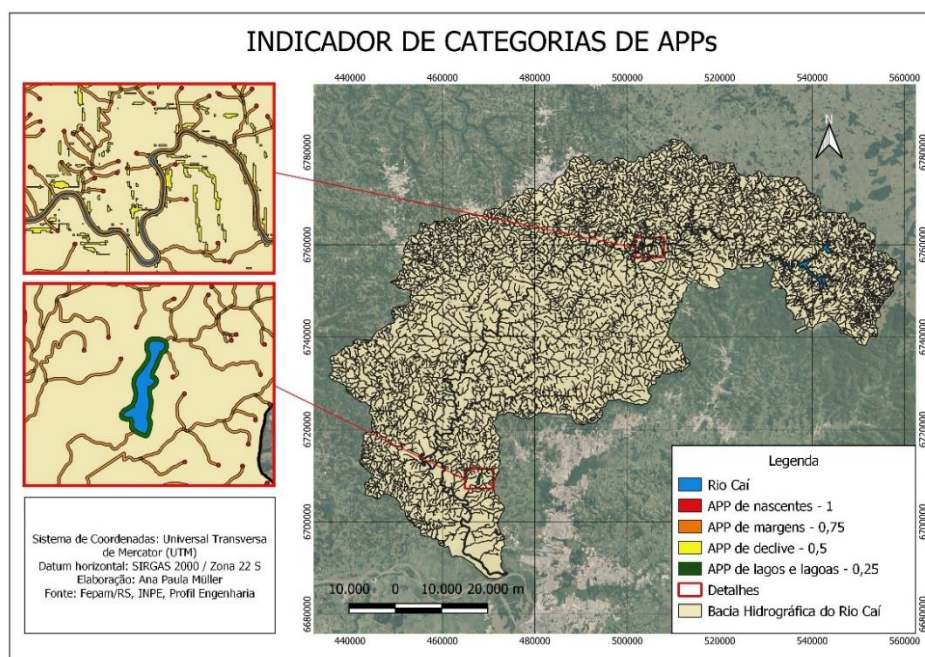


Figura 3: Mapa do Indicador ICAPP
Elaborado pela autora

No primeiro detalhe, área compreendida entre encostas declivosas, mais presentes na parte média até a parte alta da bacia, no segundo detalhe, área próxima à foz da Bacia, local com predomínio de relevo plano, onde se encontra um lago.

No Indicador IOCD, as classes avaliadas foram as ordens dos cursos d'água da bacia, que se enquadram até a Sétima Ordem, no Rio principal. Os canais de primeira ordem tiveram prioridade, seguidos pelos canais de segunda ordem, e assim sucessivamente. No primeiro detalhe do Mapa do indicador IOCD (Figura 4), área próxima das nascentes da bacia, na qual se encontra predomínio de canais de drenagem de ordens 1, 2 e 3. No segundo detalhe, área próxima ao exutório de um dos maiores arroios afluentes do Rio Caí, o Arroio Forromeco, cuja ordem é 6.

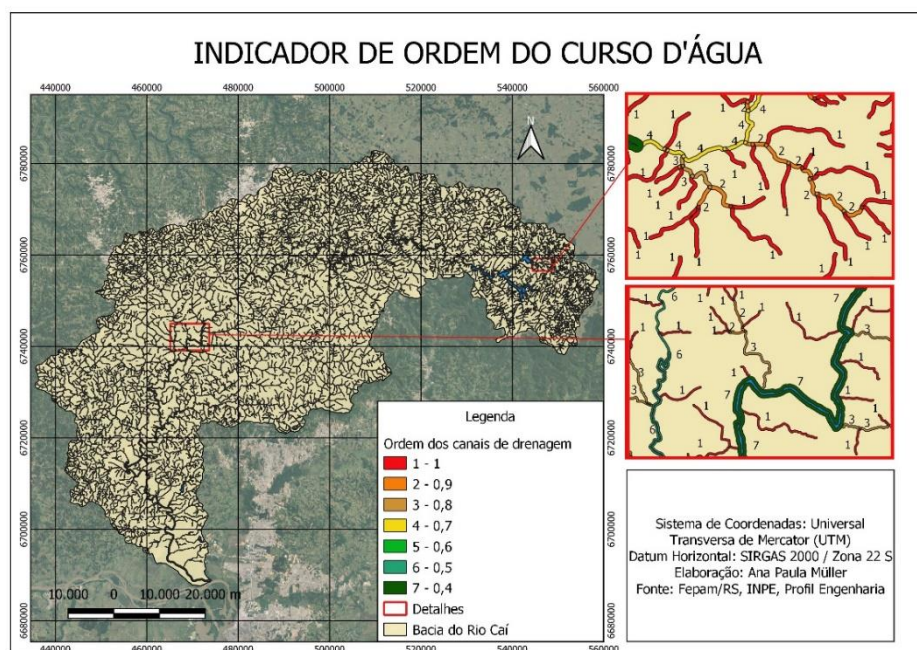


Figura 4: Mapa do Indicador IOCD
Elaborado pela autora

Quanto aos remanescentes de vegetação nativa nas proximidades das APPs (IPVN), em faixas que vão de 0 a 50 metros de distância, o presente trabalho priorizou as áreas com 0 a 10 metros de distância de remanescentes de vegetação nativa, conforme Figura 5.

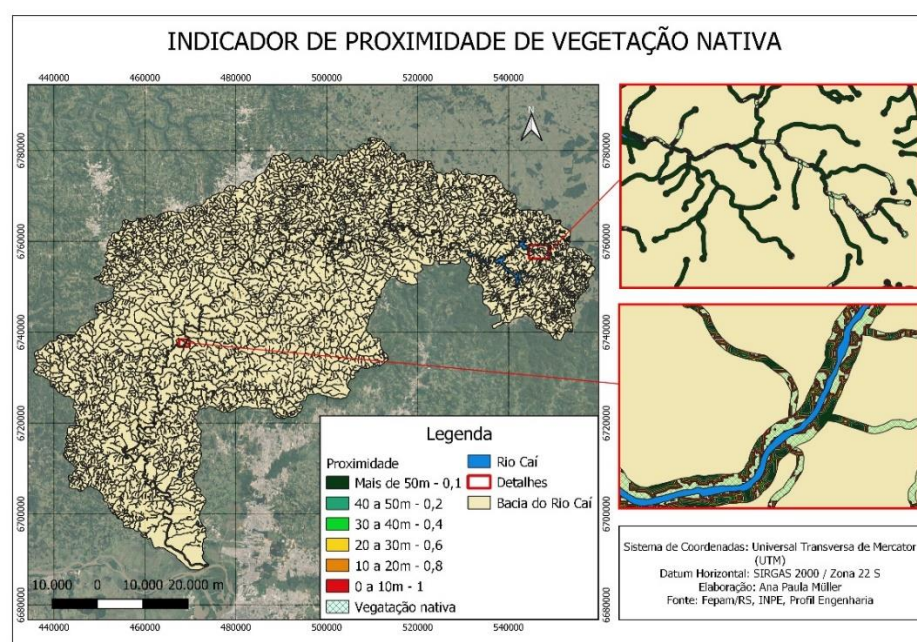


Figura 5: Mapa do Indicador IPVN
Elaborado pela autora

Com o intuito de identificar as APPs com prioridade de recuperação, segundo os usos do solo, foram arbitrados valores de importância seguindo a metodologia de Freitas et. al (2013), a qual priorizou os usos que deixam o solo mais desprotegido, enquanto a pontuação menor foi dada aos plantios de vegetação exótica. Assim, no presente estudo, vegetação exótica recebeu a menor pontuação, enquanto áreas utilizadas para agricultura e pecuária receberam pontuações elevadas, pois deixam o solo desprotegido, suscetível à erosão. Porém, a categoria mosaico de ocupações recebeu a maior pontuação, pois se apresenta bastante propícia à recuperação de APPs, assim como foi apontado por Pina (2017).

O Mapa da Figura 6 traz os usos do solo na área delimitada pela Bacia, na qual percebe-se predomínio de Vegetação nativa e Agricultura e pecuária em relação às demais classes. Os detalhes ampliados do Mapa trazem as APPs prioritárias segundo o indicador IUOS.

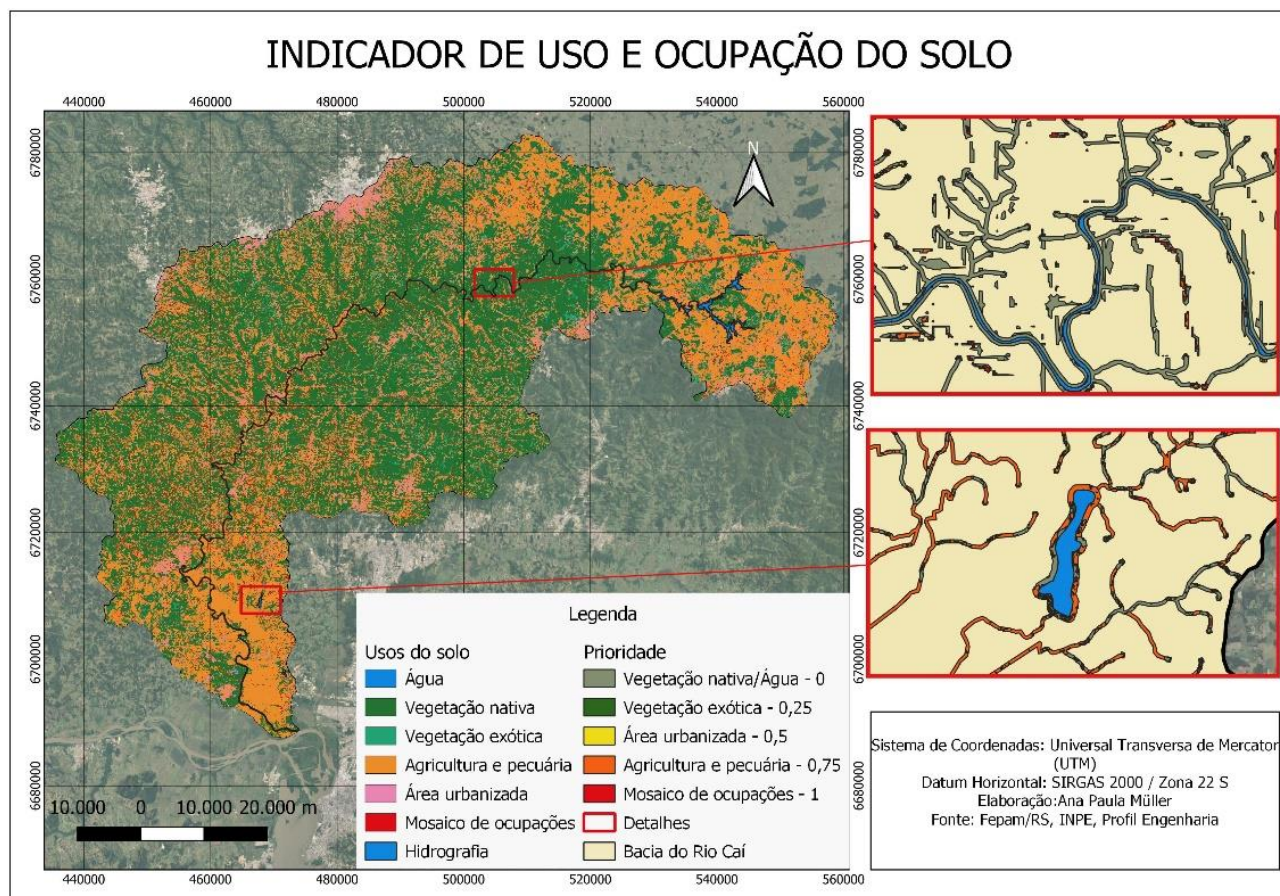


Figura 6: Mapa do Indicador IUOS
Elaborado pela autora

Nos detalhes, água e matas nativas receberam pontuação 0 e foram coloridos de cinza, pois são critérios de restrição, visto que tratam-se de usos corretos em APPs. No primeiro detalhe, área localizada em encostas declivosas, nas quais predomina a preservação de mata nativa. No segundo detalhe, área próxima à foz da bacia, na qual se destaca a agricultura e pecuária, principalmente a orizicultura.

Constatou-se que 46,08% das APPs da bacia possuem uso indevido. Este percentual supera os 42,52% obtidos por Oliveira e Reis (2017), na Bacia do Rio Pitimbu, Rio Grande do Norte; e os 42,24% encontrados por Silveira (2019), na Bacia do Rio Araquazinho, em São Manuel, São Paulo. Mas se assemelha aos 47,79% obtidos por Sales (2019) na Bacia Hidrográfica do Rio Una, em São Paulo.

Utilizando-se a Análise Multicritério dos indicadores ICAPP, IOCD, IPVN e IUOS, chegou-se ao Mapa de Prioridade à Restauração Florestal da Bacia Hidrográfica do Rio Caí, no qual a vegetação nativa é critério de restrição, e as demais áreas de APPs foram divididas segundo as classes de prioridade: baixa, média, alta e muito alta.

No primeiro detalhe do Mapa da Figura 7, área de encostas declivosas que apresenta vegetação nativa preservada, com poucos pontos a recuperar. No segundo detalhe, área do Trecho médio do Rio Caí, no qual as APPs apresentam vários remanescentes de vegetação nativa. A prioridade variou principalmente conforme o indicador de maior peso, IPVN, assim, quanto mais perto a APP fica de um remanescente de vegetação nativa, maior a prioridade de recuperação. No terceiro detalhe, área próxima à foz da bacia, apresentando poucos remanescentes de vegetação nativa, com predomínio de atividades agrícolas e pecuária. Neste detalhe a prioridade de recuperação varia pouco, predominando a prioridade média.

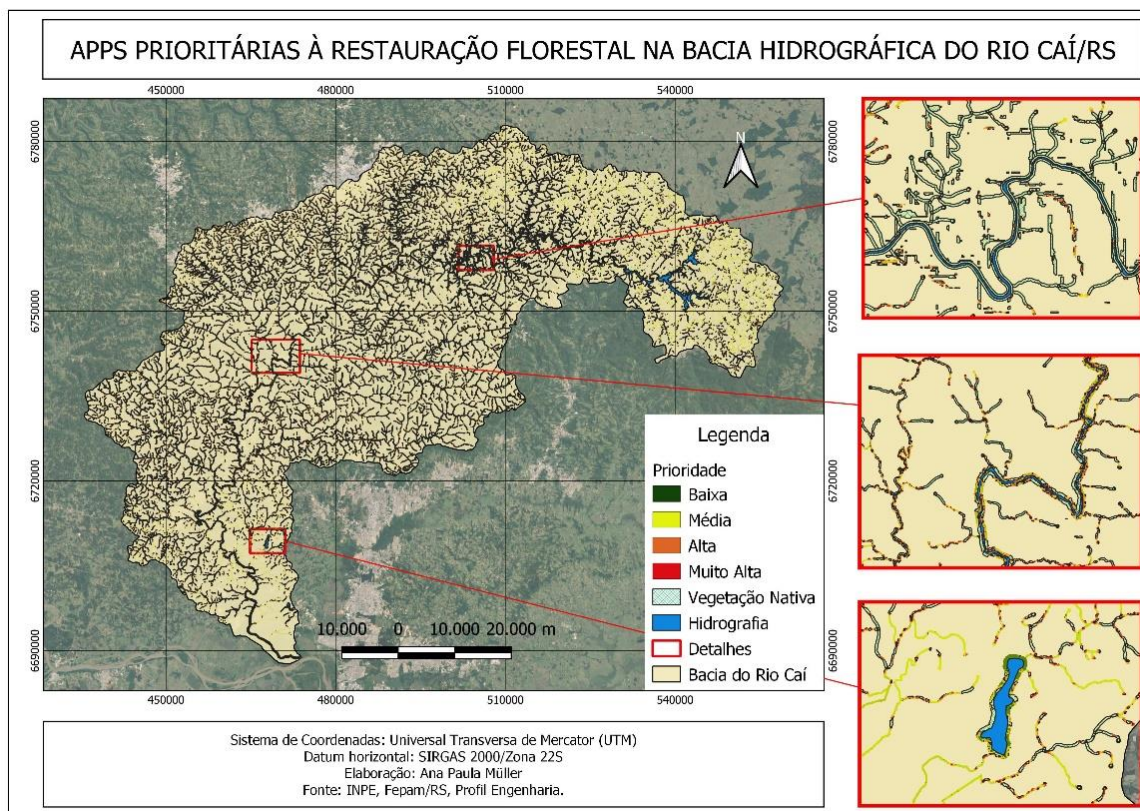


Figura 7: Áreas de APPs prioritárias à Restauração Florestal
Elaborado pela autora

A Bacia do Rio Caí possui prioridade de recuperação baixa em somente 0,005% da área total de APPs (0,99 hectares); prioridade média em 40,97% da área (8.550,79 hectares); prioridade alta em 39,54% das APPs (8.252,44 hectares); e prioridade muito alta em 19,49% das APPs (4.067,58 hectares). Conforme é ilustrado na Figura 8.

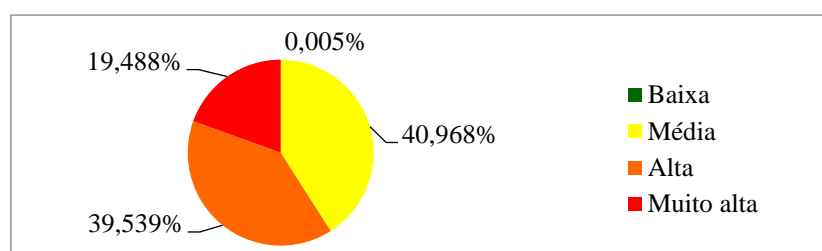


Figura 8: Áreas Prioritárias à Restauração de APPs na Bacia do Rio Caí
Elaborado pela autora

Considerações Finais

O Software QGIS mostrou-se uma excelente ferramenta, além de gratuito é bastante intuitivo, contudo, apresentou dificuldade em realizar alguns processamentos, necessitando-se do uso do Software ArcGIS.

O mapeamento das APPs da Bacia do Rio Caí evidenciou que 45,82% das APPs encontram-se em desacordo com o Código Florestal, das vinte Sub-bacias, somente três possuem mais de 70% de APPs ocupadas com vegetação nativa. O mapa de uso e ocupação do solo mostrou que a classe agricultura e pecuária é responsável pelo maior percentual de usos indevidos, respondendo por 31,24% do total de usos.

Os indicadores utilizados mostraram-se eficientes na avaliação das APPs prioritárias à recuperação. Por meio da Análise Multicritério, constatou-se que 19,49% das APPs possuem prioridade muito alta de recuperação, 39,54% possuem prioridade alta, 40,97% possuem prioridade média, e somente 0,005% possuem prioridade baixa.

Como o Indicador IPVN obteve maior peso na Análise Multicritério, as sub-bacias com percentuais elevados de vegetação nativa foram as que apresentaram prioridade alta e muito alta de recuperação. Contudo, sugere-se que a recuperação inicie nas sub-bacias que obtiveram valor zero no indicador IAPP, por estas serem mais vulneráveis. Definidas as sub-bacias prioritárias, deve-se iniciar a recomposição florestal das mesmas, nas áreas que apresentaram prioridade muito alta e alta na Análise Multicritério.

Referências Bibliográficas

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2012. Unidade 1: A Bacia Hidrográfica. Brasília, DF.

ATTANASIO, Cláudia Mira; GANDOLFI, Sergius; ZAKIA, Maria José B.; VENIZIANI JUNIOR, José Carlos Toledo; LIMA, Walter de Paula. 2012. A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. *Bragantia*, v. 71, n. 4, p. 493-501.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 20 abr. 2020.

_____. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 22 abr. 2020.

BORTOLI, Carlos. SIG_Cai. Destinatário: Ana Paula Müller. [S. /], 19 jun. 2020. 1 mensagem eletrônica.

COMITÊ CAÍ – RS. 2015. Plano de Bacia do Rio Caí Fase C: Relatório Final Síntese RFS. Porto Alegre. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0Byn_B-4Lg7RGREpvS3RLby1MRjg/view>. Acesso em: 29 abr. 2020.

FEPAM/RS – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. Biblioteca Digital. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp>. Acesso em: 19 jun. 2020.

FRANCISCO, Carlos Eduardo da Silva. 2006. Área de Preservação Permanente na Bacia do Ribeirão das Anhumas: Estabelecimento de prioridades para Recuperação por meio de Análise Multicriterial. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo (IAC), Campinas, 2006.

FREITAS, Eduardo P.; MORAES, Jener F. L.; PECHE FILHO, Afonso; STORINO, Moisés. 2013. Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 4, p. 443-449.

GEOAPLICADA. Fusão de imagens de satélite com Orfeo ToolBox (OTB) no QGIS. 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=av1DIhZ3p1E>>. Acesso em: 03 jul. 2020.

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.). 2010. Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Centro de Ecologia. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/50-dados-espaciais/250-base-cartografica-vetorial-continua-do-rio-grande-do-sul-escala-1-50-000>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA) Portal de Mapas. Bases Cartográficas Contínuas, Escala 1:250.000, BC250 – Versão 2019. Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa222602>>. Acesso em 24 jun 2020.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Divisão de Geração de Imagens – DGI. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>>. Acesso em: 29 maio 2020.

_____. Topodata: Mapa Índice. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 25 jun. 2020.

ISAIAS, Fábio Bakker. 2008. A sustentabilidade da água: Proposta de um índice de sustentabilidade de Bacias Hidrográficas. 2008. 168 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília (UNB), Brasília, DF.

LIMA, Walter de Paula. 2008. Hidrologia Florestal aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas. Piracicaba. Disponível em: <<http://www.faesb.edu.br/biblioteca/wp-content/uploads/2017/09/hidrologia1.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2020.

MEDEIROS, Anderson. 2022. Curso Método Geo Pro.

NETO, Francisco Fabbro; MARQUES, Emilena Muzolon; SANTOS, Flávia Sandreschi; MONTAÑO, Marcelo. 2014.

Critérios técnicos e de participação social para a recuperação florestal: quais as diferenças na definição de áreas prioritárias? Eng. Sanit. Ambient, v. 19, n. 4, p. 353-360.

OLIVEIRA, Vinicius Meressiev Melo de; REIS, Leci Martins Menezes. 2017. Conflitos em Áreas de Preservação Permanente na Bacia Hidrográfica do Rio Pitumbu-RN. Guaju, Matinhos, v. 3, n. 1, p. 91-110.

OPEN GIS. 2020a. Análise Multicritério com Método AHP no QGIS: gerando um Mapa de Riscos à Degradação. Parte 3 de 4. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Kc0s5Eem8aE>>. Acesso em: 29 out. 2020.

_____. 2020b. Análise Multicritério com Método AHP no QGIS: gerando um Mapa de Riscos à Degradação. Parte 4 de 4. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=FFY_3QO0aRg>. Acesso em: 29 out. 2020.

PEREIRA, Marcelo Divino Ribeiro. 2019. Geoprocessamento aplicado à análise da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu Grande, Palmas – Tocantins. 2019. 81 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Tocantins (UFT), Porto Nacional.

PINA, Gabriela Ferracini de. 2017. Análise Multicritério na identificação de áreas para a recuperação ecológica no Plano de Manejo Ambiental Municipal. 2017. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal.

SALES, Jomil Costa Abreu. 2019. Análise de indicadores ambientais em Sistemas de Informações Geográficas: Estudo aplicado à avaliação ambiental integrada de bacias hidrográficas. 2019. 182 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Sorocaba.

SAMUEL, Paulo Robinson da Silva. 2011. Alternativas Sustentáveis de Tratamento de Esgotos Sanitários Urbanos, Através de Sistemas Descentralizados, para Municípios de Pequeno Porte. 2011. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre.

SEMA/RS – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA. G030 – Bacia Hidrográfica do Rio Caí. Disponível em: <<https://sema.rs.gov.br/g030-bh-cai>>. Acesso em: 08 abr. 2020.

SILVA, Darllan Collins da Cunha e; ALBUQUERQUE FILHO, José Luiz; OLIVEIRA, Renan Angrizani de; LOURENÇO, Roberto Wagner. 2017. Metodologia para análise do potencial de degradação dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. Caderno de Geografia, v. 27, n. 50, p. 1-12.

SILVA, Emanuel Duarte. 2019. Previsão Hidroeconômica de curto prazo com Modelo de Redes Neurais Artificiais: Aplicação à Bacia do Rio Caí. 2019. 131 f. Dissertação (Mestrado em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre.

SILVA, Eth R. da; DELGADO, Rafael C.; SOUZA, Leonardo P. de; SILVA, Ismael S. da. 2014. Caracterização física em duas bacias hidrográficas do Alto Juruá, Acre. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 7, p. 714-719.

SILVEIRA, Gabriel Rondina Pupo da. 2019. Análise Multicriterial e Geotecnologia aplicadas na Recomposição Florestal da Bacia Hidrográfica do Rio Araquazinho, São Manuel (SP) visando a Sustentabilidade dos Recursos Naturais. 2019. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu.

SILVEIRA, Ramon Petrilho; OLIVEIRA, Vicente de Paulo Santos de. 2016. Identificação dos Impactos Ambientais da Ocupação Irregular nas Áreas de Preservação Permanente (APP) da Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, v. 10, n. 1, p. 179-200.

USGS - U.S. GEOLOGICAL SURVAY. Landsat 8. Disponível em:<https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con>. Acesso em: 05 jul. 2020.

DIAGNÓSTICO DA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA DA NASCENTE DO CÓRREGO JUREMA; APUCARANA, PR

¹Carla Assis Colombo, ²Andrea Sartori Jabur

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: ; ²Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: jabur@utfpr.edu.br

Palavras-chave: bacia hidrográfica; morfometria; vazões máximas

Resumo

A pesquisa foi realizada na área da bacia hidrográfica da nascente do Córrego Jurema, localizada na cidade de Apucarana, Paraná, e teve os objetivos caracterizar a sua morfometria, calcular a vazão máxima da bacia e realizar um diagnóstico do seu fundo de vale. A Bacia hidrográfica do Córrego Jurema é uma das primeiras bacias urbanizadas com bairros unifamiliares, o qual iniciou-se sua urbanização da década de 40, do século passado. O fundo de vale foi ocupado e parte dele construído sem planejamento local. Para a classificação da bacia hidrográfica, foram realizados os levantamentos morfométricos, como a ordem dos rios, tempo de concentração (utilizando a equação de Carter), coeficiente de compacidade e fator de forma. Para o diagnóstico ambiental, realizou o levantamento do coeficiente de escoamento superficial, intensidade pluviométrica (utilizando a equação da chuva da cidade, para os tempos de retornos de 10, 25, 50, e 100 anos), vazão máxima da bacia hidrográfica (utilizando o Método Racional Modificado). No estudo da avaliação do talvegue, realizou-se um diagnóstico da vazão do bueiro hidráulico (pela equação de Manning), e comparado com o diâmetro atual da infraestrutura. Os resultados obtidos de morfometria foram: a bacia hidrográfica estudada possui rios de ordem 3, o seu tempo de concentração é de 21 minutos. O Coeficiente de Compacidade é de 1,093 e o Fator de Forma é de 1,155, fatores esses que indicam que a bacia hidrográfica é circular. O Coeficiente de Escoamento Superficial é de 0,47, determinado por uma média ponderada. A intensidade pluviométrica para 10, 25, 50 e 100 anos como tempo de retorno é de respectivamente: 97,65, 114,85, 129,84, 146,79 mm/h. A vazão máxima calculada é de 17,72 m³/s em 10 anos, 20,83 m³/s em 25 anos, 23,55 m³/s em 50 anos e 26,63 m³/s em 100 anos. A área da bacia hidrográfica começou a ser urbanizada na década de 40 e essa urbanização só aumentou desde então, na maioria das vezes, na forma de casa térreas ainda mantendo áreas permeáveis no lote. O bueiro hidráulico instalado na rua Rio Formoso teve a sua vazão, para o dia 03 de novembro de 2022, determinada e teve o resultado de 0,03 m³/s, porém a vazão total que a tubulação suporta foi calculada sendo de aproximadamente de 14,49 m³/s. Nas visitas realizadas ao fundo de vale, foi possível observar uma crescente dificuldade de acesso e processos erosivos recentes no local (setembro de 2022), com modificações no curso do rio.

Introdução

A cidade de Apucarana, mesmo pertencendo a três grandes bacias hidrográficas (bacia do rio Pirapó, a bacia do rio Tibagi e a bacia do rio Ivaí) não apresenta um levantamento hidrológicos dos corpos d'água locais. Com a modificação do plano diretor da cidade, que se iniciou em 2014, esperou-se que estudos entre a junção das bacias hidrográficas e o plano diretor ocorressem, porém pouco se expandiu nesta área. As modificações em relação ao plano diretor, foram as delimitações das bacias e sub-bacias urbanas da cidade, como a classificação como zona de proteções ambientais.

A Bacia hidrográfica da nascente Córrego Jurema (Figura 1), fica inserido na bacia hidrográfica do rio Pirapó, é uma das primeiras bacias urbanizadas com bairros unifamiliares na cidade de Apucarana, o qual iniciou-se sua urbanização da década de 40, do século passado. O fundo de vale foi ocupado e sem planejamento local, com a proteção das margens. Porém não há estudos das condições atuais do córrego, sendo primordial seu diagnóstico, uma vez que espaços para futuras instalações de novos loteamentos já estão apresentados no plano diretor da cidade, definido como Macrozona de expansão. Este artigo tem como objetivo, um diagnóstico preliminar da bacia hidrográfica urbana do córrego Jurema na cidade de Apucarana, Paraná, avaliando as características morfométricas, obtenção das vazões máximas e avaliação da infraestrutura hidráulica.



Figura 1: leito do córrego Jurema, em área urbanizada.

Materiais e Métodos

Inicialmente para a realização desse estudo foi necessário definir o traçado da bacia hidrográfica estudada, para isso se utilizou o software *Google Earth Pro*. Com o auxílio deste software, foi possível traçar os divisores de águas superficiais da bacia, como ilustrado na Figura 2, e obter algumas características físicas da bacia como sua área, perímetro, comprimento do talvegue entre outros.

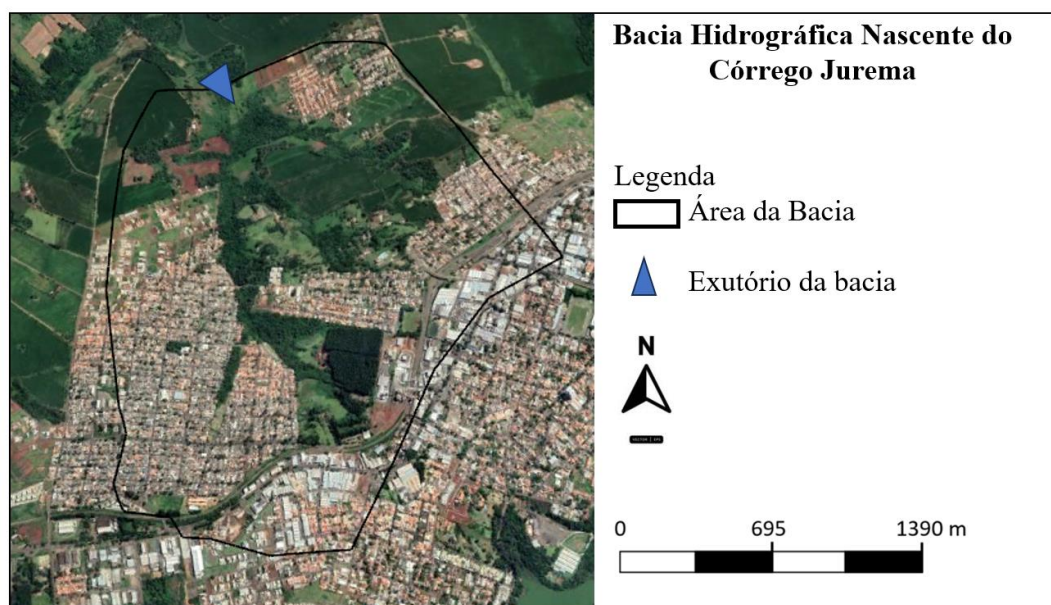


Figura 2: Área da bacia hidrográfica nascente do córrego Jurema. Fonte: Modificado do *Google Earth Pro*.

Para a apresentação dos métodos de cálculos para a morfometria da bacia e obtenção de vazões máximas para a bacia, as equações utilizadas estão apresentadas na tabela 1. Com a obtenção da área da bacia e a avaliação do uso do solo local (área urbana), optou-se para uso do tempo de concentração, a equação de Carter e para a vazão máxima, o método racional modificado com retardo (área da bacia é de 3,72 km²).

Método	Equação	Referência
Área da Bacia Hidrográfica, perímetro e comprimento do talvegue	-----	<i>Google Earth</i> .
Coefficiente de Forma	$Kf = \frac{A}{L^2}$	Collischonn; Dornelles, 2015.
Coefficiente de Compacidade	$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Collischonn; Dornelles, 2015.
Tempo de concentração – Equação de Carter	$tc = 5,96 \cdot \frac{L^{0,6}}{S^{0,3}}$	Collischonn; Dornelles, 2015.

Intensidade pluviométrica – equação da cidade de Apucarana	$i = \frac{1301,07 \cdot Tr^{0,177}}{(t + 15)^{0,836}}$	Gonçalvez, 2011.
Vazão Máxima – método racional modificado com coeficiente de retardo	$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A \cdot \varphi$ $\varphi = \frac{1}{\sqrt[n]{100 \cdot A}}$	Ribeiro, 2020. Almeida et. al. (2016).

Tabela 1: Equações utilizadas para a metodologia da pesquisa, na obtenção de dados morfométricos e vazões máximas.

Resultados e Discussão

Para entender melhor como ocorreu a urbanização da bacia hidrográfica estudada, se buscou pesquisar os anos em que os bairros localizados em sua área foram criados durante a formação da cidade. Porém esse intuito esbarrou-se no fato de se ter poucas informações nas mídias digitais sobre o histórico da região. Por isso, para se ter uma noção de como ocorreu a linha do tempo desta urbanização, utilizou-se os poucos dados encontrados em documentos da prefeitura, juntamente com dados obtidos de conversa com a população local (informações pessoais dos antigos moradores), que podem não ser muito precisos.

A Vila Regina foi uns dos primeiros bairros da cidade de Apucarana, PR, e nasceu nos anos 1940 juntamente com a chegada da Estação da Rede de Viação Paraná-Santa Catarina. Posteriormente, nos anos 1970 a Vila Vitória Régia foi construída. No ano de 1979 a primeira etapa do Núcleo Habitacional Papa João Paulo I foi inaugurada seguido logo depois pela segunda e terceira etapa de ampliação do bairro. Em 1992, as casas do Núcleo Habitacional Osmar Guaraci Freire foram ocupadas, e em seguida, o Loteamento Jardim Gramados foi criado. Já nos anos 2000 o Loteamento Residencial Orlando Bacarin foi construído. Mais recentemente, em 2015, nas proximidades do Núcleo Habitacional João Paulo I, foi criado o residencial Jardim Primavera. Atualmente, com o plano diretor da cidade, espaços vazios na região, estão sendo considerados como áreas para novos loteamentos, e crescimento para a região oeste da cidade (Prefeitura de Apucarana, 2022).

A bacia hidrográfica do Córrego Jurema apresenta um uso do solo residencial, porém, essa urbanização ocorre por meio de casas térreas que possuem em seu terreno áreas não impermeabilizadas, muitas vezes com “quintais” tanto no fundo quanto na frente das casas, porém em alguns casos encontramos casas com o seu terreno totalmente impermeabilizado, o que está em desacordo com a lei municipal, de manutenção de 10% da área do lote como área com permeabilidade. As ruas dos bairros na área da bacia hidrográfica, são em sua grande maioria, asfaltadas. E as calçadas existentes são de modelos antigos normalmente de concreto, totalmente impermeabilizadas.

A bacia possui áreas de vegetação junto ao leito dos cursos d’água e próximo do exutório, apresenta a área rural, com chácaras. Pode-se observar que a cobertura florestal nas margens dos rios, principalmente próximo às nascentes, que estão nas áreas mais urbanizadas, tem uma pequena extensão, porém não atendendo a lei complementar 006/2014 do plano diretor de Apucarana, que prevê 30 metros de vegetação nas margens dos rios.

Para os estudos hidrológicos, iniciou-se com o levantamento da morfometria da bacia. As características morfométricas estudadas são apresentadas na Tabela 2.

Altitude da localidade mais elevada da bacia	842 m
Altitude da localidade mais baixa da bacia	683 m
Área da bacia Hidrográfica	3,72 km ²
Perímetro da bacia hidrográfica	7,53 km
Declividade média da bacia	0,067 m/m
Comprimento de drenagem do curso d’água principal	1,74 km
Ordem dos rios	3
Kc	1,093
Kf	1,155

Tabela 2: Características da Bacia Hidrográfica estudada.

Sendo Kc e Kf, valores próximos de 1, pode-se determinar que a bacia hidrográfica estudada é considerada circular. Os resultados apresentados também classificam a propensão da bacia a enchentes, sendo que com valor de Kc maior que 1 e o valor de Kf maior que 0,75, sabemos que a bacia do Córrego Jurema, possui uma alta propensão a enchentes. Porém esse é um problema ainda não relatado na bacia, conforme pesquisas realizadas em matéria de mídias locais e o relato de moradores (pioneiros dos bairros). Porém é necessário destacar que a bacia ainda possui grandes áreas com o solo não impermeabilizado, e em casos de impermeabilização local, enchentes podem vir a acontecer no local. Para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial (C), inicialmente utilizou-se o mapa da lei de uso e ocupação urbana, da sede urbana da cidade de Apucarana. Nele, traçou-se a bacia hidrográfica estudada, como mostrado na Figura 3, para que se pudesse analisar os diferentes usos do solo presentes na bacia.

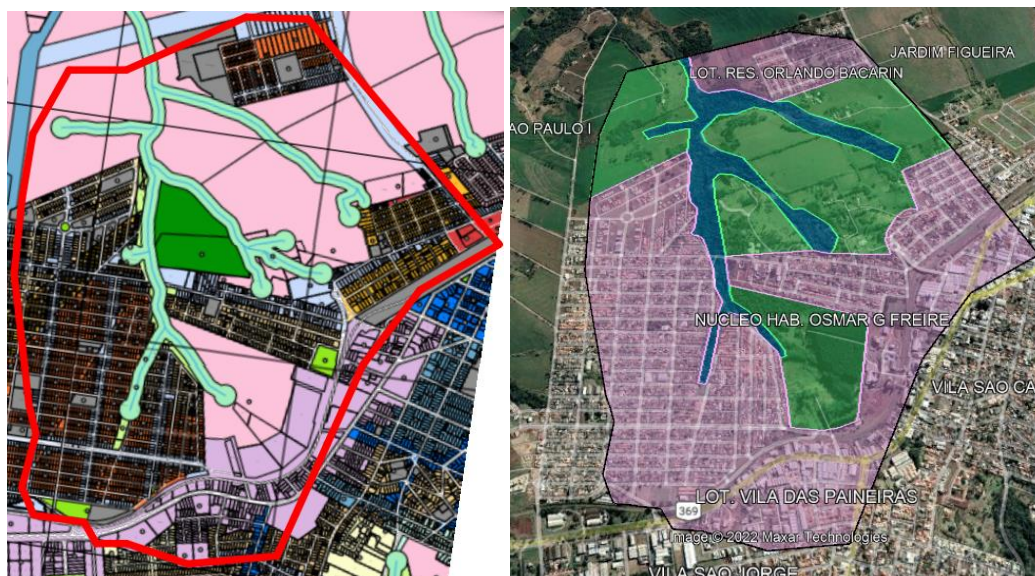


Figura 3: Bacia hidrográfica do Córrego Jurema traçada no mapa da lei de uso e ocupação urbana, da prefeitura cidade de Apucarana, (2022).

Dentro do perímetro da bacia hidrográfica, se encontram áreas destinadas a diferentes usos, como: zonas residenciais, zonas comerciais, zonas industriais, zona residencial de chácaras, zonas de ocupação controladas e áreas de preservação permanente. Então, considerando as diferentes zonas existentes na bacia, juntamente com sua a imagem de satélite, foi possível dividir a bacia em áreas de diferentes coeficientes de escoamento superficial (C).

A bacia foi dividida em três diferentes coeficientes de escoamento superficial (C), são eles:

- Em azul, a área de proteção permanente, onde $C = 0,05$;
- Em verde, se encontra a zona residencial de chácara e a zona de ocupação controlada, onde $C = 0,25$;
- Em rosa, as demais zonas, como residenciais, comerciais e industriais, onde $C = 0,65$.

Sabendo as áreas de cada coeficiente C, foi possível, por meio de uma média ponderada, calcular o coeficiente C da bacia completa. Os valores das áreas, bem como dos coeficientes C utilizados e o coeficiente C total da bacia, são apresentados na Tabela 3.

Uso do solo	Área (km ²)	C*
Rosa (Espaço Urbano)	2,21	0,65
Azul (Área de proteção permanente)	0,32	0,05
Verde (área de ocupação controlada e chácaras)	1,19	0,25
Bacia Completa		0,47

* Valores obtidos em tabelas apresentadas por Ribeiro, 2020

Tabela 3: Valores para o cálculo e resultado do coeficiente de escoamento superficial (C).

Para a obtenção da intensidade pluviométrica na bacia hidrográfica do Córrego Jurema, é utilizada a equação da chuva de Apucarana, com os tempos de retorno (T_r) de 10, 25, 50 e 100 anos. Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 4.

Intensidade Pluviométrica	
T_r (anos)	i (mm/h)
10	97,65
25	114,85
50	129,84
100	146,79

Tabela 4: Resultados para intensidade pluviométrica.

Para o cálculo da vazão máxima da bacia hidrográfica estudada, foi utilizado o método racional modificado. Os resultados obtidos, para os mesmos tempos de concentração utilizados no item anterior, estão apresentados na Tabela 5. Como a declividade da bacia é de 6,7%, o que é maior que 1,0% o valor n utilizado para o cálculo do coeficiente de retardo é igual a 6.

Vazão Máxima da Bacia Hidrográfica (m ³ /s)	
ϕ	0,37
Q (10 anos)	17,72
Q (25 anos)	20,83
Q (50 anos)	23,55
Q (100 anos)	26,63

Tabela 5: Resultados para vazão máxima da bacia hidrográfica.

Devido à dificuldade de acesso à maioria dos cursos d'água da bacia hidrográfica, foi escolhido um local acessível, para avaliar a infraestrutura hidráulica, inserida no fundo de vale. O local escolhido foi o bueiro hidráulico existente na rua Rio Formoso, e sua localização na bacia hidrográfica é mostrada na Figura 4. O bueiro hidráulico da rua Rio Formoso, consiste em uma tubulação circular de 2 m de diâmetro, confeccionado de chapa metálica corrugada de 2 mm de espessura. O modelo é definido como bueiro tubular simples (BTS) (DNIT, 2006). O local apresenta um acúmulo de resíduos sólidos e processo de assoreamento, a montante da infraestrutura. Na jusante, ocorre um processo erosivo local, porém, com informações do projeto obtido pela prefeitura da cidade, não apresenta tanto no projeto, como no local, um dissipador de energia.



Figura 4: Localização do bueiro hidráulico e modelo tubular aço corrugado.
Fonte: Autoria Própria, adaptado de Google Earth Pro (2022).

No dia da coleta de dados, a tubulação apresentava uma lâmina d'água de 6,5 cm, e a sua declividade é de 0,03 m/m. Foi realizado o cálculo da vazão do bueiro para a lâmina d'água existente no dia coletado, e para os casos hipotéticos do canal estar com 50% da sua capacidade de água (lâmina d'água de 1,0 m), e com 98% da capacidade (lâmina de água de 1,96 m). O coeficiente de Manning (n) foi obtido com o auxílio do software Canal, para condutos circulares fabricados em metal corrugado, com isso temos que o valor de n é de 0,024. Os resultados para a área molhada, perímetro molhado, raio hidráulico e vazão do canal, para as três situações propostas. Os cálculos das vazões do bueiro hidráulico foram realizados utilizando o software Canal, e tem os resultados exibidos na Tabela 6.

Altura da Lâmina d'água (m)	Área Molhada	Perímetro Molhado	Vazão (m ³ /s)	Velocidade (m/s)	Froude (Fr)
0,065	0,0309	0,725	0,03	0,846	1,293
1,0	1,5708	3,142	6,86	4,364	1,572
1,96	3,1266	5,716	14,49	4,634	1,792

Tabela 6: Resultados para a vazão do bueiro utilizando o software Canal.

Com os resultados obtidos, notou-se que os resultados do número de Froude, indicam a instalação de um dissipador de energia, o qual não foi construído no local. A vazão máxima de suporte do BTS foi de 14,49 m³/s, porém considerando a microbacia que contribuiu para o escoamento superficial, que obtida pelo software Google Earth, de 0,77 km², e considerando que o uso do solo é homogêneo, com coeficiente de escoamento superficial de 0,65, e intensidade pluviométrica de Tr para 25 anos (indicação do DNIT, para Bueiros), a vazão obtida pelo método racional (área da microbacia menor que 2 km²), foi de 15,98 m³/s, que apresentou um valor maior, com um acréscimo de 9,3%. O valor da diferença, pode ter ocorrido, devido que o projeto de dimensionamento do bueiro, realizado pela prefeitura, pode ter utilizado a equação da chuva da cidade, apresentado pela SUDERSHA, atualmente Instituto de Águas e Terras do Estado do Paraná (IAT), do ano de 1994. No estudo das avaliações das vazões, utilizou-se a equação da chuva para cidade de Apucarana atualizada, por Gonçalves (2011), que gerou um valor superior da capacidade do BTS.

Considerações Finais

A bacia hidrográfica do Córrego Jurema, localizada no oeste da cidade de Apucarana, Paraná, possui uma área de 3,72 km² e a sua altitude varia de 683 m no ponto mais baixo, a 842 m no seu ponto mais alto. A área da bacia é majoritariamente urbana. Os canais da bacia hidrográfica possuem um ordenamento de ordem 3, o que mostra que a bacia é pouco ramificada. Ela também possui um formato circular o que seria propício a enchentes, porém esse é um problema ainda não documentado na região. O tempo que leva para o escoamento de água do ponto mais afastado da bacia, até o seu exutório, o tempo de concentração, é de cerca de 21 minutos. E o seu coeficiente de escoamento superficial ainda é baixo, de 0,47, porque mesmo a bacia tendo boa parte de sua área urbanizada, essa urbanização ocorre ainda deixando áreas permeáveis nos quintais das casas, e áreas verdes em partes da bacia. Buscou-se saber qual seria a vazão máxima da bacia, e chegou-se em uma vazão máxima, em 100 anos, de 26,63 m³/s.

Em relação a área de preservação permanente, esta apresentou valores inferiores a 30 metros de largura, estando fora da Lei Municipal de Apucarana de 2014 (lei complementar 006/2014), na qual solicita a largura de 30 metros. O bueiro localizado na rua Rio Formoso, que atende 0,77 km² da bacia, o que compreende, somente 20 % da área da bacia, tem a capacidade de escoar cerca de 14,49 m³/s. Porém vê-se necessário salientar que o cálculo da vazão de um canal não leva em consideração os resíduos sólidos descartados irregularmente no local, o que se encontrou nos trabalhos de campo, entretanto se essa situação vier a mudar e o canal dos bueiros tiver parte da sua área obstruída, eles podem deixar de ser capazes de escoar a vazão, principalmente em dias de chuvas, o que pode vir a gerar enchentes. Apesar dos cálculos indicarem a instalação de um dissipador no local (número de froude superior a 1, e velocidades superiores a 2 m/s), não foi encontrado durante os trabalhos de campos locais, a jusante do BTS, o qual tem originado processos erosivos locais.

Com a finalização desse estudo, chegou-se à conclusão de que a área da bacia hidrográfica do Córrego Jurema se beneficiaria de novos estudos no futuro, entre eles estariam, um estudo de revitalização das margens dos cursos d'água, um estudo mais detalhado sobre a qualidade da água, com mais amostras recolhidas em mais pontos, um estudo voltado mais para a área de geotecnia, sobre a estabilidade dos taludes que margeiam os cursos d'água.

Referências Bibliográficas

Almeida, R. A.; Rosa, D. Q.; Ferreira, R. G, 2016. Comparação entre diversas metodologias para a estimativa do escoamento superficial em uma pequena bacia hidrográfica. Revista Científica Vozes dos Vales, [Diamantina], v. 5, n. 10, p. 1-20, 10 out.

Collischonn, W.; Dornelles, F, 2013. Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 350 p.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (2006). Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários. Rio de Janeiro. 482 p.

Google Earth website, 2021. <http://earth.google.com/>.

Gonçalves, L. S, 2011. Relações Intensidade-Duração-Frequência com Base em Estimativas de Precipitação por Satélite. 2011. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Prefeitura Municipal de Apucarana. **Plano Diretor**. Disponível em: <http://www.apucarana.pr.gov.br/site/plano-diretor/>

Ribeiro, T. F. K. 2020. Diagnóstico hidrológico e hidráulico de uma barragem de pequeno porte: estudo de caso da barragem do Lago Jaboti, Apucarana – Paraná. Trabalho de conclusão de curso de engenharia civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana.

Software Canal. Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos. Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <<https://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>.

MATERIAIS ALTERNATIVOS: OS 3R'S PARA UMA CONSTRUÇÃO MAIS SUSTENTÁVEL NA REGIÃO NORDESTE.

¹ Angelo Miguel Martins dos Santos, ² Girleiane Santos de Sá, ³ Ailton Soares Freire, ⁴ Mauro César de Brito Sousa

¹ IFPI, e-mail: catzs.2020112becv0092@aluno.ifpi.edu.br; ² IFPI, e-mail: catzs.20192eng0344@aluno.ifpi.edu.br; ³ IFPI, e-mail: ailton.freire@ifpi.edu.br; ⁴ IFPI, e-mail: mauro.sousa@ifpi.edu.br

Palavras-chave: Construção Civil, Sustentabilidade, Nordeste

Resumo

Este artigo científico apresenta a viabilização de um estudo desenvolvido a partir de uma abordagem bibliográfica em fonte de informações secundárias, buscando identificar alternativas para o setor da construção civil na região nordeste do país, como forma de solucionar as necessidades de aplicação de materiais de forma sustentável para a sociedade e planeta. O objetivo deste artigo consiste em exemplificar a necessidade de uma postura mais sustentável nesse setor da economia, tendo em vista a sua importância, com fito de mitigar os transtornos, bem como exemplificar os entraves que os materiais alternativos hodiernamente enfrentam ao proporem-se no mercado, as políticas de incentivo para que essas novas soluções sejam aceitas pelos empreiteiros, engenheiros e consumidores ainda receosos e por fim, os tipos de materiais não convencionais evidenciados, seus atributos e vantagens que se mostram não só com a proposta de serventia, mas um modelo sustentável e econômico, para os profissionais inseridos no mercado e futuros profissionais. Este trabalho também busca alcançar desconstruções de significados e valores, que atualmente se alinham à necessidade de uma mudança no comportamento das pessoas em relação ao uso dos bens naturais, sendo eles renováveis ou não renováveis.

Introdução

Em primeira análise, é importante salientar a construção civil como um dos principais agente socioeconômico do país, tendo a mesma em 2021 acrescido em 9,7% o PIB do país e representando 34% do total da indústria brasileira, no entanto acarreta sérios problemas para o meio ambiente, como a acentuada extração dos recursos naturais aliado ao desperdício e descarte precário dos resíduos sólidos gerados, são motivos que justificam a necessidade na utilização de materiais alternativos como forma de reciclagem, reutilização e a diminuição do consumo de matérias-primas virgens, por exemplo.

Dado contexto, a humanidade esteve em constante processo de descoberta tanto para uso de materiais quanto de ferramentas que contribuam para o funcionamento de suas atividades. Desde o marco inicial da Revolução Industrial, a partir da segunda metade do século XVIII na Inglaterra, a necessidade de um constante desenvolvimento tecnológico, trouxe em paralelo, aumentos expressivos em todos os setores primários e secundários da economia, haja vista que se encontram intrinsecamente dependentes e ligados a extração e utilização de matérias-primas com a evolução das sociedades.

Contudo, apesar da construção civil assumir impacto negativo no desenvolvimento sustentável, ela representa um setor em crescimento constante não só em nível de Nordeste, como Brasil, na medida em que acresce a economia e atende os anseios da sociedade. Como já visto durante o Programa de Aceleração ao Crescimento (PAC), o qual visava construção de uma melhor infraestrutura e saneamento básico, a execução de uma malha rodoviária e ferroviária ou edifícios seja para fins de moradia, educação, saúde e lazer, ilustram não só algumas das demandas da atividade, mas como a base dos direitos sociais garantidos no Artigo 6 da Constituição Cidadã de 1988.

Sendo assim, a manejo de materiais alternativos, a exemplo do bambu como substituto da madeira convencional e do ferro, o uso de agregados alternativos no concreto, os tijolos ecológicos fabricados sem necessidade de queima, entre outros materiais, são considerados possibilidades inovadoras para o modelo capitalista e de consumo exacerbado, o qual estamos inseridos, tendo em vista que os mesmos diminuem de forma significativa os efeitos negativos promovidos ao meio ambiente e possuem propriedades físico-mecânicas adequadas ao uso na construção civil. Entretanto, tais iniciativas ainda são tecnologias pouco difundidas, ausentes de políticas públicas e normas regulamentadoras que facilitem o progresso e utilização desses substitutos ecológicos. Sendo assim, necessária uma melhor compreensão acerca do tema de modo a contribuir com a construção de um setor mais sustentável, uma sociedade mais consciente e uma economia mais ambientalmente correta.

Metodologia

A metodologia aplicada no trabalho é de caráter qualitativo e descritivo, tendo em vista que o embasamento para a elaboração do artigo científico constitui-se em suma maioria, de pesquisas, análises de obras e referências clássicas, além de publicações científicas recentes acerca da temática vocacionada. Tendo em vista, o intuito esclarecedor acerca dos materiais de construção tradicionais e alternativos, desde a extração da matéria-prima até o descarte final do produto no meio ambiente. Isto porque, este tipo de estudo se produz por intermédio de um conjunto significativo de pesquisas, visando à região a qual se utiliza como panorama, além de promover um debate, assim como esquematizar os principais aspectos de uma determinada produção acadêmica em diferentes tempos e contextos.

Referencial Teórico

Método Construtivo Tradicional

Os métodos construtivos são um grupo de técnicas usadas para as edificações. Com isso, a definição do tipo de método considera a estrutura utilizada para sustentar uma casa, um galpão ou um prédio, por exemplo. Essas técnicas viabilizam a construção de diferentes ambientes, com características distintas entre si. Deste modo, não só na região Nordeste, a construção em alvenaria é o método construtivo mais usado no Brasil. Formadas por itens como pilares, vigas e lajes de concreto armado, as edificações também costumam comportar os conhecidos tijolos cerâmicos, que têm a função de separar e vedar os espaços, permitindo assim criar construções eficientes para cada tipo de clima. Porém, a vantagem de possuir uma mão de obra especializada, mais fácil de ser encontrada, esbarra na desvantagem da edificação vista em todo o seu ciclo de vida gerar uma elevada quantidade de resíduos.

Consumo Energético No Setor Da Construção Civil

É imaginável que em um país de proporções continentais, como é o Brasil, a extração e utilização de matérias primas atinja um nível bem elevado, se comparado a outros países menores em extensão territorial.

Atualmente, de acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), o setor construtivo é responsável por aproximadamente 50% dos quilowatts consumidos no planeta. Não obstante, segundo dados levantados pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), seja nos setores públicos ou privados, 44% de toda energia elétrica consumida no Brasil é destinada ao setor da construção civil.

A necessidade de reduzir estes indicadores, bem como garantir a sustentabilidade na construção civil, passa também por tornar o empreendimento ainda mais rentável. Afinal, a iniciativa adotada de Selos Sustentáveis do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) agregam valor à obra e são um diferencial para toda construtora.

Desenvolvimento Sustentável

Baseado desde a sua concepção em 3 princípios básicos: economia, social, ambiental, o Desenvolvimento Sustentável se refere a um modelo de desenvolvimento econômico, social e político que esteja em harmonia com o meio ambiente.

Diante disso, se faz preciso a utilização racional dos recursos naturais de forma que seja possível suprir as necessidades da sociedade atual, mas sem que haja o comprometimento da disponibilidade desses mesmos recursos para as gerações futuras. Sendo essa a definição mais amplamente utilizada de desenvolvimento sustentável, apresentada no Relatório Brundtland, no ano de 1987, produzido no âmbito da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. O Brasil e outros Estados Membros da ONU por sua vez, por meio de tratativas concluídas em 2015, firmaram um documento ambicioso que propõe 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e outras 169 metas correspondentes, conhecido como Agenda 2030.

Modelo Construtivo Alternativo

Analisando tais evidências, é possível inferir a necessidade de investir-se em novos modelos construtivos, os quais consigam seguir as políticas de sustentabilidade recém aprovadas. Com o conceito muito próximo ao dos 3R's, repensar, reciclar e reutilizar, os materiais alternativos para construção civil, por intermédio do reaproveitamento e recuperação de recursos no fluxo natural de uso e descarte dos resíduos, influenciam diretamente na redução dos impactos causados pelo modelo de construção tradicional.

Vale ressaltar que o consumo contínuo e de forma acelerada das matérias primas não pode se sustentar indefinidamente. Uma das maneiras de otimizar o processo da indústria da construção civil é através da incorporação dos resíduos de outras indústrias ou provenientes do próprio consumidor, em uma nova matéria prima, com o fito de solucionar as questões previamente citadas.

Principais Embargos E Impasses

Materiais como brita, cal, ferro, areia, cimento, madeira e tijolos são materiais comuns empregados na construção civil, mas não são únicos, e podem ser substituídos por produtos alternativos. Afinal, além dos benefícios ecológicos, a utilização desses materiais traz novas alternativas para engenheiros e decoradores. Ser sustentável deixou de ser uma preocupação exclusiva com o meio ambiente, mas preocupar-se com o futuro de milhões de indivíduos.

Contudo, os benefícios já supracitados, esbarram ao adentrar no mercado e conquistar seu espaço é a falta de normas regulamentadoras e/ou políticas públicas que dificultam a criação de soluções sustentáveis, além de uma baixa difusão de importantes ferramentas como Análise do Ciclo de Vida (ACV), que é um método criado com o intuito de analisar os impactos causados pelos produtos no meio ambiente. OLIVEIRA (2015)

Dessa forma, exigindo-se uma participação mais efetiva de diversos órgãos e setores sejam estatais ou privados na idealização e efetivação de projetos, incentivos, estudos e normas efetivas que coloquem os mesmos não só a nível de Nordeste como Brasil com fito de elevar ainda mais a posição do país frente certificações de construções mais ecológicas e sustentáveis. Afinal, conforme pesquisa realizada pelo GBCI (Green Business Certification Inc.), em 2014 o Brasil passou a ocupar a terceira posição no ranking dos países com o maior número de edifícios em processo dessas certificações, atrás apenas dos Estados Unidos e China.

Principais Incentivos

Assim, a produção de um produto ou derivado ecologicamente sustentável em detrimento a outros mais usuais deve possuir propriedades geométricas, físico-mecânicas e de durabilidade iguais ou superiores às mesmas, para permitir a substituição ou reposição dos já utilizados no modelo construtivo da região.

Afinal, para agregar valor aos imóveis, empresas estão buscando também conquistar certificações e selos como AQUA, da Fundação Vanzolini e Leed, do Green Building Conciul Brasil (GBC). As quais, em equação as propostas sustentáveis em debate ao redor do mundo apresentam uma série de exigências listadas em itens para que o empreendimento que deseja se certificar, preencha. E, caso o edifício faça a solicitação, os responsáveis dentro das entidades fazem verificações nas obras para atestar o cumprimento desses itens.

Manuel Martins, coordenador executivo do AQUA-HQE, explica que os materiais não são sustentáveis sozinhos e que para chegar ao conceito de sustentabilidade em obra é preciso pensar no projeto como um todo. Deve-se considerar desde os impactos em canteiro até o resultado do empreendimento final que será utilizado pelo proprietário. “Existem vários sistemas e várias inovações que ajudam. Mas não há uma orientação do que seja melhor fazer. Isso depende de cada projeto”, explica.

Outro estímulo foi a criação do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável - CBCS, que contou com a participação de diversos membros representantes da academia e do setor produtivo da indústria da construção. O mesmo concerne em ser uma associação civil sem fins lucrativos que tem por objetivo social contribuir para a promoção do desenvolvimento sustentável por meio da geração e disseminação de conhecimento, orientação técnica, capacitação, realização de eventos, articulação e formação de redes mobilizando a cadeia produtiva da construção civil, seus clientes e consumidores (CBCS, 2007).

Por fim, a redução de impostos aos habitantes das capitais Berlim (Alemanha) e Bogotá (Colômbia), surge a partir da iniciativa IPTU Verde. No Brasil temos como exemplo em nossa região, a cidade de Salvador (BAHIA) que adota o programa IPTU Verde, incentivando empreendimentos imobiliários residenciais, comerciais, mistos ou institucionais a realizarem e contemplarem ações e práticas de sustentabilidade em suas construções. Para isso, oferece descontos diretamente no IPTU, assim estando ao encontro do Art. 225 da Constituição Federativa de 1988, o qual enquanto bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida a todos assegura o equilíbrio ecológico do meio ambiente o qual nos inserimos.

Materiais Alternativos

Tijolo ecológico

Um dos primeiros produtos alternativos, o tijolo ecológico vêm sendo comercializado aos poucos, com diversas características e matérias primas reutilizáveis em sua composição, o primeiro e mais significativo, feito de terra e cimento tem como atrativo principal não envolver energia no seu processo de cura. Tendo em vista, que o material não vai ao forno, deixando assim de utilizar lenha e emitir gases CO₂ (Dióxido de Carbono) e CH₄ (Metano) que acentuam o efeito estufa. Além disso, o tijolo sustentável economiza cerca de 70% do concreto e argamassa de assentamento, além de diminuir o tempo de construção. Com sua composição de 86% de solo, 8% de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar e 6% de cimento, além do acréscimo gradativo de água para fins de homogeneização, o tijolo ecológico reduz o percentual de 40% das emissões de gases globais ligados à indústria da construção civil, bem como o custo de fabricação, o qual cada tijolo desses atinge um ticket médio equivalente a R\$ 0,05 e um comum varia entre R\$ 0,39 a R\$ 0,50, o que em termos demonstrativos atinge cerca de R\$ 300,00 em economia por milheiro fabricado.



Imagem 01: Representação do Tijolo Ecológico (Foto: ilheengenharia)

Com base em dados da ONU, o segundo material mais utilizado pelo homem (o cimento), que perde apenas para a água, é responsável por 5% da emissão de CO₂ que por até 1000 anos pode perdurar em nossa atmosfera.. Sem mencionar que durante sua fabricação são liberados óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e compostos de chumbo, todos poluentes. Além disso, duas das suas matérias primas são a argila e rochas calcárias. A retirada destes materiais da natureza pode acarretar em aprofundamento do leito de rios, erosões e desmoronamentos em jazidas, prejudicando por conseguinte a fauna e flora regional.

Conhecido como CPIII, esse tipo de cimento desde os anos 50 existe no Brasil, mas por ainda conter resíduos industriais, era alvo de aversão por parte dos consumidores. O produto reaproveita 70% do resíduo gerado pelas siderúrgicas e é isso que confere a ele uma função ecológica, afinal trata-se de uma opção mais resistente para as construções por ser mais durável que os demais. Além disso, se torna uma alternativa menos poluente para executar a mesma função do cimento tradicional. Haja vista que a produção do cimento ecológico é feita com a substituição parcial do clínquer (em até 70% em alguns casos) pela escória granulada de alto forno (rejeito das indústrias siderúrgica, termelétrica, de fundição e de carvão vegetal, que utilizado para essa finalidade, reduz as emissões de CO₂ em até 95% e o gasto de energia em 80%).



IMAGEM 02 – Representação do Cimento Ecológico (Foto: portalsuldabahia)

Bambu

Devido à importância construtiva, o bambu além de uma matéria-prima abundante, pertence a um hall dos produtos considerados renováveis. Seu rápido ciclo de renovação permite que anualmente o mesmo possa ser extraído sem causar prejuízos ao meio ambiente. No Brasil, mesmo que presente em grande, médio e pequeno porte, a tradição da construção utilizando Bambu não foi muito difundida, se comparada à materiais com características semelhantes, como o aço. Apesar disso, por ser muito resistente à tração, compressão e flexão, o mesmo figura entre as principais alternativas ao aço, e principalmente à madeira, em países como Índia, China e Equador, devido ao seu baixo ticket médio e à rapidez no processo de construção.

Além disso, por ser uma planta flexível, leve e durável, existe uma impressionante variedade de usos do bambu. O mesmo pode ser utilizado em áreas externas para sombreamento, quebra vento, drenagem. Não obstante, em áreas internas este material geralmente é usado na decoração, seja como revestimento de paredes ou artesanatos ao fim da utilização ou manutenção do mesmo, sugere-se a reciclagem, onde pode ser ainda processado e utilizado na produção de compósitos, para a sua reutilização como matéria prima. Por fim, o bambu também pode servir como estrutura para pilares, vigas e telhados, no entanto, para isso, é preciso que previamente o produto passe por um tratamento específico que o esterilize contra pragas, confirme uma manutenção acessível e a sua durabilidade.



IMAGEM 03 – Representação do Bambu como Material Construtivo (Foto: bbel)

Concreto Ecológico

Materiais como bagaço de cana, casca de arroz e objetos de cerâmica, apesar de parecerem lixo podem substituir até 40% do cimento utilizado para fabricar o concreto. Considerando que as fábricas de cimento são responsáveis por 7% da emissão gás carbônico (CO₂) na atmosfera, esse é um avanço ecológico significativo. Ademais, a brita, utilizada no concreto tradicional, também pode ser trocada por materiais obtidos em demolições de construções passadas, substituição inteligente que não compromete a qualidade do concreto. Além disso, caixas d'água e telhas podem ser utilizadas na fabricação de produtos de fibrocimento, reduzindo o uso de cimento pela metade.

Tais preocupações surgem ao observar-se o panorama do CO₂ produzido nos processos industriais, em especial o do concreto. Estima-se que em território brasileiro, se produz em média 70 milhões de toneladas de gás carbônico, quantidade essa que faz o país um dos 10 maiores geradores do mundo.

Telhas ecológicas

Por fim, vale ressaltar que outro produto sustentável existente são as telhas ecológicas. Fabricadas a partir de resíduos de fibras vegetais, seja de madeiras, como pinho e eucalipto, seja de não-madeiras, como bananeira e coco, as telhas ecológicas apresentam fácil manuseio, prática na instalação, trazem leveza à estrutura do telhado e possuem uma baixa transmissão de calor e som. Em paralelo, também existem materiais feitos de fibra de celulose, extraída de papel reciclado, os quais em ensaios de resistência apresentaram índices semelhantes a outras telhas, como por exemplo a de amianto (que possui vida útil de 70 anos e suporta 240 Kgf). A grande diferença é que o amianto, fibra mineral usada na fabricação das telhas convencionais, é um material perigoso, pois pode causar problemas respiratórios, assim como câncer no pulmão e Mesotelioma. Outro exemplo são as telhas fabricadas com resíduos sólidos (embalagem longa vida), e que possuem em sua composição plástico e metal. Onde, por ser aluminizada, além da durabilidade e resistência, ela atua na reflexão da luz solar, conferindo uma melhor sensação térmica ao ambiente.



IMAGEM 04 – Representação da Telha Ecológica (Foto: Sul Telhas)

Considerações Finais

Considera-se, portanto, que a busca por materiais mais sustentáveis na região nordeste deixa de ser apenas uma opção alternativa, bem como viável e de adoção necessária. Tendo em vista, todos os aspectos econômico-sociais supracitados, e as soluções já existentes no contexto atual da construção civil no nordeste. Com fito, as reduções de emissões de poluentes, a produção de resíduos e desperdício de matérias primas e de fontes de energia. Afinal, mesmo sendo renováveis em suma maioria, precisam de um período de tempo para essa renovação, o que atualmente não ocorre, haja vista, o déficit entre a parcela existente e a usual, ano após ano.

Aliado a isso, nota-se de forma orçamentária que as construções mais sustentáveis, assumem valores consideravelmente baixos em relação aos materiais usados atualmente. Tal diferença, atrai investidores em grandes centros mundiais, e a tendência brasileira, mesmo que tardia, é alinhar-se aos mesmos.

Com a evolução de mercado, será necessário que órgãos de normatização debatam e construam normas específicas e de caráter amplo e significativo à utilização dos novos entrantes no mercado de materiais de construção. Afinal, como observado, tratam-se de soluções para diversas problemáticas enfrentadas e que necessitam brevemente de soluções ecologicamente sustentáveis para a região nordeste.

Referências

Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável; Disponível em: <https://www.gov.br/mre/pt-br/delbrasonu/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel> Disponível em: . Acesso em: 09 dez. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:** Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://supremoambiental.com.br/wp-content/uploads/2018/07/nbr-n-10-004-abnt-2004-residuos-solidos.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2023

Brasil Escola. **Revolução Industrial;** Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/historiag/revolucao-industrial.htm> Acesso em: 15 nov. 2022

Chaledemadeira. **Cimento ecológico: opção sustentável para a construção civil.** Disponível em: <https://chaledemadeira.com/construcao/cimento-ecologico/> Acesso em: 11 dez. 2022

Construção civil e importante para o pib brasileiro; Disponível em: <https://www.acma.eng.br/blog/construcao-civil-e-importante-para-o-pib-brasileiro/> Acesso em: 14 nov. 2022

FLORES, C. Z. **Procedimento para especificação e compra de materiais da construção civil de menor impacto ambiental.** Dissertação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), 2011.

G1 (Alagoas). **Jovens alagoanas criam tijolo com cinzas do bagaço da cana-de-açúcar.** 2013. Disponível em: G1 - Jovens alagoanas criam tijolo com cinzas do bagaço da cana- de-açúcar - notícias em Alagoas (globo.com) . Acesso em: 16 nov. 2022

GOMES, Kauana; FAVERO, Marina. **Transformando entulhos da construção civil em novos produtos.** 2015

Ilheengenharia. **Tijolo ecológico: rendimento, estética e custo reduzem valor da obra;** Disponível em: <https://www.ilheengenharia.com.br/tijolo-ecologico-rendimento-estetica-e-custo-reduzem-valor-da-obra/>. Acesso em: 10 fev 2023

LEROYMERLIN. **Telha de Fibra Vegetal Ecológica.** Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/telhas-de-fibra-vegetal>. Acesso em: 11 dez. 2022

LIVEIRA, D. R. B.; **Estudo comparativo de alternativas para vedações internas de edificações.** Curitiba, 2013, 91p. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil)–Universidade Federal do Paraná, 2013.

MARÇAL, V. H. S. **Uso do bambu na construção civil.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Brasília (UnB), 2008.

Pensamento Verde. **Cimento ecológico: uma alternativa verde para a construção civil;** Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/arquitetura-verde/cimento-ecologico-alternativa-verde-construcao-civil/>. Acesso em: 10 fev 2023

Pensamento Verde. **Uso do bambu na construção civil**; Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/arquitetura-verde/bambu-construcao-civil/>. Acesso em: 10 fev 2023

RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S.; **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

RELATÓRIO BRUNTLAND NOSSO FUTURO COMUM; Disponível em: <https://www.franksustentabilidade.com.br/2017/10/relatorio-brundtland-nosso-futuro-comum.html> Acesso em: 16 nov. 2022

Regina Mambeli Barros; **Tratado Sobre Resíduos Sólidos: Gestão, uso e Sustentabilidade**. Editora Interciência; **1ª edição 2013**

Sustentabilidade na construção civil; Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/sustentabilidade-na-construcao-civil-eficiencia-energetica-como-diferencial-para-construtoras/> Acesso em: 14 nov. 2022

VANSAN, A. R. **Estratégias para utilização de materiais alternativos na construção civil**. Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA OCUPAÇÃO URBANA EM ÁREA SUSCETÍVEL A DESASTRE HIDROLÓGICO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

1 Sarah Ruy Aiolfi, 2 Dejanayne Paiva Zamprogo, 3 Jacqueline Rogéria Bringhenti

¹ Instituto Federal do Espírito Santo, e-mail: aiolfi.sarah@gmail.com; ² Instituto Federal do Espírito Santo, e-mail: dejanayne@ifes.edu.br; ³ Instituto Federal do Espírito Santo, e-mail: jacquelineb@ifes.edu.br

Palavras-chave: inundações urbanas; suscetibilidade; resiliência

Resumo

As mudanças climáticas é fator relevante na ocorrência de eventos hidrológicos extremos, como enchentes e secas. Entretanto as alterações antrópicas, como a ocupação desordenada e a urbanização sem planejamento adequado, aumentam a suscetibilidade às inundações em áreas próximas aos rios. No estado do Espírito Santo, as inundações são frequentes, representando uma porcentagem significativa dos desastres naturais. Dessa forma, o estudo teve como objetivo analisar a influência da ocupação urbana desordenada em áreas suscetíveis a desastres hidrológicos no município de Iconha e destacar a importância do planejamento urbano e da resiliência para lidar com esses eventos. Os resultados mostram a predominância de pastagens e declividades montanhosas na bacia hidrográfica, além da alta suscetibilidade a inundações nas áreas urbanas. Essas informações podem subsidiar a adoção de políticas públicas e medidas de gerenciamento de desastres para resiliência nas bacias estudadas.

Introdução

As mudanças climáticas propiciam constantes e crescentes incertezas sobre as consequências nos diversos ecossistemas existentes. Segundo Klug (2016), a “mudança climática é uma mudança atribuída direta ou indiretamente à atividade humana que altere a composição da atmosfera global”.

As mudanças climáticas se apresentam como um relevante ator na ocorrência de eventos extremos hidrológicos, que podem afetar as populações humanas em função das enchentes, secas, deslizamentos e transbordamentos nas várzeas (CURY, 2021). Vasconcellos *et al.* (2022) apontaram que com base nos dados da WWF (*World Wide Fund for Nature*) os eventos hidrológicos, tais como secas e enchentes, serão mais frequentes causando prejuízos sociais e econômicos, caso não aconteçam mudanças significativas nos comportamentos humanos.

Dentre as condições físicas do ambiente, a topografia, a hidrografia e a morfometria, aliado com o tipo de solo, são definidas em áreas como naturalmente suscetíveis a inundação (DANTAS, 2018). Entretanto, Pezante (2018) e Menegasso (2019) ressaltam que apesar do termo suscetibilidade induzir as características físicas do ambiente, as alterações antrópicas tais como a intensa urbanização sem o planejamento adequado, e principalmente a ocupação das margens de cursos d'água, podem propiciar o aumento da suscetibilidade às inundações de uma dada região.

As inundações em áreas urbanas podem ser compreendidas como o volume de água que perpassa os limites do curso hídrico, que geralmente não são ocupadas pelas inundações, em contrapartida, as enchentes ou cheias, são definidas como o aumento temporário do nível d'água em função do acréscimo de descarga (SILVA, 2013).

Segundo Tucci (2016), as inundações são oriundas de processos naturais relacionados com as características dos corpos hídricos, cujos efeitos adversos podem ser amplificados por ações antrópicas, tais como a construção de estruturas físicas. Ademais, as enchentes podem ocorrer principalmente em função das ocupações de áreas ribeirinhas e os processos de urbanização sem planejamento.

As instalações nas regiões de várzea e ribeirinhas apresentam predisposições a elevações dos níveis d'água, entretanto, quando ocorre períodos de estiagem, a população cria a sensação de segurança, o que estimula a ocupação das áreas inundáveis que apresentam alto grau de vulnerabilidade (SILVA, 2013).

Esses processos de inundações em áreas de ocupação próximas das margens dos rios, são frequentes no estado do Espírito Santo. Segundo o Plano Estadual de Proteção de Defesa Civil (PEPDEC, 2022), entre 2013 e 2020 ocorreram 794 desastres naturais, sendo 26% desses (207), desastres hidrológicos.

Assim, um dos pilares para o planejamento urbano deve ser a realização de estudos que delimitem e apresentem as áreas suscetíveis a inundações, com base no cruzamento dos diferentes usos do solo e as zonas de maior risco (SILVA, 2013). Segundo Freitas e Rocha (2014), outro pilar deve ser considerado a resiliência, que pode ser entendida como a capacidade de recuperação, retornando a um nível considerado como aceitável após eventos extremos.

Esse estudo apresenta uma análise comparativa da influência da ocupação urbana desordenada em áreas suscetíveis a desastres hidrológicos no município de Iconha do estado do Espírito Santo, e pretende contribuir com trabalhos futuros na região para subsidiar a criação de políticas públicas visando a resiliência dos municípios sujeitos a esses eventos.

Área de estudo

O município de Iconha está localizado na microrregião Litoral Sul e Macrorregião Sul do estado do Espírito Santo, (dentro da bacia do rio Iconha) ocupando uma área de 203,528 km², limitando-se com os municípios de Alfredo Chaves, Rio Novo do Sul, Piúma e Anchieta, conforme apresentado na figura 1.

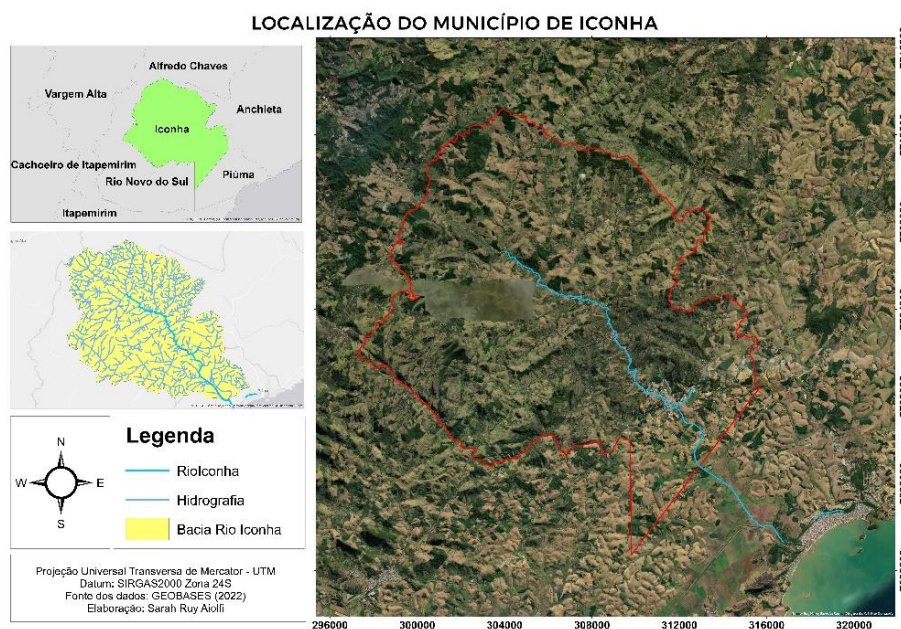


Figura 1: Mapa de localização do município de Iconha, no estado do Espírito Santo. Fonte: Autores (2023).

Segundo o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER, 2020), o município de Iconha está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Novo, cujo principal recurso hídrico é o Rio Iconha, tendo destaque também o Rio Itabapoana, na divisa com o município de Rio Novo do Sul. Além disso, cerca de 208 km², da bacia hidrográfica do rio Iconha, são drenados.

O padrão da disponibilidade hídrica na região, é em função do perfil de textura média dos solos e da profundidade efetiva do sistema radicular das principais culturas agrícolas produzidas no município. Entre os meses chuvosos (outubro a abril) ocorre um excedente hídrico acumulado de 295 mm, em contrapartida, nos meses de seca (maio a setembro) a redução das chuvas provoca a retirada de água do solo, porém em função do excedente acumulado ao longo do ano a quantidade retirada não provoca deficiência no saldo no solo.

Devido a geomorfologia do rio, as cheias ocorrem esporadicamente nos trechos urbanos, embora menos recorrentes e aliado a grande dimensão da bacia hidrográfica, um número significativo de casas residenciais poderá ser atingido no centro da cidade. Além disso, devido a existência de uma formação rochosa a jusante da área urbana do município, a profundidade do curso d'água é limitada, acumulando sedimentos à montante dessa área e causando o assoreamento do rio (INCAPER, 2020).

Ressalta-se que, conforme dados do Portal de Informações do Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional do período entre os anos de 1990 e 2023, no município de Iconha, foram registrados 14 eventos de desastres, sendo 7 desses para enxurradas/inundações e seca/estiagem com 2 ocorrências.

Metodologia

O levantamento bibliográfico com a finalidade de desenvolver um banco de informações sobre as áreas sujeitas às inundações urbanas, foi realizado essencialmente por buscas no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) gerido pelo Ministério da Educação que disponibiliza um vasto acervo de periódicos para consulta.

Quanto a base de dados, utilizou-se os documentos disponibilizados pelo Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito (GEOBASES), do Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN) e do Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA), para elaboração do mapeamento de áreas suscetíveis. A manipulação dos resultados de hipsometria, declividade e uso e cobertura da terra foi desenvolvida com base nas metodologias propostas por Caprario (2017), Caprario et al. (2019), Caprario e Finotti (2019) e adaptada por Cury et al. (2021).

Com base nos resultados do levantamento bibliográfico e os dados obtidos, desenvolveu-se os mapas de uso do solo, declividade, hipsometria e hidrografia que serviram de alicerces para execução do mapeamento das áreas suscetíveis a inundações, conforme apresentado na Figura 2.

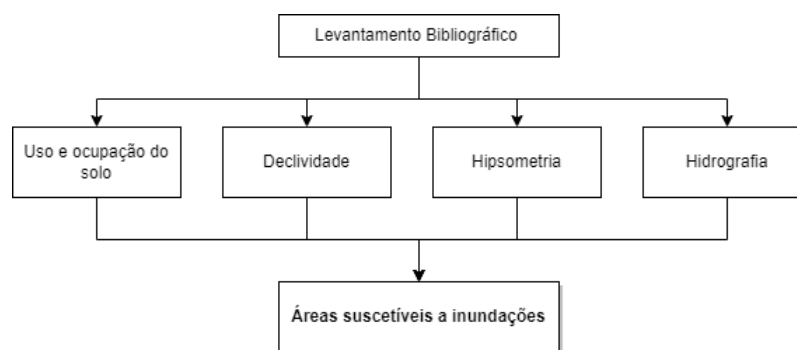


Figura 2: Esquema descritivo das etapas do estudo.

Elaboração dos mapas que foram utilizados no estudo:

Mapa de uso e ocupação do solo

Em posse dessas informações, o mapeamento do solo e ocupação do solo conteve a atribuição de notas às diferentes classes de permeabilidade do solo, em função da taxa de infiltração e da produção do escoamento superficial. Nesse sentido, a nota mais alta foi estabelecida para região comumente afetada por enchentes e as seguintes foram sucessivamente reduzidas de acordo com grau de encharcamento, a impermeabilização do solo e a densidade da vegetação, conforme a tabela 1.

Classes	Ponderação	Classes	Ponderação
Massa d'Água	10	Pastagem	4
Brejo	9	Macega	3
Área Edificada	8	Reflorestamento	2
Solo exposto/Extração Mineração/Afloramento Rochoso	7	Mata Nativa	1
Cultivos Agrícolas	5		

Tabela 1: Classificação e ponderação das classes do fator uso e ocupação do solo. Fonte: Adaptado de Caprario (2017).

Mapa de declividade

De acordo com Caprario (2017), o fator declividade influencia diretamente no processo de escoamento superficial, bem como no acúmulo de água no solo, ressaltando que em regiões planas as probabilidades de ocorrerem inundações são maiores que em regiões de planalto.

Em consonância, Prochmann (2014) destaca que a declividade é o fator mais influente no processo de escoamento superficial, visto que, a variação da declividade numa dada região propicia o aumento da velocidade do escoamento superficial e menor capacidade de armazenamento de água no solo.

Em posse dessas informações, o mapeamento de declividade teve como preceito a consideração da concentração do fluxo de escoamento superficial, que está diretamente relacionada à capacidade de armazenamento de água sobre a superfície do solo. Nesse sentido, a maior nota à classe de declividade considerada plana, reduzindo sucessivamente as notas conforme aumento da inclinação do terreno, conforme a tabela 2

Classes (%)	Ponderação	Classes (%)	Ponderação
0 – 3	10	20 – 45	4
3 – 8	7	45 – 75	3
8 – 20	5	>75	1

Tabela 2: Classificação e ponderação das classes do fator declividade. Fonte: Caprario (2017).

Mapa de hipsometria

De acordo com Prochmann (2014), o aumento da altimetria do terreno provoca a redução da probabilidade de ocorrência de inundações, em função da ação da gravidade que direciona o escoamento superficial para as regiões com menores elevações, favorecendo o acúmulo e, por seguinte, o aumento da probabilidade de enchentes.

Em consonância, Chaves e Peixoto (2015) ressaltam que as áreas que apresentam maior suscetibilidade à ocorrência de inundações estão associadas as regiões com menores cotas altimétricas, sendo comumente caracterizadas por zonas de ocupações ribeirinhas nas margens dos cursos hídricos.

Em posse dessas informações, o mapeamento hipsométrico conteve a atribuição de diferentes classes de altimetria em função a elevação do terreno como alicerce no processo de escoamento superficial, que pode acarretar no desenvolvimento de alagamentos e inundações em regiões com menores cotas. Nesse sentido, a nota mais alta foi na região com a cota mais baixa e, as seguintes foram reduzidas em função do aumento da altimetria, conforme a tabela 3.

Classes	Ponderação	Classes	Ponderação
0 – 250	10	750 – 1000	7
250 – 500	9	1000 – 1250	6
500 – 750	8		

Tabela 3: Classificação e ponderação das classes do fator hipsometria. Fonte: Adaptado de Caprario (2017).

Mapa das hidrografias

Para Caprario (2017), todos os cursos hídricos podem influenciar na ocorrência de cheias e inundações, visto que, a elevação do nível da água numa dada região e conseqüentemente o aumento da área alagada que atinge as áreas ribeirinhas, constituem um processo natural.

Em consonância, Robaiiana et al. (2013) ressalta que a probabilidade do risco de inundação pode estar diretamente relacionada com a largura do canal, dessa forma, canais com menores ordens podem dispor do risco de inundação relativamente baixo.

Em posse dessas informações, o mapeamento hidrográfico foi desenvolvido apenas em função da existência ou não de corpos d'água, nesse sentido, as regiões dispõem de cursos d'água a ponderação será maior, caso seja comparado às regiões sem recursos hídricos, conforme a tabela 4.

Classes	Ponderação
Existência	7
Ausência	3

Tabela 4: Classificação e ponderação das classes do fator hidrografia. Fonte: Caprario (2017).

Mapa de Suscetibilidade

Segundo Caprario (2017), o desenvolvimento de mapas contendo as informações de áreas suscetíveis a inundações e alagamentos, constitui como uma importante ferramenta para tomada de decisão, visto que, as mesmas apresentam as regiões de uma dada localidade que apresentam os maiores graus de risco.

Nesse sentido, a fim de auxiliar as políticas públicas tais como a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) instituída pela Lei Nº 12.608/2012 elaborou-se um mapa de suscetibilidade por meio da equação (1).

$$\text{Suscetibilidade} = P1\text{Uso e ocupação do solo} + P2\text{Declividade} + P3\text{Hipsometria} + P4\text{Hidrografia} \quad (1)$$

Onde: P1, P2, P3 e P4 correspondem as ponderações.

Os resultados encontrados pela formulação apresentada anteriormente foram classificados por meio da escala apresentada na Figura 3. Cabe destacar que para a menor suscetibilidade a inundações (Baixa) não devem ter ocorrido desastres hidrológicos significativos em um período de 5 anos e, em contrapartida, a maior suscetibilidade (Muito Alta) envolve dois fatores, sendo estes: a região deve ter sido acometida por 3 eventos extremos nos últimos 5 anos e a localidade deve dispor de habitações que propiciam alta vulnerabilidade, tais como áreas ribeirinhas.

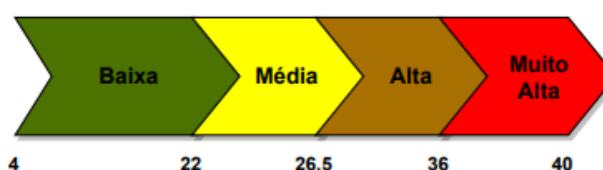


Figura 3: Escala de Suscetibilidade a inundações. Fonte: Adaptado de Caprario (2017).

Resultados

Mapa de uso e ocupação do solo

A partir da análise do mapa apresentado na figura 4, é possível observar que na bacia hidrográfica ocorre o predomínio de dois tipos do uso e ocupação do solo, sendo eles: as pastagens que se localizam de maneira concentradas na região a jusante dos distritos de Iconha, em contrapartida, nas regiões a montante essa vegetação tende a ser dispersa. Outro tipo do uso do e ocupação do solo é de cultivos agrícolas, que se localiza majoritariamente na região central da bacia ou de maneira espaçada a montante dos distritos.

Com relação a áreas urbanas é possível afirmar que dentre os usos e ocupação do solo, o segundo mais predominante são as pastagens, que propiciam a exposição do solo aos eventos hidrológicos extremos que podem acarretar no aumento do carreamento de partículas para os cursos hídricos e conseqüentemente o aumento da calha do rio, gerando alagamentos e inundações. Ressalta-se que nessas regiões também são encontradas áreas de reflorestamento e macegas.

USO DO SOLO NA BACIA DE ICONHA

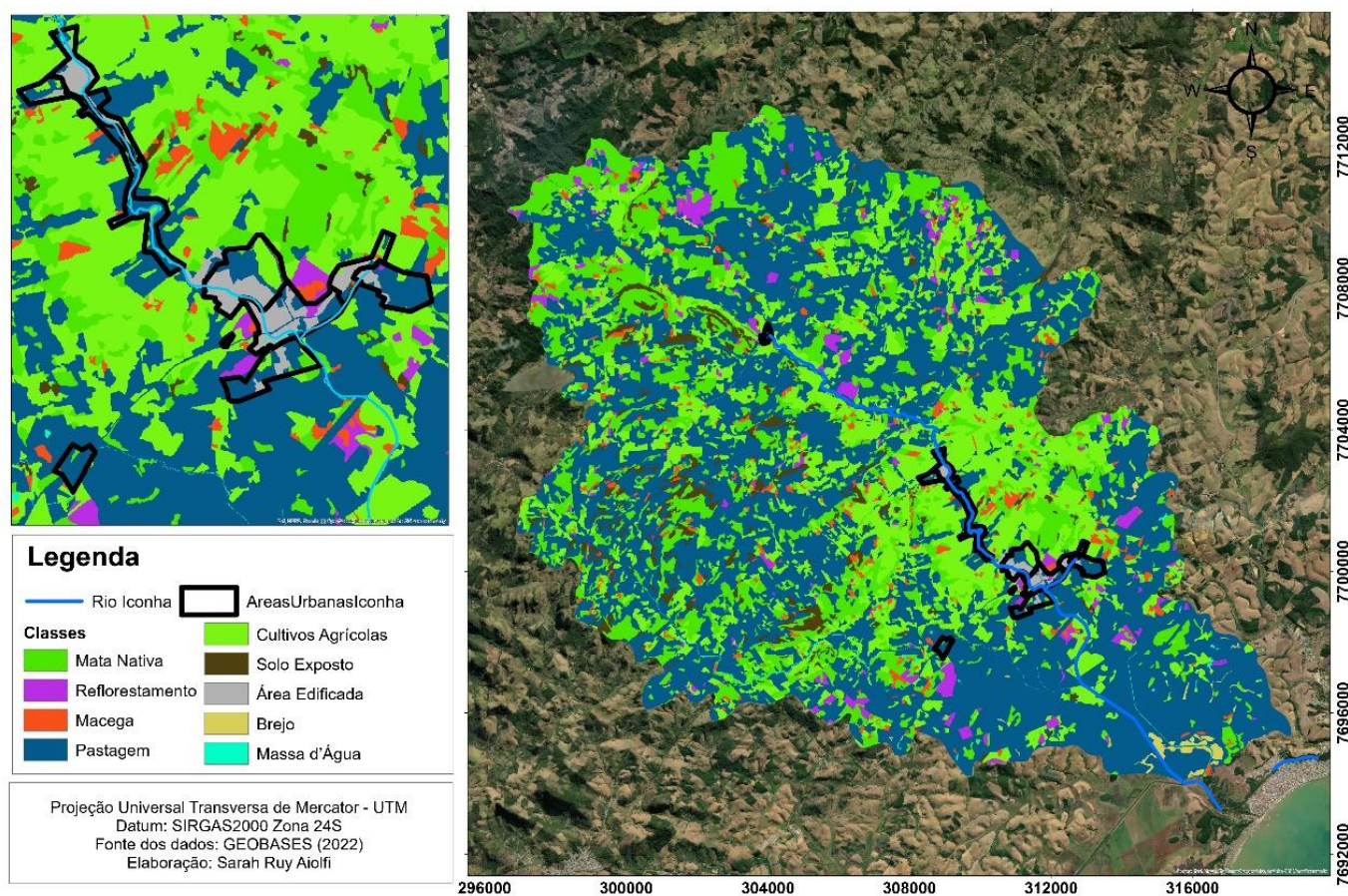


Figura 4: Mapa do uso do solo na bacia de Iconha. Fonte: Autores (2023).

Mapa de declividade

Analisando o relevo da bacia de Iconha disposto na figura 5, nota-se a predominância da classe montanhosa (45% - 75%) ao norte dos distritos urbanos, ademais na região da foz do rio Iconha é possível verificar que majoritariamente as classes planas (0% - 8%) se fazem presentes.

Com relação aos distritos urbanos representados pela cor preta é perceptível que o curso hídrico se encontra nas declividades planas ou suavemente ondulados enquanto as regiões próximas apresentam características fortemente onduladas. Cabe destacar que as comunidades do município se concentram em regiões ribeirinhas, ou seja, nas margens do curso hídrico podendo acarretar no aumento do escoamento superficial e conseqüentemente na elevação do corpo d'água.

DECLIVIDADE NA BACIA DE ICONHA

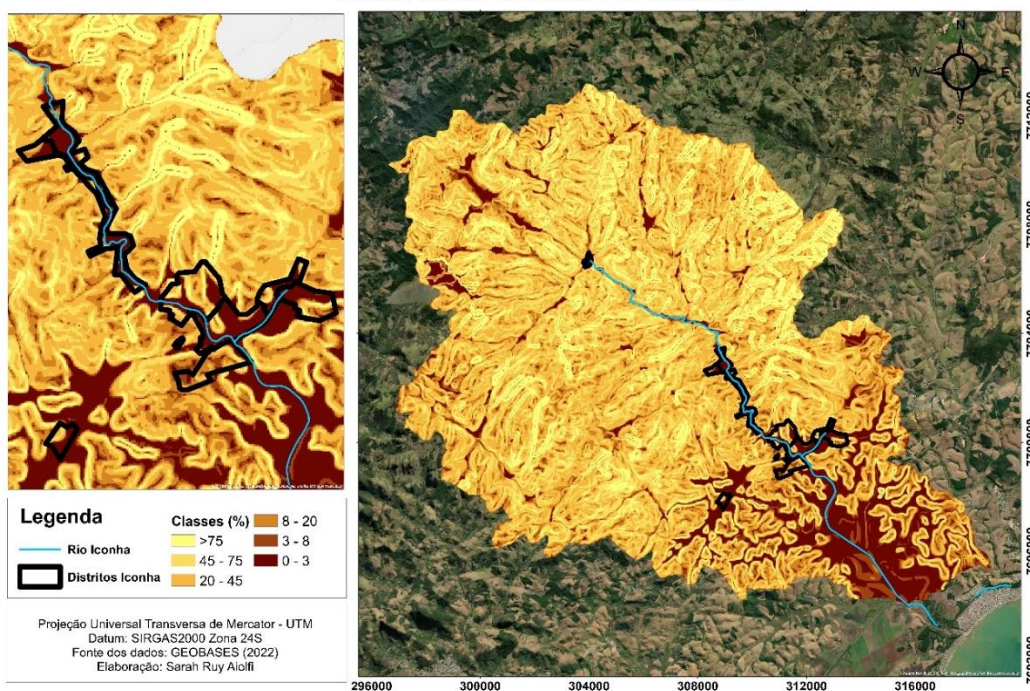


Figura 5: Mapa de declividade na bacia de Iconha. Fonte: Autores (2023).

Mapa de hipsometria

Observando a altimetria retratada na figura 6, é notório que na região dos distritos municipais até a foz da bacia do rio Iconha, a hipsometria dispõe de curvas de níveis que variam entre 0 – 250 metros. Em relação as áreas de jusante são possíveis destacar o aumento da altimetria à medida que se aproxima das regiões limitantes, em que as altimetrias podem variar entre 750 – 1000 metros.

Cabe destacar que o distrito urbano do município de Iconha, se localiza em regiões de menores altimetrias, ou seja, regiões que tendem a ser planas ou suavemente onduladas. Nesse cenário, encontram-se as localidades que podem dispor das maiores chances de serem acometidos por desastres hidrológicos extremos.

HIPSOMETRIA NA BACIA DE ICONHA

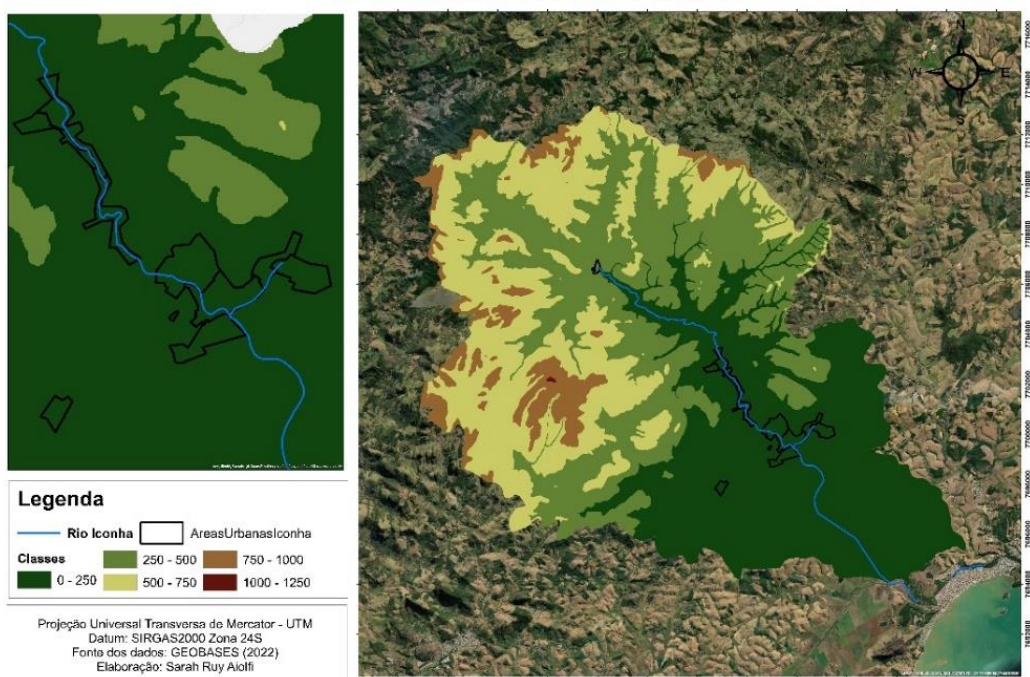


Figura 6: Mapa de hipsometria na bacia de Iconha. Fonte: Autores (2023).

Mapa de hidrografia

Analisando a hidrografia da bacia Iconha, disposto na Figura 7 é possível verificar fortes influências dos assentamentos urbano humano nas margens dos cursos d'água, visto que, as comunidades se desenvolveram nas regiões ribeirinhas. Segundo Tucci (2016) nas épocas de estiagem tais regiões apresentam segurança para os habitantes favorecendo as ocupações irregulares das margens, entretanto, nas estações chuvosas o curso hídrico tende a aumentar atingindo os distritos.

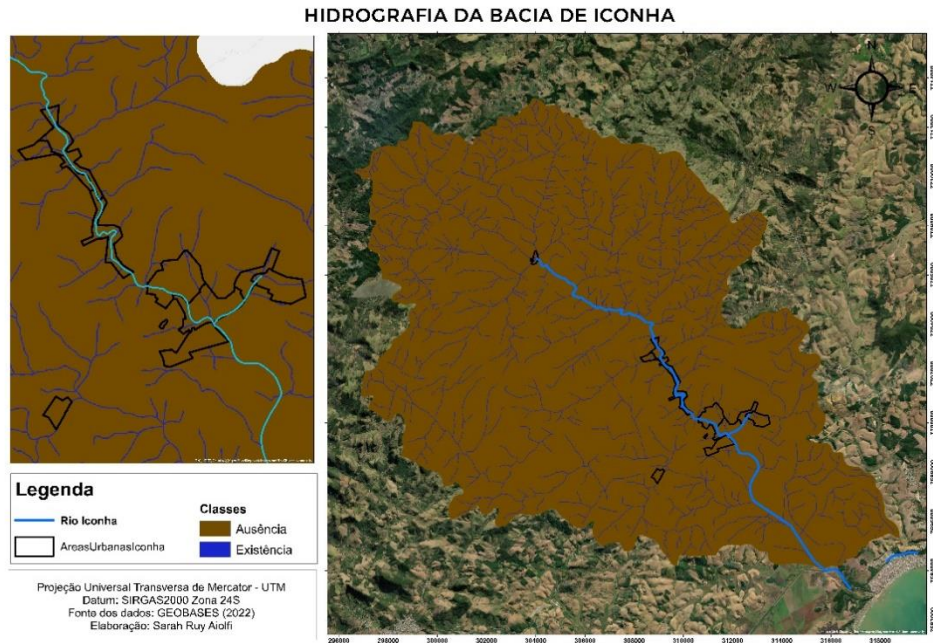


Figura 7: Mapa da hidrografia na bacia de Iconha. Fonte: Autores (2023).

Mapa de suscetibilidade

O mapeamento de suscetibilidade conteve quatro intervalos de classes, de acordo com o grau de suscetibilidade da região, conforme disposto na Figura 8, enquanto, os resultados estatísticos foram sistematizados e seguem apresentados na tabela 4.

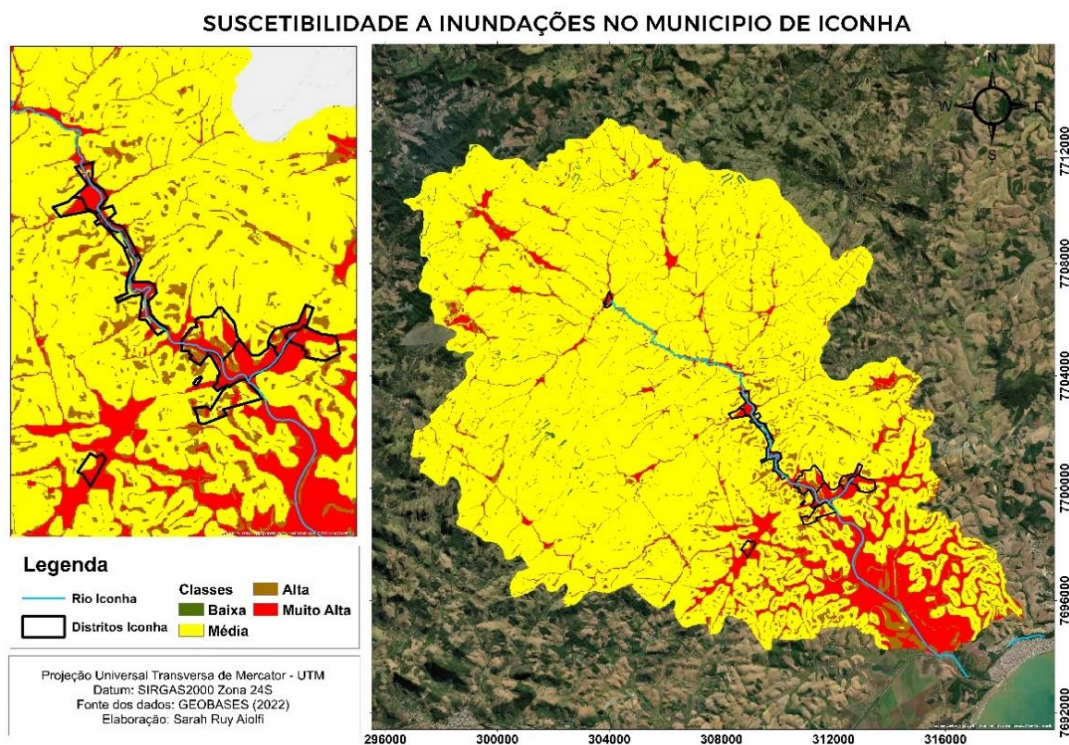


Figura 8: Mapa da suscetibilidade a inundações na bacia de Iconha. Fonte: Autores (2023).

Suscetibilidade	Área da bacia hidrográfica (ha)	%	Área urbana (ha)	%
Baixa	71,52	0,27	-	-
Média	22096,36	83,56	104,04	30,34
Alta	1808,6	6,84	51,20	14,93
Muito Alta	2466,16	9,33	187,72	54,74

Tabela 4: Área percentual suscetível a inundações na bacia de Iconha. Fonte: Autores (2023).

Analisando a tabela 4, é possível destacar que na bacia de Iconha 83,56% apresenta suscetibilidade média a inundações, enquanto que apenas 0,27% da bacia conteve baixa suscetibilidade a inundações. No que tange as classes consideradas como alta e muito alta as áreas percentuais foram de 6,84% e 9,33%, respectivamente.

Cabe ressaltar que as áreas urbanas, ou seja, os distritos do município de Iconha dispõem de 187,72 ha (54,74%) de suscetibilidade muito alta a inundações, sendo sucedida pela classe média e alta, com 104,04 ha (30,34%) e 51,20 ha (14,93%), respectivamente. Nessas áreas não foi possível encontrar regiões com baixa suscetibilidade a inundações.

Em relação as áreas urbanas são notórias destacar que os distritos de Iconha, encontram-se majoritariamente em áreas com alta ou muito alta suscetibilidade a inundações, sendo esse fato, podendo ser principalmente relacionado com a declividade da região, visto que, o relevo da região a montante tende a ser montanhoso que pode acarretar no aumento do escoamento superficial nas regiões seguintes, e por conseguinte, a elevação da suscetibilidade da região.

Conforme Cunha et al. (2012) essas altas taxas de suscetibilidade a inundações podem ser explicadas em função das relações entre a declividade, que em regiões com tendência a serem planas pode acarretar o aumento da chance de inundações, a existência da hidrografia próximo as cidades que pode acarretar o aumento do nível do cursos hídricos na ocorrência de eventos extremos, e o uso do solo extrativista que expõe o solo ao carreamento de partículas que ocasionam o assoreamento do curso hídrico e consequentemente o aumento do nível d'água em períodos de maior pluviosidade.

Conclusão

A partir dos resultados apresentados foi possível concluir que:

1) A análise do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica de Iconha revelou que as áreas mais comuns são pastagens e cultivos agrícolas, abrangendo a maior parte da região. Nas áreas urbanas do município, as pastagens também são predominantes, o que pode resultar na exposição do solo e no assoreamento dos cursos hídricos.

2) A análise da declividade indica que a região ao norte dos distritos urbanos é predominantemente montanhosa (45% - 75%), enquanto na região da foz do rio Iconha, a maior parte das áreas é plana (0% - 8%).

3) O estudo da hipsometria mostra que desde os distritos municipais até a foz da bacia do rio Iconha, as curvas de nível variam entre 0 e 250 metros. À medida que nos aproximamos das regiões limítrofes, observa-se um aumento na altitude, com altimetrias que variam entre 750 e 1000 metros.

4) O mapa de suscetibilidade revela que 83,56% da bacia de Iconha apresenta média suscetibilidade a inundações, enquanto apenas 0,27% tem baixa suscetibilidade. As áreas consideradas de alta e muito alta suscetibilidade correspondem a 6,84% e 9,33% da bacia, respectivamente.

5) Nas áreas urbanas, ou seja, nos distritos do município de Iconha, cerca de 187,72 hectares (54,74%) têm uma suscetibilidade muito alta a inundações. Em seguida, as classes de suscetibilidade média e alta abrangem 104,04 hectares (30,34%) e 51,20 hectares (14,93%), respectivamente. Não foram encontradas áreas nessas regiões com baixa suscetibilidade a inundações.

6) As informações técnicas deste estudo poderão subsidiar, a defesa civil, quanto a adoção de políticas públicas com medidas relacionadas ao gerenciamento de desastres e ações de resiliência seja por meio da implantação de infraestrutura (medidas estruturais) ou de políticas públicas (medidas não estruturais), em trechos estratégicos das bacias.

Referências

CAPRARIO, Jakcemara. Desenvolvimento de um instrumento para o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações urbanas. 2017. 223f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

CAPRARIO, Jakcemara; FINOTTI, Alexandra Rodrigues. Socio-technological tool for mapping susceptibility to urban flooding. *Journal Of Hydrology*, v. 574, p. 1152-1163, abr. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.005>

CAPRARIO, Jakcemara; RECH, Aline Schuck; TASCA, Fabiane Andressa; FINOTTI, Alexandra Rodrigues. Influence of drainage network and compensatory techniques on urban flooding susceptibility. *Water Science & Technology*, Londres, v. 79, n. 6, p. 1152-1163, mar. 2019. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.113>

CHAVES, I. S. B; PEIXOTO FILHO, G. E. Identificação de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações na Região Administrativa Fercal (RA XXXI). XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. João Pessoa –PB. 2015

CUNHA, Lúcio; LEAL, Cátia; TAVARES, Alexandre; SANTOS, Pedro. Risco de inundação no município de Torres Nova (Portugal). **Revista Geonorte**, Manaus, ed. Especial, n. 4, p. 961-973. 2012.

CURY, Marlon Domingos et al. Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação como informação para o planejamento e a gestão territorial em bacia hidrográfica. 2021.

DANTAS, Camila Galindo. Experiências e aprendizado: Rio Aricanduva: prevenção, resposta e mitigação. In: Melhor prevenir: Olhares e saberes para a redução de risco de desastre. SULAIMAN, Samira Nascimento; JACOBI, Pedro Roberto. São Paulo: IEE-USP, 2018.

FREITAS, C. M.; ROCHA, V. (Org.). Agentes locais em desastres naturais: defesa civil e saúde na redução de riscos: livro do aluno. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2014.

INCAPER. Plano Diretor de Águas Pluviais e Fluviais do Município de Iconha. Governo do estado do Espírito Santo, 2020.

KLUG, Letícia Becalli; MARENGO, Jose A.; LUEDEMANN, Gustavo. Mudanças climáticas e os desafios brasileiros para implementação da nova agenda urbana. 2016.

MENEGASSO, Juliana Debiasi. **Mapeamento do risco de inundação na bacia hidrográfica do Rio Belo, Orleans, SC.** 2019. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma, 2019.

PEPDEC. **Plano estadual de proteção de defesa civil.** Governo do Espírito Santo, 2022.

PROCHMANN, João Ricardo. **Análise especial da suscetibilidade à inundações na bacia hidrográfica do Córrego Grande, Florianópolis – SC.** 2014. 88f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

ROBAIANA, L. E. S; KORMANN, T. C; SCHIRMER, G. J. Zoneamento das inundações na área urbana de Alegrete – Rio Grande do Sul – Brasil. *Rev. Geociências*. 2013; 32(2): 346-355.

SILVA, Carla Voltarelli Franco. **Planejamento do uso e ocupação do solo urbano integrado ao mapeamento de áreas com risco de inundação.** Dissertação (Mestrado) mestre em engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

TUCCI, C. E. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. *REGA*, Porto Alegre, v. 13, n.1, p. 29-42, jan/jun 2016.

Vasconcellos, Fernanda Luisa Martins; Vieira, Kathleen Gomes; Pozzobon, Liara Luiza Durigon. Os desastres brasileiros e suas relações com as mudanças climáticas. 2022.

ASPECTOS MORFOMÉTRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO BARTOLOMEU

¹ Anna Clara Brandão Lima Nascimento, ² Rodrigo Marques do Nascimento, ³ Newton Moreira de Souza

¹ Universidade de Brasília, e-mail: aclarabrandao@outlook.com; ² Universidade de Brasília, e-mail: nmsouza@unb.br;

³ Universidade de Brasília, e-mail: rodrigo.nascimento@aluno.unb.br

Palavras-chave: Morfometria; Cerrado.

Resumo

As bacias hidrográficas são objeto de regulamentação por órgãos ambientais, haja visto sua necessidade de conservação para garantir a disponibilidade de recursos hídricos, harmonia entre o uso do solo, conservação ambiental e desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, busca-se estudar esses ambientes, especialmente por meio da morfometria, para caracterizá-los e aprimorar o seu uso e gestão. O presente trabalho objetiva analisar o relevo da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, com base na morfometria, e identificar o uso antrópico e a cobertura vegetal na área. A bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, situada em parte do território do Estado de Goiás e do Distrito Federal, está contida dentro do Bioma Cerrado, o qual apresenta elevadas taxas de desmatamento, acarretando em danos ambientais. Para a realização do estudo utilizou-se do MDE proveniente da missão SRTM, imagem do satélite Landsat, dados do PMDBBS e das bases cartográficas do Distrito Federal e estado de Goiás. Os procedimentos metodológicos foram aplicados com a utilização do *software* ArcGis Pro, foram gerados mapas de hipsometria, declividade e uso antrópico e cobertura vegetal da área de estudo. Como resultados, tem-se que o intervalo hipsométrico predominante na bacia está entre 850,1 m e 950 m, além disso, predominam na área declividades inferiores à 20%. Quanto ao uso antrópico e cobertura vegetal, a classe predominante na bacia, 60,71%, é uso antrópico. Os índices morfométricos analisados indicam que a bacia possui formato alongado, com baixa densidade de drenagem.

Introdução

A bacia hidrográfica consiste em uma área de captação natural de água, onde o escoamento é direcionado para um único ponto de saída, o exutório (Tucci, 1997). A instituição da bacia hidrográfica como unidade espacial de gestão ocorreu por meio da Lei n° 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Além disso, a resolução CONAMA 001/86 (Conselho Nacional de Meio Ambiente), no artigo 5° declara que a realização de estudos de impacto ambiental deve considerar a bacia hidrográfica.

Diante da importância das bacias hidrográficas, diversas pesquisas são desenvolvidas no intuito de entendê-las, caracterizá-las e, por conseguinte, indicar a forma adequada de uso, ocupação e preservação dos recursos naturais presentes nesses ambientes. Nesse âmbito, a geomorfologia, que se caracteriza como a ciência que estuda as formas de relevo, sua gênese, composição e os processos que nele atuam, busca produzir índices capazes de qualificar o relevo, corroborando para aprimorar a sua leitura (Florenzano, 2016). A partir desses parâmetros, também denominados de índices morfométricos, têm-se uma visão preliminar sobre velocidade de fluxo de água na superfície, suscetibilidade a enchentes, processos erosivos, entre outros.

A bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, situada em parte do território do Estado de Goiás e do Distrito Federal, está contida dentro do Bioma Cerrado. Um estudo realizado por Machado *et al.* (2004) evidenciou que 54,9% deste bioma foi desmatado até o ano de 2002. O estudo também identificou que as regiões que ainda possuem vegetação preservada são a Serra do Espinhaço, no Estado de Minas Gerais, Serra da Mesa em Goiás e norte do Distrito Federal, Ilha do Bananal, na planície do rio Araguaia, Oeste do Estado da Bahia e porção sul dos estados do Piauí e Maranhão. Klink e Machado (2005) ressaltam que as taxas de desmatamento no Bioma são altas, superando as taxas de desmatamento na Amazônia, e resultam em grandes danos ambientais como a perda da biodiversidade e a erosão dos solos.

Diante do contexto apresentado, o estudo das características físicas de bacias hidrográficas mostra-se como uma alternativa para subsidiar a conservação dos recursos naturais (Flauzino *et al.*, 2010). Para isso, as geotecnologias, definidas por Rosa (2005), constituem instrumentos para a coleta, processamento, análise e oferta de informação com referência geográfica. As geotecnologias englobam as técnicas de Sistemas de Informação Geográfica, Cartografia Digital e Sensoriamento Remoto, dentre outras.

Desta forma, este estudo se propõe a analisar o relevo da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, com base na morfometria, e identificar o uso antrópico e a cobertura vegetal na área. A análise utiliza, principalmente, o Modelo Digital de Elevação (MDE) oriundo da missão *Shuttle Radar Topographic Mission* – SRTM para mapeamento morfométrico e as ferramentas de tratamento de dados do *software* ArcGis Pro, para composição e representação dos resultados obtidos no trabalho.

Materiais e Métodos

A área sobre a qual se debruça o presente estudo é a bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, situada nos territórios do Distrito Federal, abrangendo o Plano Piloto e as Regiões Administrativas Águas Claras, Arapoanga,

Arniqueira, Braslândia, Candangolândia, CIA, Cruzeiro, Guará, Itapoã, Jardim Botânico, Lago Norte, Lago Sul, Núcleo Bandeirante, Paranoá, Park Way, Planaltina, Riacho Fundo, Riacho Fundo II, Samambaia, Santa Maria, São Sebastião, SCIA, Sobradinho, Sobradinho II, Sudoeste/Octogonal, Taguatinga, Varjão e Vicente Pires, e do Estado de Goiás, ocupando parte dos municípios Cidade Ocidental, Cristalina, Formosa, Luziânia, Planaltina e Valparaíso de Goiás. A bacia está, portanto, dentro da área da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE). O rio São Bartolomeu possui extensão de 306,78 km, a área de contribuição da bacia totaliza 5.483,7 km², sendo 2.562,6 km² dentro do Distrito Federal e 2.921,1 km² no Estado de Goiás.

A geologia da área de estudo é marcada pela presença de rochas metassedimentares e é composta pelos grupos Paranoá e Canastra (Sena-Souza *et al.*, 2013). O Grupo Paranoá ocupa grande parte do Distrito Federal, a estratigrafia é formada por Metassilito Argiloso, Ardósia, Metarritimto Arenoso e Metarritimto Argiloso. Esse grupo é de idade Meso-neoproterozóica e apresenta estruturas sedimentares bem preservadas, devido ao baixo grau de metamorfismo. O Grupo Canastra possui três formações: Serra do Landim, Paracatu, e Chapada dos Pilões, esta última tem pouca ocorrência na área de estudo. Os afloramentos deste Grupo apresentam elevados níveis de intemperismo (Freitas-Silva e Campos, 1998).

As classes de solo presentes na bacia hidrográfica em estudo são Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo Háptico, Plintossolo e Neossolo Litólico. Os Latossolos e o Cambissolo são fortemente predominantes na área. Por sua vez, a geomorfologia é composta por nove unidades: Chapadas, Frentes de Recuo Erosivo, Rampas de Colúvio, Depressões Dissecadas, Mesas, Colinas, Cristas e Planícies Fluviais (EMBRAPA, 2013).

A área de estudo está inteiramente contida no bioma Cerrado, a vegetação deste bioma é composta por formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre) (Ribeiro e Walter, 2008). De acordo com Sena-Souza *et al.* (2013), a bacia do rio São Bartolomeu abriga todos os tipos fisionômicos do bioma Cerrado.

Para a realização do estudo, utilizou-se dos seguintes materiais:

- Modelo Digital de Elevação (MDE) do *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM, disponibilizado pelo *United States Geological Survey* – USGS, com resolução espacial de 30 metros.
- Dados do Projeto Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros (PMDBBS), do ano de 2008, obtidos no portal do Ministério do Meio Ambiente.
- Imagem do satélite Landsat 9 da área de estudo, da data 01/07/2023, também disponibilizada pelo USGS, com tratamento atmosférico (Nível 2).
- Base cartográfica do Estado de Goiás, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, na escala 1:100.000.
- Base cartográfica do Distrito Federal, na escala 1:10.000, disponível no GeoPortal.

Todos os procedimentos técnicos foram realizados no *software* ArcGIS Pro.

Dispondo dos dados necessários, inicialmente foi realizada a delimitação da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu. Para isso, sobre o MDE foi aplicada a ferramenta *fill* para a correção das depressões. A partir do MDE corrigido gerou-se um *raster* de Direção de Fluxo a partir da aplicação do algoritmo D8, por meio da ferramenta *Flow Direction*. A partir da hidrografia presente na base cartográfica do Estado de Goiás, sobreposta ao *raster* de direção de fluxo, identificou-se o ponto final do curso d'água por um arquivo *shapefile* de ponto no final do curso do rio. Assim, utilizou-se a ferramenta *Watershed* para delimitar a bacia de contribuição acima do ponto de exutório.

Também a partir do MDE foram geradas as cartas de hipsometria, pelo fatiamento do MDE, e declividade, pela aplicação da ferramenta *Slope*.

Em seguida, com base nos dados de direção de fluxo e acumulação de fluxo, definiu-se a rede de drenagem e, posteriormente, procedeu-se com o cálculo dos índices morfométricos, quais sejam: coeficiente de compacidade, fator de forma e densidade de drenagem.

Por sua vez, o mapa de uso antrópico e cobertura vegetal foi elaborado a partir dos dados do Projeto Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros (PMDBBS), e de imagem do satélite Landsat 9. O procedimento consistiu em criar uma composição RGB de cores naturais, utilizando as bandas B4, B3 e B2, respectivamente.

Resultados e Discussão

A amplitude altimétrica da bacia em estudo é de 576 metros, a altimetria varia entre 731 metros e 1.307 metros, conforme apresentado no mapa da figura 1. As cotas foram divididas em cinco classes altimétricas, com intervalos variando de 731 m a 850m, 850 m a 950 m, 950 m a 1050 m, 1050 m a 1150 m e 1150 m a 1307 m, conforme apresentado no quadro 1. O intervalo altimétrico entre 850 m e 950 m é predominante na bacia, ocupando 34,2 % da área. A área de estudo possui 79% da área situada entre 850,1 m e 1.050 m.

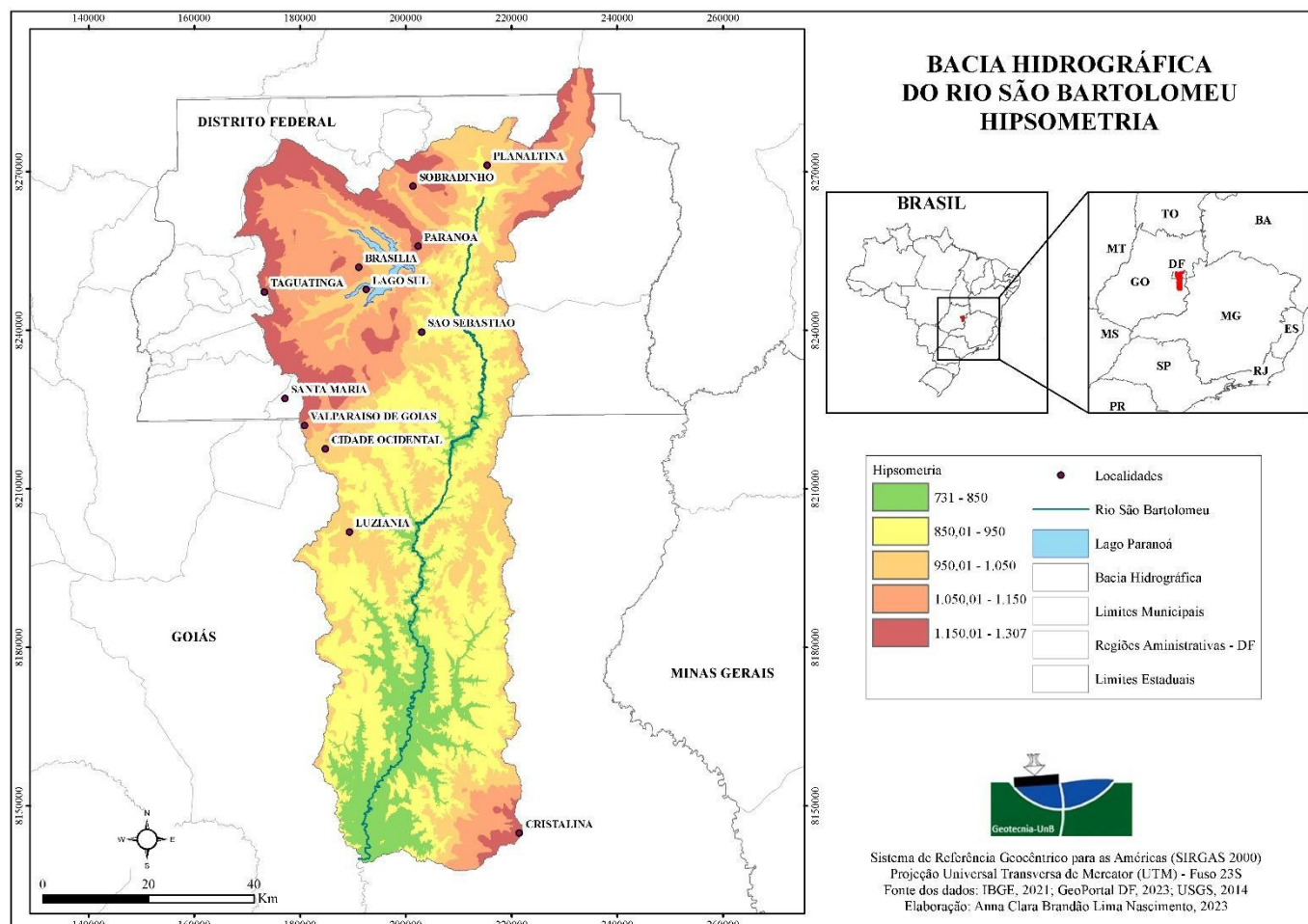


Figura 1: Bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu: Hipsometria

Classe	Intervalo hipsométrico	Área (Km ²)
1	731 – 850	633,9
2	850,1 – 950	1.878,3
3	950,1 – 1050	1.372,4
4	1050,1 – 1150	1.080,6
5	1150,1 – 1307	518,5

Quadro 1: Área correspondente as classes hipsométricas da área de estudo

Por sua vez, a declividade é definida como a inclinação da superfície em relação ao plano horizontal, expressa em graus ou porcentagem (Florenzano, 2016). É um parâmetro morfométrico que condiciona o escoamento superficial da água, determinando a velocidade do fluxo, também se relaciona ao potencial erosivo e às potencialidades de uso agrícola e ocupação do solo (Flauzino *et al.*, 2010).

A figura 2 apresenta o mapa de declividade da área de estudo, a declividade foi dividida em cinco classes: menor que 3%, correspondente ao relevo plano, entre 3% e 8%, relevo suave ondulado, entre 8% e 20%, relevo ondulado, entre 20% e 45%, relevo forte ondulado, e acima de 45%, correspondente às formas de relevo montanhoso e escarpado (EMBRAPA, 2018). O quadro 2 apresenta a área referente a cada classe de declividade.

A forma de relevo predominante na bacia estudada é suave ondulado, corresponde ao intervalo de 3% a 8% de declividade, ocupando 43,9% da área. De maneira geral observa-se na área de estudo o predomínio de declividades inferiores a 20%, valores superiores de declividade, correspondente às formas de relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado ocupam apenas 6,5% da área. Flauzino *et al.* (2010) afirmam que áreas com baixos valores de declividade são típicas da região do Cerrado.

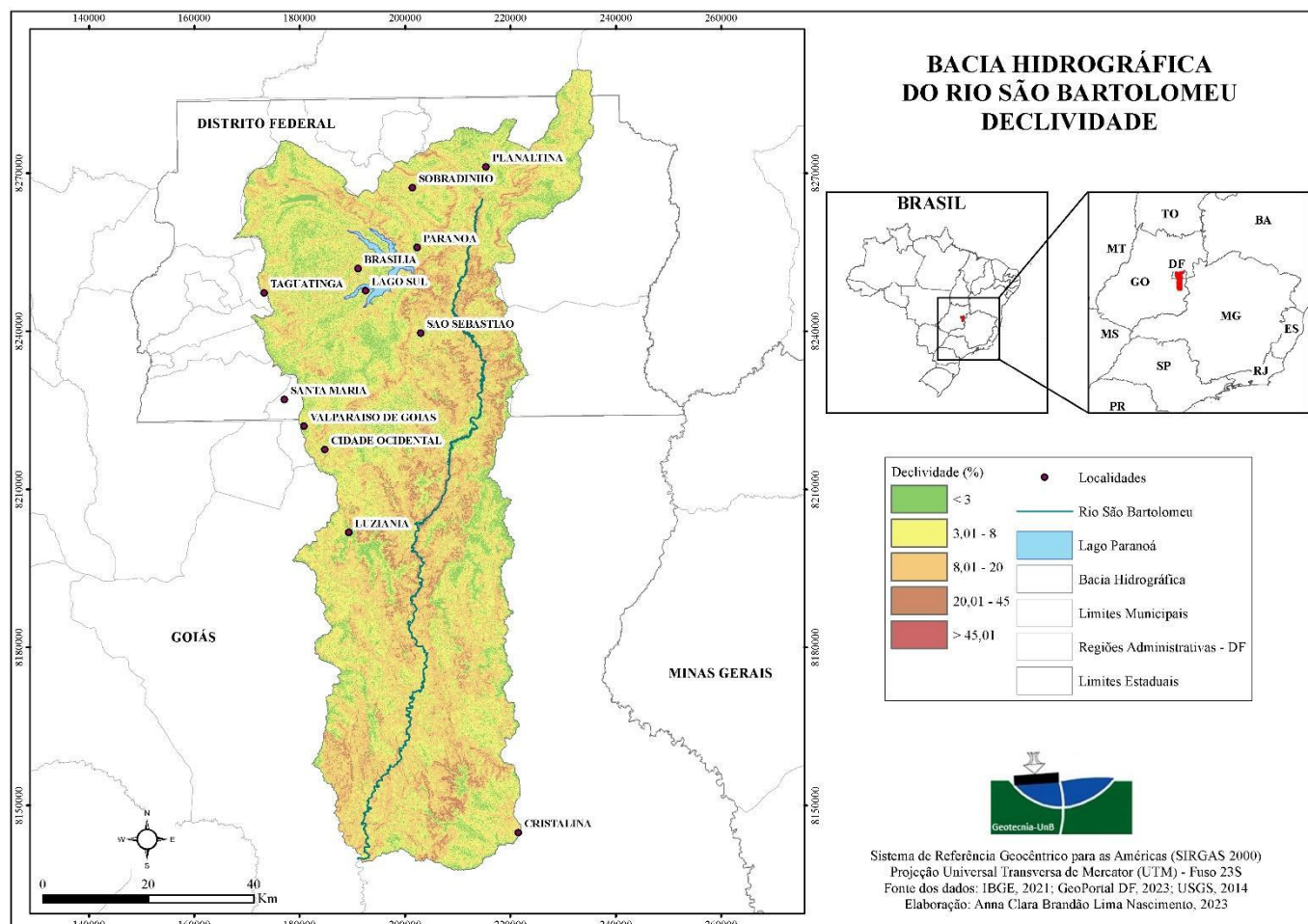


Figura 2: Bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu: Declividade

Classe	Intervalo	Área
1	< 3	1000,9
2	3 – 8	2405,7
3	8 – 20	1719,1
4	20 – 45	346,1
5	> 45	11,9

Quadro 2: Área correspondente as classes de declividade da área de estudo

A análise do uso antrópico e da cobertura vegetal na bacia do rio São Bartolomeu utilizou dados do Projeto Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros, bem como imagem do satélite Landsat 9. Os produtos cartográficos gerados estão apresentados na figura 3. De acordo com os dados do PMDBBS, a cobertura vegetal remanescente do Cerrado, bioma que ocorre em toda a bacia hidrográfica, ocupa uma área de 2103,5 km², o que corresponde a 38,36% da área total estudada. A classe dos corpos hídricos ocupa 51 km², 0,93% da área. A classe predominante corresponde a área de interferência antrópica, ocupando 3329,1 km², 60,71% da área.

Alguns dos corpos hídricos identificados na área de estudo são o lago Paranoá, lago Santa Maria, localizado no Parque Nacional de Brasília, lago do Jaburu e lagoa Bonita, dentro do Distrito Federal. No Estado de Goiás tem-se a represa Goiás Verde, no município de Cristalina.

Na porção da bacia pertencente ao território do Distrito Federal as maiores áreas de vegetação preservada correspondem a áreas definidas como Macrozonas de Proteção Integral pelo Plano Diretor de Ordenamento Territorial do DF, são a Estação Ecológica de Águas Emendadas, o Parque Nacional de Brasília, a Estação Ecológica do Jardim Botânico e a Área de Proteção Ambiental das Bacias do Gama e Cabeça de Veado.

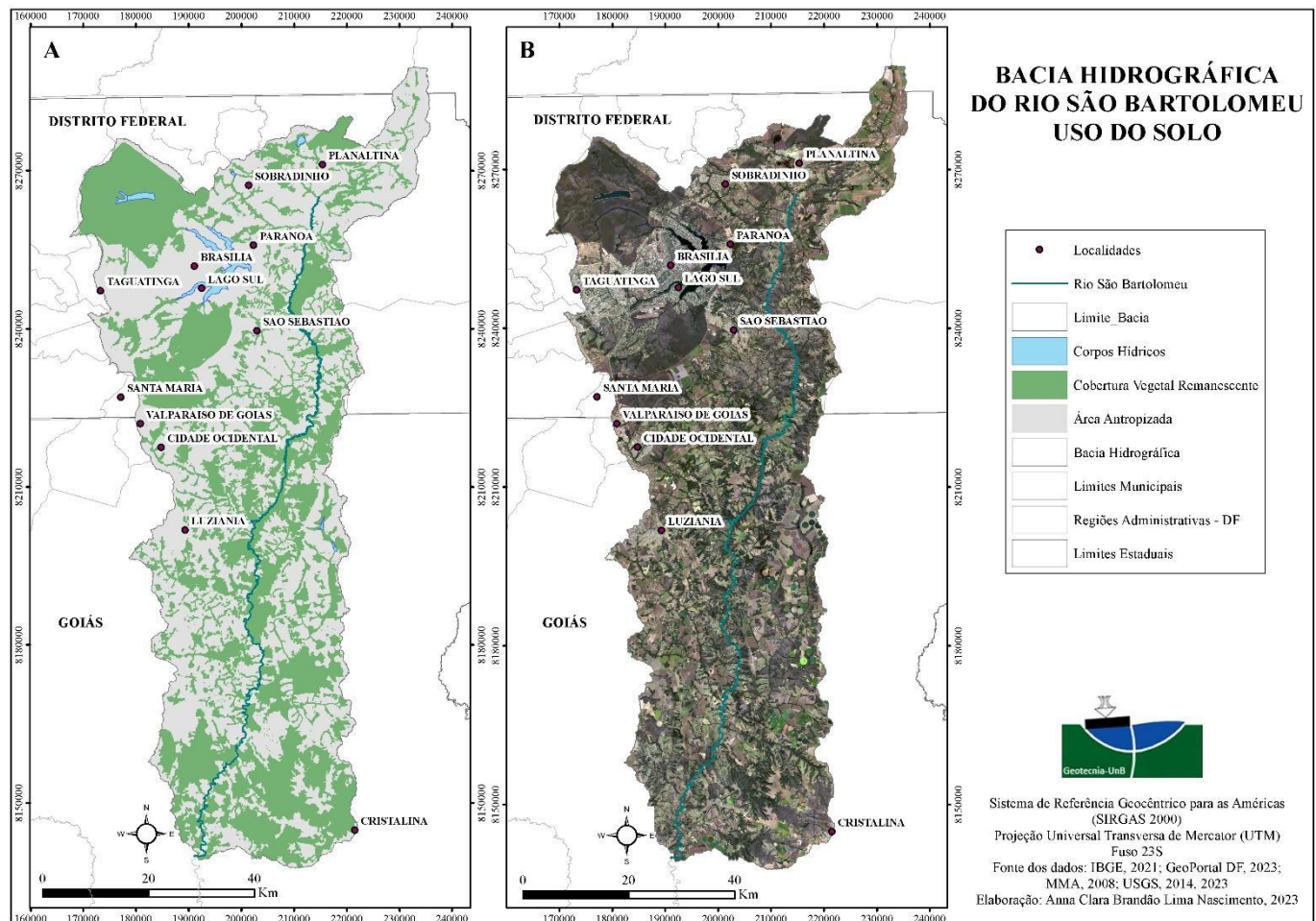


Figura 3: Bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu: Uso do solo. A) Corpos hídricos, cobertura vegetal remanescente do bioma Cerrado e uso antrópico (Fonte: Projeto Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros, MMA, 2008). B) Composição RGB de cores naturais de imagem do satélite Landsat 9.

Classe	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Corpos Hídricos	51,0	0,93
Cobertura Vegetal Remanescente	2103,5	38,36
Área Antropizada	3329,2	60,71

Quadro 3: Área correspondente às classes de corpos hídricos, cobertura vegetal remanescente do bioma Cerrado e uso antrópico na área de estudo

No que se refere aos parâmetros morfométricos da bacia, calculou-se o coeficiente de compactidade (K_c), variável que relaciona a forma da bacia a um círculo de mesma área e é dado pelo produto do perímetro da bacia por 0,28 dividido pela raiz quadrada da área, obtendo valor de 2,5. Destaca-se que bacias que possuem esse coeficiente próximo de 1 são mais suscetíveis a enchentes. Por outro lado, quanto maior e mais distante de 1, mais alongada é a bacia e possuem menor suscetibilidade a enchentes (Cardoso et al, 2006).

Em relação ao fator de forma (K_f), obteve-se como resultado 0,33. Vale salientar que esse parâmetro é dado pela razão entre a largura média da bacia e o comprimento do eixo da bacia, que é a medida da foz ao ponto mais longínquo da área. Quando a bacia tem forma alongada, menor é o fator de forma e menor a suscetibilidade de ocorrer picos de enchentes. Nota-se, portanto, que a bacia estudada se enquadra nesse cenário.

A densidade de drenagem (D_d), relação entre o comprimento dos cursos d'água da bacia e sua área, para a bacia do rio São Bartolomeu foi de aproximadamente 0,24, o que, de acordo com Machado e Torres (2012), significa que a bacia apresenta drenagem pobre. Na classificação sugerida pelo autor, tem-se as bacias com drenagem regular, 0,5 (menor igual) $D_d < 1,5$, drenagem boa, 1,5 (menor igual) $D_d < 2,5$, drenagem muito boa, 2,5 (menor igual) $D_d < 3,5$ e bem drenadas com D_d (maior igual) a 3,5. Diante disso, observa-se que a classificação encontrada para a bacia de São Bartolomeu sugere alto tempo de concentração, influenciando no tempo para o escoamento de água superficial.

Destaca-se que esse dado deve ser entendido como um resultado indicativo, pois a obtenção do mesmo é condicionada a escala de rede de drenagem.

Considerações Finais

O estudo das características físicas de bacias hidrográficas evidencia-se como instrumento capaz de auxiliar na gestão dos recursos naturais. Assim, este estudo analisou a morfometria da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, bem como o uso antrópico e a cobertura vegetal na área de estudo. A elaboração dos produtos derivados do Modelo Digital de Elevação, mapa hipsométrico e de declividade, mostrou que quase 80% da área estudada está situada entre 850,1 m e 1.050 m de altitude. Predominam na área declividades inferiores a 20%, apenas 6,5% da área total da bacia apresenta formas de relevo fortemente ondulado, montanhoso ou escarpado.

No que se refere ao uso antrópico e cobertura vegetal, os produtos elaborados demonstram a predominância da classe de uso antrópico na bacia analisada, cobrindo 60,71% da área total.

No tocante a forma da bacia, os coeficientes de compactidade, forma e densidade de drenagem indicam que a bacia possui formato alongado, com baixa presença de canais em relação a dimensão da área da bacia. Tais características direcionam para menor suscetibilidade de ocorrência de enchentes e apontam para um baixo grau de desenvolvimento do sistema de drenagem.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília, sobretudo ao Professor Dr. Newton Moreira de Souza, pelo acompanhamento e apoio.

Referências Bibliográficas

Cardoso, C. A. *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. 2006. Sociedade de Investigações Florestais, Viçosa - MG, p.241-248.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). 1986. Resolução nº 001/86, de 23 de janeiro de 1986.

Embrapa. 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. – Brasília, DF: Embrapa, 356 p.

Flauzino, F. S. *et al.* Geotecnologias aplicadas à gestão dos recursos naturais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba no cerrado mineiro. 2010. Sociedade & Natureza, p. 75-91.

Florenzano, T. G. 2016. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. Oficina de Textos.

Freitas-Silva, F. H.; Campos, J. E. G. 1998. Geologia do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte I., p. 86.

Klink, C. A.; Machado, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. Megadiversidade, p. 147-155, 2005.

Machado, P. J. de O.; Torres, F. T. P. 2012. Introdução a Hidrogeografia. São Paulo: Cengage Learning, 178 p.

Machado, R. B. *et al.* 2004. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF.

Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T. 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P.; Ribeiro, J. F. Cerrado: Ecologia e Flora. Brasília, DF: Embrapa, Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. p. 151 - 199.

Rosa, R. 2005. Geotecnologias na geografia aplicada. Revista do Departamento de Geografia, p. 81-90.

Sena-Souza, J. P. *et al.* 2013. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, escala 1:100.000. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 60 p.

Tucci, C. E. *et al.* 1993. Hidrologia: Ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora da UFRGS.

AVALIAÇÃO TEMPORAL (2011 - 2020) DO USO E COBERTURA DAS TERRAS E DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL DO MÉDIO CURSO DA BACIA DO RIO PIRACICABA (MG).

¹Dimária Aparecida Fernandes Dias, ²José Augusto Costa Gonçalves, ³Isabel Margarida H. Ribeiro Antunes

¹Universidade Federal de Itajubá, e-mail: dimariaprofagua@outlook.com; ²Universidade Federal de Itajubá, e-mail: jaucosta@unifei.edu.br; ³Universidade do Minho, e-mail: imantunes@dct.uminho.pt

Palavras-chave: Disponibilidade Hídrica; Rio Piracicaba; Uso e Ocupação do Solo.

Resumo

Os recursos hídricos são essenciais à sobrevivência dos seres vivos e ao desenvolvimento econômico. As formas de uso e ocupação do solo podem afetar o meio ambiente e os corpos d'água, e desencadear alterações negativas a estes recursos. A área de estudo deste trabalho engloba a região do médio curso do rio Piracicaba, que possui atividades com alto potencial de impacto ao meio ambiente e aos recursos hídricos, sendo o rio Piracicaba o seu curso d'água principal. O objetivo principal desta pesquisa é avaliar a disponibilidade hídrica e do uso e cobertura das terras do médio curso do rio Piracicaba-MG entre os anos 2011 a 2020. A maior parte da área de estudo é ocupada por formação florestal (45,11%), seguida das áreas de pastagens (31,23%), destaca-se que na região há localidades com vocação para criação de gado, o que justifica a manutenção de áreas de pastagens visando a produção agropecuária. Para a classe de mosaico de agricultura e pastagem o valor obtido foi de 11,49%, a classe floresta plantada compõe 8,07% já que há na região grandes áreas de reflorestamento de eucalipto para produção de celulose e de carvão vegetal para abastecer as siderúrgicas instaladas. De forma geral, no período temporal considerado, verificou-se o aumento das áreas das classes de mineração, agricultura e pastagem, formação florestal, floresta plantada e ocorreu diminuição das classes de rios e lagos. A disponibilidade hídrica superficial se constitui como um indicador fundamental para se avaliar a degradação das terras. As secas periódicas e a degradação dos corpos hídricos reduzem a produtividade agrícola e da pecuária, impactando cada vez mais o ambiente natural. Em termos quantitativos, verifica-se que não existe um padrão de redução ou de ampliação das áreas de espelho d'água. Isso é resultado de dois fatores: 1) aumento do número de reservatórios e barragens; 2) redução do tamanho das áreas dos corpos d'água. Constata-se assim que, apesar da construção de novos reservatórios, os já existentes vão perdendo o seu potencial de carga (volume) e reserva no decorrer dos anos.

Introdução

A bacia do rio Piracicaba é uma sub-bacia do rio Doce, localizada na região Centro Leste do Estado de Minas Gerais. O rio Piracicaba é considerado o principal tributário do rio Doce e seu leito sofre com o assoreamento, desmatamento, proliferação da monocultura de eucalipto, baixa cobertura por matas ciliares e recebimento de efluentes urbanos sem tratamento, diminuição do volume e qualidade das águas. Possui um conjunto significativo de atividades econômicas (extrativismo vegetal, celulose, mineração de ferro, siderurgia, agropecuária, entre outras) com alto grau de impactos antrópicos, além da expressiva concentração urbana e os massivos de reflorestamentos, monocultura de eucaliptos, que se destinam a produção de carvão vegetal e celulose (IGAM, 2021). A bacia do rio Piracicaba, Figura 1, é dividida em três regiões, a área de estudo contempla a região do médio curso do rio Piracicaba, situada na parte central da bacia, que engloba 07 municípios: Alvinópolis, Bela Vista de Minas, João Monlevade, Nova Era, Rio Piracicaba, São Domingos do Prata e São Gonçalo do Rio Abaixo. A região possui atividades com alto potencial de impacto ao meio ambiente e aos recursos hídricos, sendo o rio Piracicaba o seu curso d'água principal, onde desaguam rios e córregos. O objetivo geral deste trabalho é avaliar a disponibilidade hídrica e as formas de uso e ocupação do solo do médio curso do rio Piracicaba-MG entre anos de 2011 a 2020. Na economia destaca-se a atividade mineradora e siderúrgica, silvicultura (eucalipto) e agropecuária. No contexto ambiental a área de estudo está inserida predominantemente no bioma Mata Atlântica, entretanto, grande parte da vegetação natural foi substituída por pastagem e reflorestamento. Possui relevo montanhoso e clima tropical semiúmido.



Figura 1: Mapa de localização da área de estudo com os municípios. Fonte: Autores (2023).

Tabela 1 - Características gerais dos municípios do Médio Rio Piracicaba. Fonte: IBGE (2021).

Município	População estimada em 2021 (pessoas)	Área territorial (Km ²)
Alvinópolis	15.135	599,443
Bela Vista de Minas	10.269	109,143
João Monlevade	80.903	99,158
Nova Era	17.524	361,926
Rio Piracicaba	14.325	373,037
São Domingos do Prata	17.296	743,768
São Gonçalo do Rio Abaixo	11.114	363,828

Materiais e Métodos

A caracterização do uso e ocupação do solo foi realizada pela delimitação dos trechos do médio curso do rio Piracicaba, utilizando-se de bases de dados da Coleção 6 do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil-MapBiomas que apresentam os 36 anos (1985 a 2020) dos mapas anuais de cobertura e uso de terra do Brasil em escala de 30 m com melhorias nas acurácias nos biomas e novas classes de agricultura (MapBiomas, 2021).

Os dados foram validados, incorporados e manuseados no software ArcGIS Pro para obtenção dos mapas contendo as classes de uso e ocupação do solo dos anos de 2011 a 2020.

Para os mapas de superfície da água, utilizou-se uma combinação de técnicas de processamento de imagem e análise de séries temporais de imagens de satélite para identificar a superfície de água em diferentes regiões do Brasil. O processo começa com a seleção de imagens de satélite de alta resolução espacial, que são processadas por meio de algoritmos de processamento de imagem para identificar a presença e extensão de corpos d'água. Os algoritmos de processamento de imagem utilizados pelo MapBiomas incluem a análise de índices espectrais, como o NDWI (Normalized Difference Water Index) e o MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index), que são capazes de identificar a presença de água em imagens de satélite com base nas características espectrais das superfícies de água. Além disso, o MapBiomas utiliza técnicas de análise de séries temporais de imagens de satélite para identificar variações sazonais na presença de água em diferentes regiões. Isso envolve o uso de algoritmos de classificação de séries temporais, que permitem detectar mudanças na superfície de água ao

longo do tempo e avaliar a dinâmica hidrológica da região. Os dados processados são validados por meio de técnicas de verificação em campo, como a comparação com dados de estações hidrológicas ou com imagens de alta resolução de drones ou aviões.

Resultados

Para a obtenção dos mapas resultantes, foram levantadas as classes de uso e ocupação do solo e seus respectivos percentuais de áreas. Assim, a Figura 2 apresenta o mapa de uso e ocupação do solo do médio curso do rio Piracicaba referente ao ano de 2020. Já na Tabela 2, são discriminadas as classes de uso e ocupação do solo referentes ao ano de 2020.

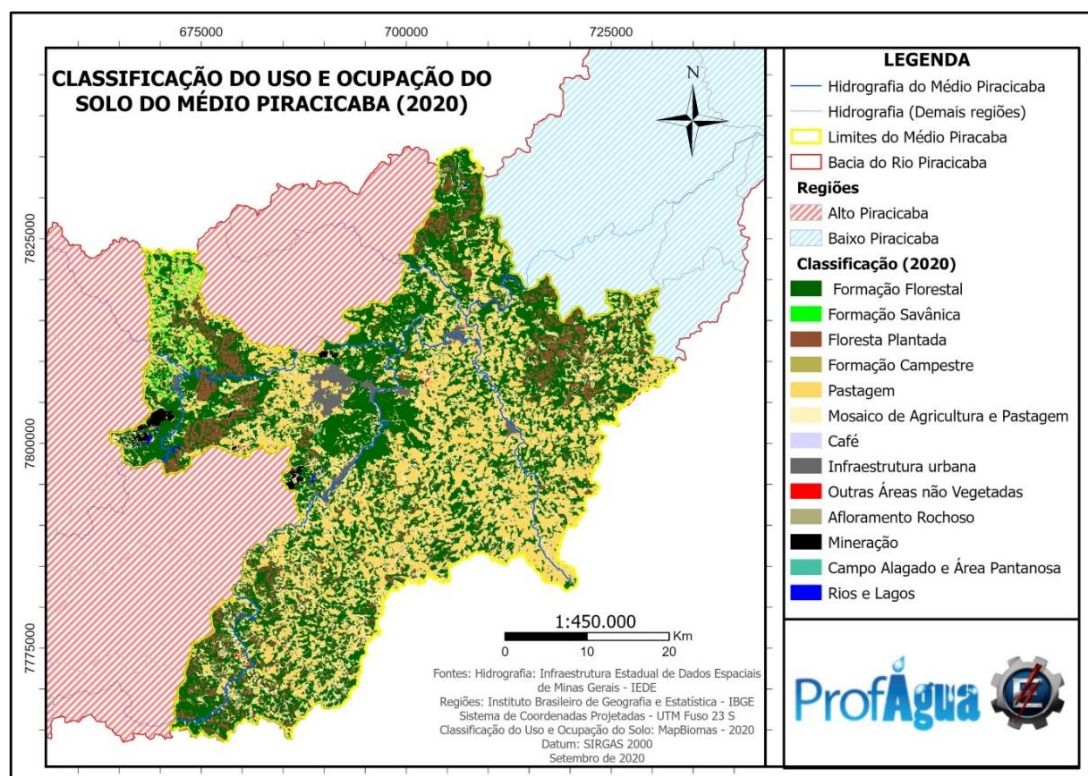


Figura 2: Mapa de uso e ocupação do solo do médio curso do rio Piracicaba para o mês de setembro de 2020.
Fonte: Autores, modificado de MapBiomias (2023).

Tabela 2: Composição das classes de uso e ocupação do solo do Médio Rio Piracicaba (ano 2020).
Fonte: Autora (2021), adaptado de MapBiomias (2020).

Classes (Descrição)	Área (Km ²)	Composição (%)
Formação Florestal	983,87	45,11
Formação Savânica	16,21	0,74
Floresta Plantada	175,97	8,07
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,38	0,02
Formação Campestre	8,69	0,40
Pastagem	681,16	31,23
Mosaico de Agricultura e Pastagem	250,72	11,49
Café	0,15	0,01
Infraestrutura Urbana	37,92	1,74
Outras Áreas não Vegetadas	4,48	0,21
Afloramento Rochoso	2,40	0,11
Mineração	11,90	0,55
Rios e Lagos	7,37	0,34
TOTAL	2181,22	100,00

Constata-se que em 2020, período mais recente, a maior parte da área da sub-bacia era ocupada por formação florestal (45,11%), que são tipos de vegetações compostas por árvores altas. Em segundo lugar estão as áreas de pastagens (31,23%), naturais ou plantadas, destaca-se que na região há localidades com criação de gado, o que justifica a manutenção de áreas de pastagens visando a produção agropecuária. Já a classe mosaico de agricultura e pastagem obteve 11,49%. A cultura perene do café correspondeu a 0,01% de área. O mapa de 2020 disponibilizado pelo MapBiomias é de setembro, período seco e algumas culturas anuais já teriam sido colhidas na data da imagem ou estarem presentes no mosaico de agricultura e pastagem.

Na classe floresta plantada (8,07%), espécies arbóreas plantadas para fins comerciais, cabe destacar que na região de estudo há áreas de reflorestamento de eucaliptos visando produção de celulose e para produção de carvão vegetal usados, principalmente, para abastecer siderúrgicas. As áreas de formação Savânica, tipos de vegetação composta por árvores de pequeno porte e estrato arbustivo-herbáceo correspondem a 0,74% de área. Outras áreas não vegetadas, classe mista que incluem áreas agrícolas em preparo, solo exposto e superfícies arenosas, correspondem a 0,21% da área. As áreas de rios e lagos correspondem a 0,34%. Já as áreas de campo alagado correspondem a 0,02%.

Dentre as atividades econômicas de grande impacto da área de estudo destacam-se as atividades de mineração (0,55%), áreas referentes à extração mineral de grande porte e que possuem exposição do solo por ações de maquinário pesado, que ocorrem nos municípios de São Gonçalo do Rio Abaixo e Rio Piracicaba pela mineradora Vale S.A., e em Bela Vista de Minas pela Arcelor Mittal (Mina do Andrade). Ressalta-se que nas atividades de mineração da Mina do Brucutu (São Gonçalo do Rio Abaixo) e Mina da Água Limpa (Rio Piracicaba) há barragens de rejeitos de mineração, já a Mina do Andrade (Bela Vista de Minas) realiza as atividades de mineração sem utilizar barragens de rejeitos.

As áreas de infraestrutura urbanas, áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas a mais de 5 anos incluindo edificações, estradas e vias, compreendem o total de 1,74% da cobertura do solo, sendo mais predominante no município de João Monlevade, o mais urbanizado e populoso do médio curso do rio Piracicaba, onde destacam-se as atividades econômicas da Usina Arcelor Mittal (produção de aços longos) e de suas empreiteiras, e outras atividades comerciais. Com exceção de João Monlevade, que possui 99% de sua população considerada urbana (IBGE, 2021), os demais municípios do médio curso do rio Piracicaba possuem extensas áreas rurais.

Na Figura 3, é apresentado o mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do médio curso do rio Piracicaba, ano 2011. A Tabela 3, apresenta a composição das classe de uso e ocupação do solo da bacia referente ao ano de 2011. Já a Tabela 4 mostra a área e o percentual das classes de cobertura da terra para os anos de 2011 e 2020, e a variação de área (perda ou ganho) entre estas duas datas.

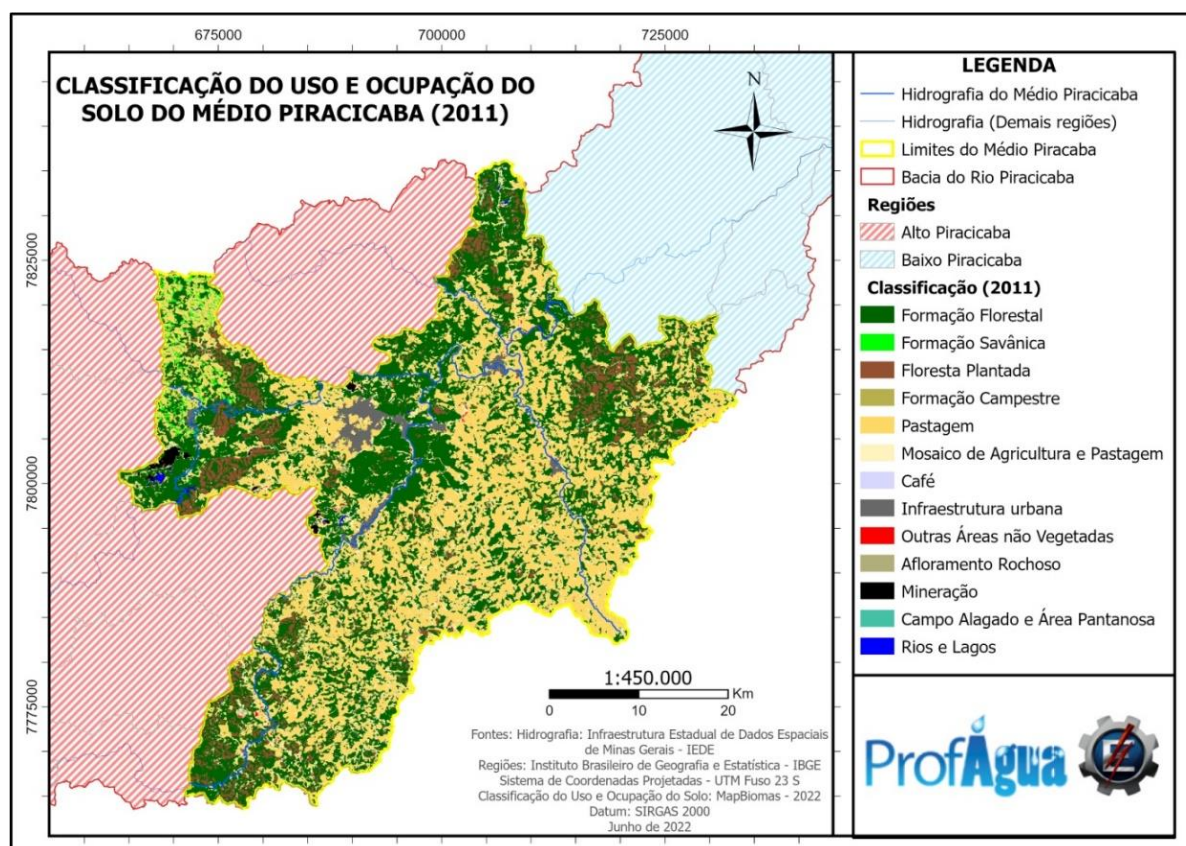


Figura 3: Mapa de uso e ocupação do solo do médio curso do rio Piracicaba para o mês de setembro de 2011.

Fonte: Autores, modificado de MapBiomias (2023).

Tabela 3: Composição das classes de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Médio Rio Piracicaba (ano 2011).
Fonte: Autores (2023), adaptado de MapBiomas (2020).

Classes (Descrição)	Área (Km ²)	Composição (%)
Formação Florestal	923,76	42,35
Formação Savânica	18,20	0,83
Floresta Plantada	160,85	7,37
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,40	0,02
Formação Campestre	9,13	0,42
Pastagem	833,31	38,20
Mosaico de Agricultura e Pastagem	177,80	8,15
Café	0,02	0,00
Infraestrutura Urbana	35,16	1,61
Outras Áreas não Vegetadas	3,00	0,14
Afloramento Rochoso	2,55	0,12
Mineração	8,24	0,38
Rios e Lagos	8,80	0,40
	2181,22	100,00

Tabela 4: O tamanho das áreas e os percentuais das classes de cobertura da terra entre 2011 a 2020 e a variação das áreas entre os períodos considerados. Fonte: Autora (2022)

Classe de Cobertura	Área					
	2011		2020		Variação (%)	
	(Km ²)	(%)	(Km ²)	(%)	Perda	Ganho
Formação Florestal	933,76	42,35	983,87	45,11	-	2,76
Formação Savânica	18,20	0,83	16,21	0,74	0,09	-
Floresta Plantada	160,85	7,37	175,97	8,07	-	0,70
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,40	0,02	0,38	0,02	-	-
Formação Campestre	9,13	0,42	8,69	0,40	0,02	-
Pastagem	833,31	38,20	681,16	31,23	6,97	-
Mosaico de Agricultura e Pastagem	177,80	8,15	250,72	11,49	-	3,34
Café	0,02	0,00	0,15	0,01	-	0,01
Infraestrutura Urbana	35,16	1,61	37,92	1,74	-	2,76
Outras Áreas não Vegetadas	3,00	0,14	4,48	0,21	-	0,07
Afloramento Rochoso	2,55	0,12	2,40	0,11	0,01	-
Mineração	8,24	0,38	11,90	0,55	-	3,66
Rios e Lagos	8,80	0,40	7,37	0,34	1,43	-
Total	2181,22	100,00	2181,22	100,00	-	-

Ao analisar as variações de uso e ocupação do solo entre os anos de 2011 e 2020, Tabela 4 e Figuras 2 e 3, constata-se que houve ganho de área de 3,66 % na atividade de mineração em todos os municípios do médio rio Piracicaba que possuem esta atividade (Bela Vista de Minas, João Monlevade, Rio Piracicaba e São Gonçalo do Rio Abaixo).

Constatou-se perda de área de pastagem em 6,97%, esta variação pode ter ocorrido devido ao aumento das atividades de agricultura, já que em 2020 houve acréscimo do mosaico de agricultura e pastagem em 3,34%, também pode ter sido ocasionada pelo não manejo de pastagens, assim, podendo ter ocorrido regeneração destas áreas, ou recuperação destas áreas com formação florestal, sendo que a formação florestal aumentou 2,76% e a floresta plantada 0,70%. Já a Infraestrutura urbana aumentou 2,76% e pode também ter contribuído para a diminuição da classe pastagem, pois terrenos e lotes com pastagens podem ter dado lugar a construções de imóveis e áreas pavimentadas.

Ainda, a Lei nº 20.922 de 16 de outubro de 2013, que rege sobre as políticas florestais e de proteção à biodiversidade no estado de Minas Gerais pode ter favorecido o aumento da formação florestal na região, pois versa sobre a manutenção e recomposição de Áreas de Preservação Permanente em áreas rurais. O aumento da fiscalização de órgãos ambientais também pode ter contribuído para manutenção e ampliação de áreas florestais. Sendo primordial a adoção de políticas voltadas para restauração florestal e preservação das águas, manutenção de vegetações nativas em torno das nascentes e nas margens dos rios. No município de São Gonçalo do Rio Abaixo houve incentivo, nos últimos anos, para que produtores rurais preservassem suas nascentes, com bonificação em dinheiro.

Se por um lado houve aumento de formação florestal, o que contribui para a manutenção de ecossistema ambientais e aquáticos, em contrapartida houve perda de 1,43% de rios e lagos no médio curso do rio Piracicaba ao comparar os anos de 2011 e 2020.

Quanto a disponibilidade hídrica superficial observada através da extensão do espelho d'água a partir dos dados do MapBiomas, que se referem especificamente à presença e distribuição de corpos d'água, como rios, lagos, represas e reservatórios, bem como áreas de inundação e manguezais. Sendo esta classificação importante para entender a dinâmica hidrológica da região e como os corpos d'água estão distribuídos ao longo do território. As Figuras 4 e 5 mostram respectivamente, a classificação de superfície de água do médio Piracicaba nos anos 2011 e 2020.

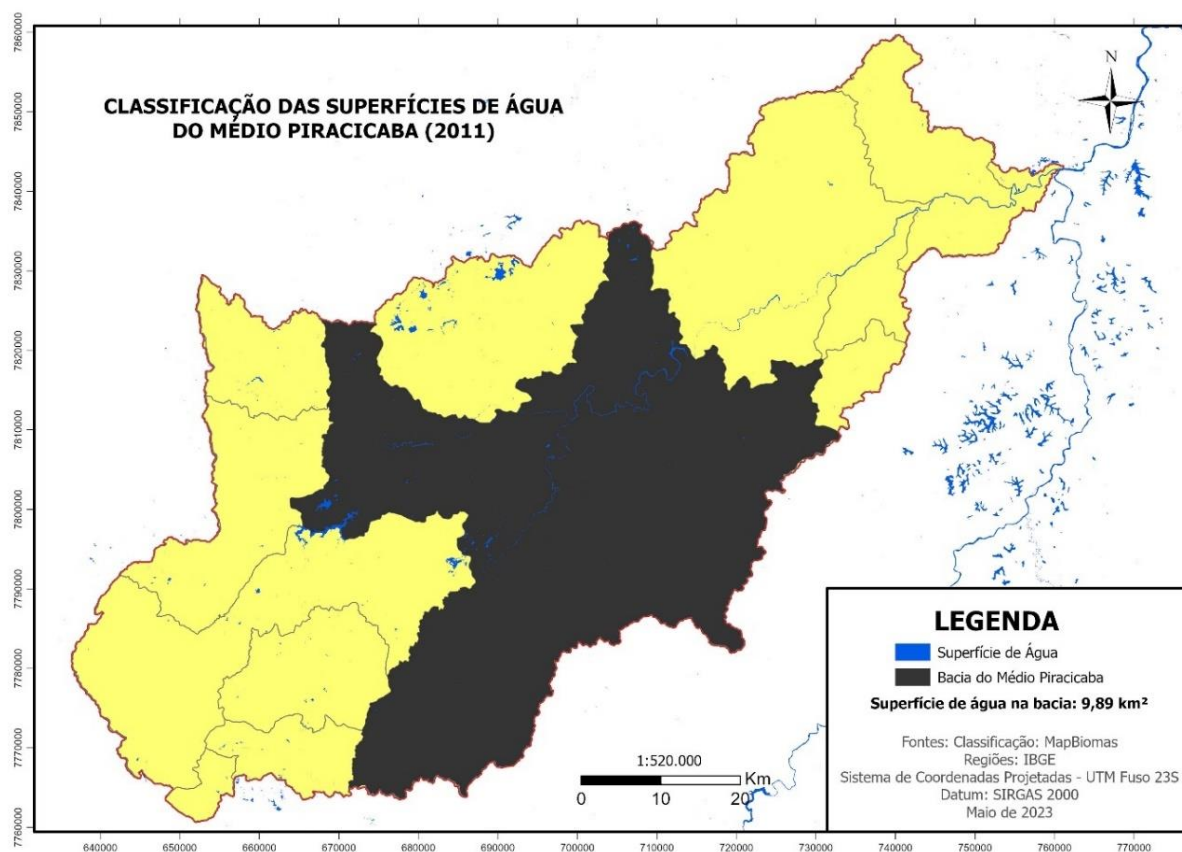
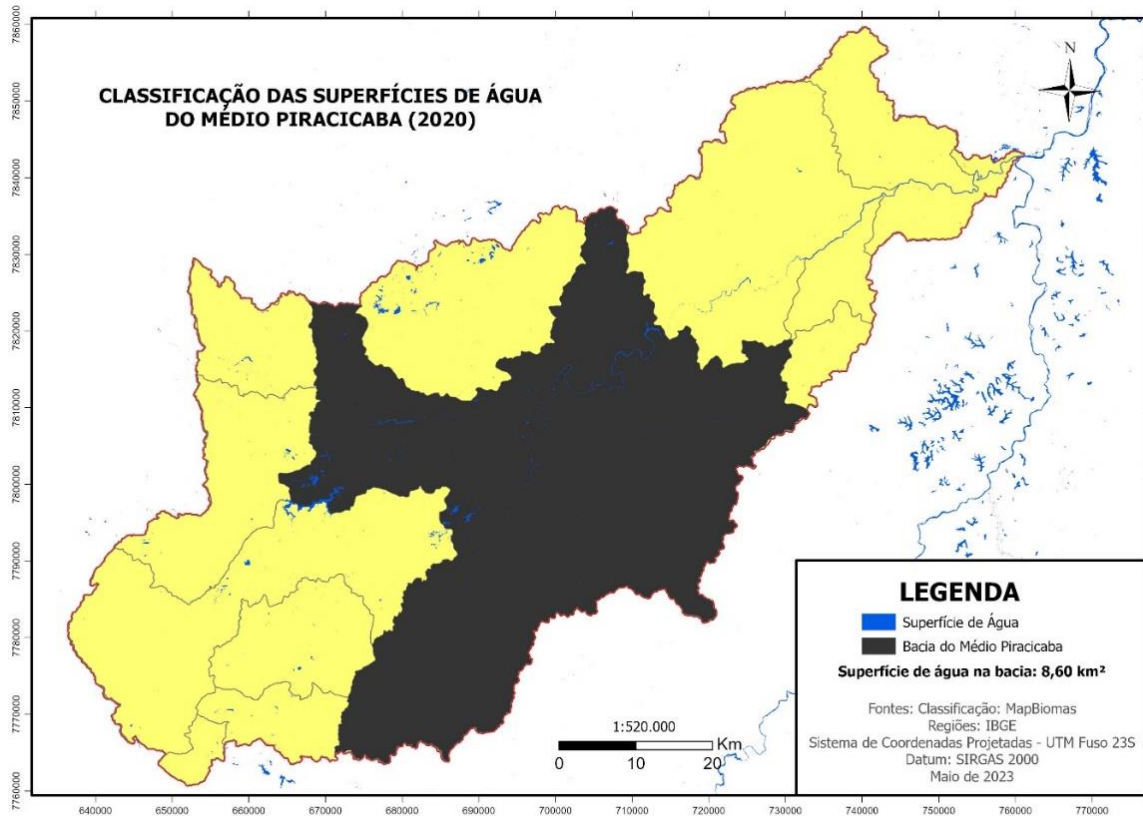


Figura 4: Classificação das superfícies de água do médio Piracicaba (2011).

Fonte: Autores, modificado de MapBiomas (2023).



**Figura 5: Classificação das superfícies de água do médio Piracicaba (2020).
Fonte: Autores, modificado de MapBiomias (2023).**

Os dados obtidos no mapeamento de uso e ocupação do solo já haviam indicado diminuição de 1,43 Km² da classe rio e lagos em 2020 quando comparado a 2011, Tabela 9. Sendo também evidenciada a diminuição de superfície de água utilizando-se dados de Classificação das superfícies de água do MapBiomias, em 2011 havia 9,89 km² de superfície de água na Bacia, já em 2020 o valor caiu para 8,60 Km², o que evidencia diminuição de 1,29 Km².

Comparando-se os resultados da Classificação de uso e cobertura do solo e dados de superfície de água do Mapbiomas, percebe-se uma diferença no tamanho da área. O MapBiomias é um projeto de mapeamento da cobertura e uso do solo do Brasil, que tem como objetivo gerar informações detalhadas sobre as mudanças na vegetação, ocupação do solo e recursos naturais ao longo do tempo. A classificação de uso e cobertura do solo do MapBiomias refere-se à categorização das diferentes formas como a superfície da terra é utilizada e ocupada, incluindo florestas, pastagens, áreas urbanas, corpos d'água, entre outros. Esta classificação é baseada em critérios como a presença ou ausência de vegetação, a intensidade do uso do solo e as características da paisagem. Em resumo, enquanto a classificação de uso e cobertura do solo abrange todas as formas de ocupação da superfície terrestre, a classificação de superfície de água se concentra especificamente na presença e distribuição de corpos d'água. Sendo ambas importantes para entender a dinâmica da paisagem e auxiliar na tomada de decisões relacionadas ao uso e conservação dos recursos naturais.

Existem diversas razões pelas quais pode haver diferenças nas áreas classificadas como uso e cobertura do solo e superfície de água no MapBiomias. Alguns dos fatores que podem influenciar estas diferenças incluem: Diferentes fontes de dados: as informações utilizadas para classificar as áreas de uso e cobertura do solo e superfície de água podem vir de diferentes fontes e ter diferentes resoluções espaciais e temporais. Isto pode levar a diferenças na precisão e acurácia das classificações; Métodos de classificação: existem diferentes métodos para classificar o uso e cobertura do solo e superfície de água, como o uso de algoritmos de processamento de imagem, análises de séries temporais de imagens de satélite e modelagem de dados. Cada método pode ter suas próprias limitações e pode levar a diferenças nas áreas classificadas; Mudanças na paisagem: as mudanças na paisagem, como a conversão de áreas florestais em pastagens ou a construção de barragens, podem levar a mudanças nas áreas classificadas como uso e cobertura do solo e superfície de água ao longo do tempo. Estas mudanças podem ser difíceis de detectar ou classificar com precisão; Variações naturais: A paisagem natural também pode variar ao longo do tempo, como a expansão ou contração de áreas de inundação ou a mudança de padrões de fluxo de água em rios. Estas variações podem afetar a classificação de superfície de água. Em resumo, existem diversas razões pelas quais pode haver diferenças entre as áreas classificadas como uso e cobertura do solo e superfície de água no MapBiomias. Estas diferenças podem ser influenciadas por fatores como fontes de dados, métodos de classificação, mudanças na paisagem e variações naturais.

Considerações Finais

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba possui atividades antrópicas de alto potencial poluidor ao meio ambiente e aos recursos hídricos. Alguns fatores naturais da bacia também podem favorecer à alteração destes recursos, a exemplo da sua formação litológica e mineral, relevo e precipitações intensas.

Os resultados indicaram que em 2020, a maioria do uso e ocupação do solo do médio curso do rio Piracicaba é de formação florestal (45,11%). Em segundo lugar estão as áreas de pastagens (31,23%), destaca-se que na região há localidades com criação de gado, o que justifica a manutenção de áreas de pastagens visando a produção agropecuária. A classe mosaico de agricultura e pastagem obteve 11,49%. Já a classe floresta plantada compõe 8,07%, havendo na região áreas de reflorestamento de eucalipto para produção de celulose e de carvão vegetal para abastecer siderúrgicas.

As variações de uso e ocupação do solo entre os anos de 2011 e 2020, demonstram que houve ganho de área de 3,66% na atividade de mineração, com aumento da área de mineração em todos os municípios do médio rio Piracicaba que possuem esta atividade (Bela Vista de Minas, João Monlevade, Rio Piracicaba e São Gonçalo do Rio Abaixo). Houve perda de área de pastagem em 6,97%, esta variação pode ter ocorrido devido ao aumento das atividades de agricultura, já que em 2020 houve acréscimo do mosaico de agricultura e pastagem em 3,34%, também pode ter sido ocasionada pelo não manejo de pastagens, assim, podendo ter ocorrido regeneração destas áreas, ou recuperação destas áreas com formação florestal, sendo que a formação florestal aumentou 2,76% e a floresta plantada 0,70%. Já a Infraestrutura urbana aumentou 2,76% e pode também ter contribuído para a diminuição da classe pastagem, pois terrenos e lotes com pastagens podem ter dado lugar a construções de imóveis e áreas pavimentadas. Houve decréscimo da classe rio e lagos nos períodos estudados, o que também foi constatado na comparação dos dados de superfície de água.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. 2021. Conheça Cidades e Estados do Brasil. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/> Acesso em: 20 de outubro de 2022.

IGAM Instituto Mineiro de Gestão das Águas. 2021. Gestão e situação das águas de Minas Gerais. Bacia hidrográfica do rio Doce. Disponível em; <http://www.igam.mg.gov.br/component/content/155?task=view> Acesso em: 10 de março de 2023.

ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APODI-MOSSORÓ

¹Paulo Cezar Filho, ²Layan Soares Gomes Cezar Filho, ³Sileno Fernandes Oliveira Filho, ⁴Rodolpho Mendes Vale ⁵Walter Bruno Pereira Brito, ⁶Vandson Ney de Amorim Brito, ⁷Antonio Carlos Leão Silva, ⁸Hugo Morais Alcântara

¹Universidade Federal de Campina Grande, mestrando do ProfÁgua-UFCG, pauloczar10@hotmail.com; ²Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte, layansg93@gmail.com; ³Universidade Federal de Campina Grande, mestrando do ProfÁgua-UFCG, sileno.fernandes@estudante.ufcg.edu.br; ⁴Universidade Federal de Campina Grande, mestrando do ProfÁgua-UFCG, rodolpho.mendes@estudante.ufcg.edu.br; ⁵Universidade Federal de Campina Grande, mestrando do ProfÁgua-UFCG, walter.bruno@estudante.ufcg.edu.br; ⁶Universidade Federal de Campina Grande, mestrando do ProfÁgua-UFCG, vandson.ney@estudante.ufcg.edu.br; ⁷Universidade Federal de Campina Grande, aluno especial do mestrando do ProfÁgua-UFCG, batata.leao.silva@gmail.com; ⁸Universidade Federal de Campina Grande, docente do ProfÁgua-UFCG, hugo.morais@professor.ufcg.edu.br

Palavras-chave: vazão regularizada; curva de permanência; semiárido.

Resumo

Fatores climáticos desempenham um papel crucial na variação da vazão dos rios em uma bacia hidrográfica, bem como o processo de evapotranspiração, a hidrogeologia e sua morfologia. A disponibilidade hídrica superficial representa uma parcela da vazão de rios que promove a recarga de reservatórios superficiais, podendo ser retirada pela sociedade para o seu desenvolvimento, sem comprometer o meio ambiente e a sustentabilidade dos recursos hídricos. O objetivo deste trabalho é avaliar a disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró. A área de estudo é composta pela bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, possui área total de drenagem igual a 14.265,59 km², ocupa 26,69% da área do Estado do Rio Grande do Norte (53.438,64 km²). Está completamente inserida na região oeste do estado do Rio Grande do Norte, região do semiárido brasileiro, cuja gestão dos recursos hídricos é de competência estadual. Para análise dos dados de disponibilidade hídrica foram usados dados de vazão de séries históricas que possuíam pelo menos 15 anos de dados. Análises estatística descritiva e de curvas de permanência com sazonalidade mensal foram determinadas a partir de dados coletados de cinco postos fluviométricos, com médias de longa duração, para obtenção da média móvel para cada estação fluviométrica e verificação do comportamento das vazões ao longo do tempo, identificando tendências e a variabilidade intra-anual. As curvas de permanência para cada mês do ano foram construídas com auxílio do software HIDRO 1.4, desenvolvido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, o que permitiu distinguir as características mensais da vazão regularizada. A partir dessas curvas, foi possível extrair vazão regularizada com 90% e 50% de permanência mensal. Os dois principais reservatórios ao longo do rio impactam significativamente na disponibilidade hídrica na bacia, considerando a intermitência dos rios na região. É fundamental o empenho no fomento de alternativas para garantir a disponibilidade de água e atendimento considerando o aumento das demandas. O uso da água subterrânea em trechos da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró deve ser considerado como recurso estratégico para o desenvolvimento, uma alternativa importante para a zona rural e urbana, condicionado à obediência de formalidades legais. Avaliar a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica por meio das curvas de permanências mensais deve contribuir significativamente para a gestão sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas, auxiliando na tomada de decisões informadas dos Gestores de Recursos Hídricos, eficientes e eficazes para o uso racional da água.

Introdução

Fatores climáticos desempenham um papel crucial na variação da vazão dos rios em uma bacia hidrográfica, bem como o processo de evapotranspiração, a hidrogeologia e sua morfologia. A disponibilidade hídrica superficial representa uma parcela da vazão de rios e reservatórios que pode ser retirada pela sociedade para o seu desenvolvimento, sem comprometer o meio ambiente e a sustentabilidade dos recursos hídricos.

Em condições de clima semiárido, em que os índices pluviométricos são baixos, muito variáveis no tempo e no espaço, com elevadas taxas de evapotranspiração, a disponibilidade hídrica tende a ser menor. Além disso, a condição de semiaridez implica na ocorrência de altas temperaturas anuais e variações meteorológicas anuais e interanuais consideráveis (LEMOS FILHO; ESPÍNOLA SOBRINHO; OLIVEIRA JUNIOR, 2021).

Para enfrentar a escassez hídrica, são necessárias ações como a implementação de infraestrutura hídrica adequada e estratégias para melhoria da gestão dos recursos hídricos, sendo necessário sensibilizar a população sobre a necessidade de racionalização do uso da água, o aproveitamento de água da chuva e incentivar o reúso de águas servidas (CIRILO; MONTENEGRO; CAMPOS, 2010). Tornar a gestão de recursos hídricos eficiente requer arcabouço legal robusto e atualizado, o reconhecimento da incerteza climática, a regulação do uso e proteção das nascentes, mananciais e rios,

controle de erosão, desassoreamento de rios e reservatórios, proteção e recomposição da mata ciliar, além da implementação da cobrança pelo uso da água bruta (RABELO et al., 2021).

Contudo, a escolha da variável ou função hidrológica que caracteriza a disponibilidade hídrica torna-se um desafio devido à capacidade limitada de representar de forma precisa os processos físicos e ambientais envolvidos. O hidrograma descreve a vazão ao longo do tempo, mas não indica a probabilidade de sua ocorrência. A curva de permanência, por sua vez, expressa a frequência de ocorrência das vazões, mas apresenta limitações em termos de representatividade da sequência temporal e as vazões máxima, média e mínima não capturam a variabilidade dos dados (CRUZ; TUCCI, 2008).

Diante desse contexto, a análise estatística das vazões de rios em conjunto com a construção de curvas de permanência é essencial para o estudo hidrológico em uma bacia hidrográfica, especificamente quando se utiliza uma seção fluvial de referência para sua delimitação. Essas técnicas permitem a compreensão e a caracterização do comportamento hidrológico em um corpo hídrico, fornecendo informações sobre a disponibilidade, a variabilidade das vazões e a capacidade de suporte ao atendimento de demandas. A análise estatística e as curvas de permanência devem ser usadas como ferramentas para o planejamento adequado de uso dos recursos hídricos e na tomada de decisões dos gestores.

O gerenciamento dos recursos hídricos eficaz requer a definição de vazão regularizada disponível para o atendimento das demandas com base em um nível de garantia de ocorrência dessa oferta de água para diversos usos. A disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Norte tem como referência a vazão regularizada com 90% de permanência (Q_{90}), conforme a Política Estadual de Recursos Hídricos. Então, as outorgas de direito de uso dos recursos hídricos são emitidas até o limite de 90% da vazão regularizada (Q_{90}) nos mananciais.

Sob a ótica do desenvolvimento sustentável, a garantia de atendimento para diversos usos da água, manter sistemas de irrigação para produção de alimentos e ecossistemas, são metas vinculadas com o compromisso da Agenda 2030 e seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) no Brasil (HIRATA et al., 2019).

A ocorrência e distribuição da precipitação na região do semiárido brasileiro possuem grande variabilidade espacial e temporal, sendo desafiador para os órgãos gestores de recursos hídricos, em função do aumento das demandas por água para usos múltiplos. O objetivo deste trabalho é avaliar a disponibilidade hídrica do rio Apodi-Mossoró por meio de análise estatística descritiva e de curvas de permanência para série completa e com sazonalidade mensal, a partir de dados coletados de cinco postos fluviométricos, com análise das médias de longa duração e obtenção da média móvel de com período de 15 anos para cada estação fluviométrica, com determinação do comportamento das vazões ao longo do tempo, analisando tendências e a variabilidade intra-anual. O diagnóstico resultante desse estudo possui grande relevância para levantar a discussão sobre a sustentabilidade dos recursos hídricos na BHRAM.

Materiais e Métodos

Os dados fluviométricos foram obtidos na plataforma online HIDROWEB e pelo software HIDRO 1.4, desenvolvidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. Em geral, existem estações fluviométricas na área de estudo que medem apenas valores de nível (cota) e há ausência das curvas chave (cota-vazão). No entanto, este estudo requer medições históricas de vazões para a análise.

Em análises hidrológicas é possível utilizar séries de dados com duração média entre 7 e 15 anos de dados, estatisticamente equivalentes aos resultados obtidos a partir de uma série longa (OLIVEIRA; GONÇALVES, 2022). Neste trabalho foram utilizados dados consistidos disponíveis na série histórica. Utilizar apenas os dados consistidos é importante para garantir a qualidade e confiabilidade (MONTGOMERY e RUNGER, 2016).

Para obtenção de medidas de tendência central e sua variabilidade foi utilizada análise estatística descritiva e o resumo dos dados coletados.

A área de estudo é composta pela bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, possui área total de drenagem igual a 14.265,59 km², ocupa 26,69% da área do Estado do Rio Grande do Norte (53.438,64 km²), extensão de 296 km, desde sua cabeceira, nas serras do município de Luís Gomes, na fronteira entre os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, até sua foz no oceano Atlântico (FILHO et al., 2021). Está completamente inserida na região oeste do estado do Rio Grande do Norte, região do semiárido brasileiro, cuja gestão dos recursos hídricos é de competência estadual. No que concerne à geologia, a bacia é dividida em duas regiões, uma de embasamento cristalino e outra sedimentar, com elevada variabilidade hidrológica e clima seco semiárido. O estado conta com cinco sistemas de aquíferos e cada um possui características específicas quanto à disponibilidade hídrica, localização da bacia do rio Apodi-Mossoró, estações fluviométricas e sistemas de aquíferos. (Figura 1).

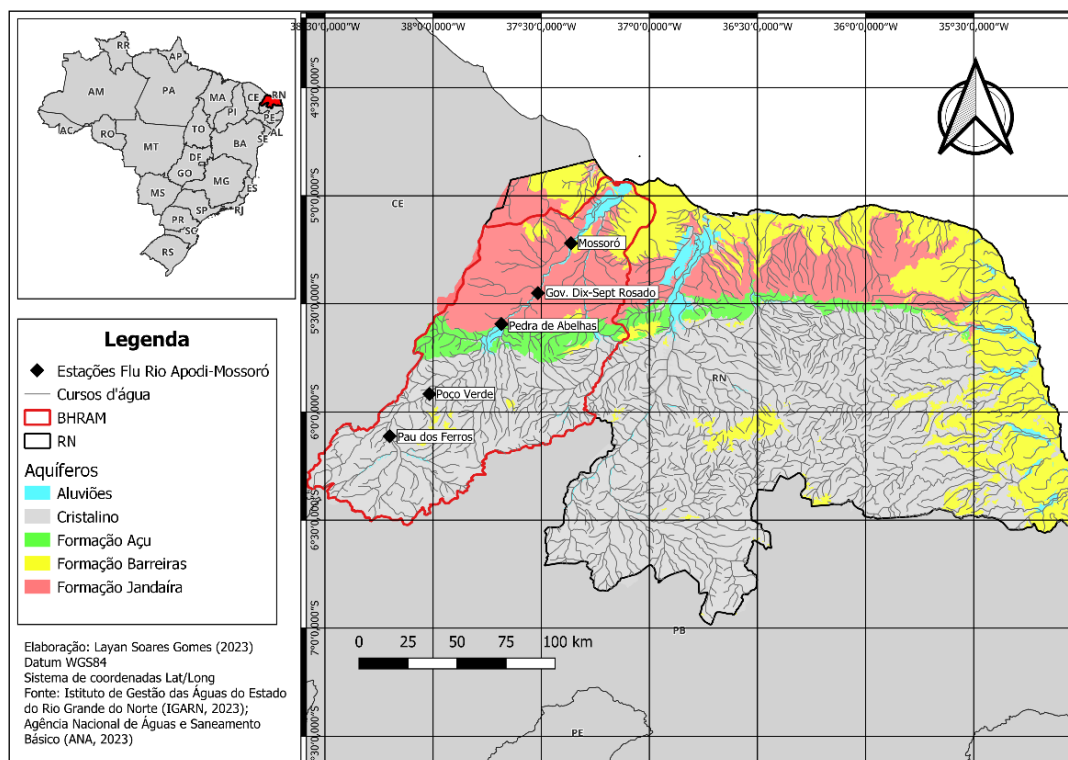


Figura 1: Localização da bacia do rio Apodi-Mossoró, estações fluviométricas e sistemas de aquíferos.

Cinco estações fluviométricas localizadas no rio Apodi-Mossoró, onde são realizadas medições de dados de vazões diárias e que possuem pelo menos 15 anos de dados foram escolhidas para a análise da disponibilidade hídrica superficial na área de estudo (Tabela 1).

Código da estação	Nome da estação	Período de dados consistidos	Latitude	Longitude	Área de drenagem (km ²)
37030000	Pau dos Ferros	1973 - 2014	-6,1114	-38,2008	2200
37050000	Fazenda Poço Verde	2000 - 2014	-5,9167	-38,0167	3390
37080000	Pedra de Abelhas	1973 - 2014	-5,5933	-37,6842	5930
37084000	Gov. Dix-Sept Rosado	1986 - 2014	-5,45	-37,515	7690
37090000	Mossoró	1986 - 2014	-5,2194	-37,3622	9830

Tabela 1: Caracterização das estações fluviométricas

As medidas de tendência central que foram utilizadas na análise de variabilidade das variáveis para o conjunto de dados brutos são:

- Média

Medida estatística amplamente utilizada, calculada somando todos os valores do conjunto e dividindo esse total pelo número de observações. Matematicamente, a equação da média aritmética pode ser representada por meio da equação 1.

$$X_m = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{N} \quad (1)$$

Onde a média aritmética (X_m) é calculada com base nos valores individuais (X_i) do conjunto de dados para cada período de tempo "t", em um total de períodos observados (T).

Serão elaboradas Figuras representando as médias calculadas com base nos dados de vazões mensais e anuais, utilizando a série completa das vazões. Esses gráficos fornecerão uma visualização das tendências e variações das vazões ao longo do tempo, permitindo uma análise comparativa e uma compreensão mais clara do comportamento hidrológico na área de estudo.

- **Moda**

Conceito estatístico utilizado para descrever o valor ou valores que ocorrem com maior frequência em um conjunto de dados. O valor ou valores que apresentam a maior frequência são considerados a moda do conjunto.

- **Mediana**

Conceito estatístico que representa o valor central em um conjunto de dados ordenados. A mediana divide o conjunto de dados em duas partes iguais, onde metade dos valores está acima e metade está abaixo desse valor central. Deve-se ordenar os dados (n) em ordem crescente ou decrescente. Em seguida, se o número de dados for ímpar, a mediana será o valor central. Caso o número de dados seja par, a mediana será a média dos dois valores centrais.

Se o número de dados for ímpar: Mediana = Valor do meio $[(n + 1) / 2]$;

Se o número de dados for par: Mediana = (Valor do meio $n/2$ + Valor do meio $n/2+1$) / 2.

- **Desvio padrão**

Medida estatística que quantifica a dispersão dos dados em relação à média. Indica o quanto os valores individuais do conjunto de dados se afastam, em média, da média aritmética, calculado por meio da equação 2.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - X_m)^2}{(N - 1)}} \quad (2)$$

Onde o desvio padrão (σ) é uma medida estatística que quantifica a dispersão dos valores individuais (X_i) em relação à média aritmética (X_m) de um conjunto de dados. Ele é calculado considerando o número total de períodos observados (T).

- **Média móvel**

A média móvel de 15 anos é uma técnica estatística utilizada para suavizar a série temporal e identificar tendências de longo prazo. O cálculo dessa média utiliza uma janela de tempo de 15 anos consecutivos. Isso significa que, a cada ponto da série temporal, serão considerados os valores dos 15 anos anteriores, incluindo o valor atual.

Para cada ponto da série temporal, calcula-se a média aritmética dos valores contidos na janela de tempo de 15 anos. Após calcular a média móvel para um ponto, a janela de tempo é deslocada para o próximo ponto da série, repetindo-se o cálculo da média móvel para cada ponto subsequente. Esse processo é repetido até que todos os dados da série sejam considerados.

- **Curva de permanência**

A curva de permanência foi elaborada para a série completa, associando frequências de ocorrência às vazões, ordenando os valores de vazão em ordem decrescente e atribuindo a cada valor uma frequência de excedência para descrever o regime hidrológico local e orientar às ações de gestão (CRUZ; TUCCI, 2008).

Sendo i o número de ordem do i ésimo valor ordenado de vazão $Q(i)$, e N o número total de dados ordenados. O cálculo foi realizado a partir da série de dados consistidos de vazões diárias (m^3/s). Sendo assim, tem-se que a probabilidade de excedência p_i de $Q(i)$ é calculada por meio da equação 3.

$$p_i = i/N * 100 \quad (3)$$

As curvas de permanência foram construídas para os cinco postos fluviométricos localizados no rio Apodi-Mossoró, com auxílio do software HIDRO 1.4, desenvolvido pela ANA. O valor da vazão regularizada foi definido com base no nível de garantia de 90% de permanência, conforme recomendação da Política Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte.

- **Sazonalidade**

Usualmente, a curva de permanência tem sido calculada considerando todo o período de dados da série histórica. Esse tipo de curva não contempla os efeitos da sazonalidade ao longo de cada ano. Para considerar a sazonalidade pode-se determinar a curva de permanência para cada mês do ano, a partir dos dados de todos os anos da série histórica. Por consequência, a vazão de Q_{90} não é necessariamente igual para diferentes meses do ano isoladamente.

O resultado dessa análise permite distinguir as características mensais da vazão regularizada. Sendo assim, com o objetivo de analisar a sazonalidade das vazões, foram construídas as curvas de permanência para cada mês do ano e foi extraída a Q_{90} e Q_{50} mensal, com auxílio do software HIDRO 1.4, o qual permite acessar o banco de dados com todas as estações fluviométricas disponíveis, realizar operações e obter dados e confeccionar a representação gráfica.

A metodologia proposta buscou mapear trechos, a fim, de disponibilizar aos órgãos gestores e ao comitê da bacia hidrográfica instrumentos para análise e planejamento, considerando os reservatórios como as principais reservas para abastecimento humano na região.

Resultados e Discussão

Na Tabela 2 pode-se observar as variáveis estatísticas calculadas para cada estação fluviométrica selecionada, para os dados de vazão média, vazão máxima, vazão mínima, moda, mediana e desvio padrão. Foi possível identificar que as vazões mínimas foram nulas para todas as estações, confirmando a intermitência do rio. A maior vazão máxima foi a da estação “Pau

dos Ferros”, porém com a menor mediana. Os desvios padrões também se mostraram elevados, da ordem de 35 m³/s a 60 m³/s, indicando que os dados variaram nessa magnitude em torno da média.

As vazões médias nas estações “Pau dos Ferros” e “Fazenda Poço Verde”, na faixa de 6,5 a 7,5 m³/s, divergiram da mediana em valores aproximadamente 99% abaixo da vazão média, o que implica em uma assimetria na distribuição desses dados e confirma a concentração temporal das vazões em poucos períodos chuvosos. A explicação para a obtenção deste resultado é a localização dessas estações, ambas estão no alto oeste, a montante do açude Santa Cruz do Apodi, região com predominância do cristalino. Esse aquífero tem a característica de não promover o escoamento de base, de modo que as vazões nos rios só ocorrem em pequenos períodos após as chuvas.

Código	Estação	Q _{média} (m ³ /s)	Q _{máx} (m ³ /s)	Q _{mín} (m ³ /s)	Moda (m ³ /s)	Mediana (m ³ /s)	Desvio Padrão
37030000	Pau dos Ferros	7,16	1011,75	0,00	0,00	0,027	36,937
37050000	Fazenda Poço Verde	6,59	291,30	0,00	0,00	0,071	23,393
37080000	Pedra de Abelhas	15,48	786,19	0,00	0,00	0,619	61,95
37084000	Gov. Dix-Sept Rosado	7,11	804,29	0,00	0,00	0,446	34,241
37090000	Mossoró	20,83	548,83	0,00	0,00	23,227	35,383

Tabela 2: Resultados da análise estatística descritiva

Na Figura 2 pode-se observar as vazões médias obtidas por meio dos dados brutos das seções selecionadas na área de estudo.

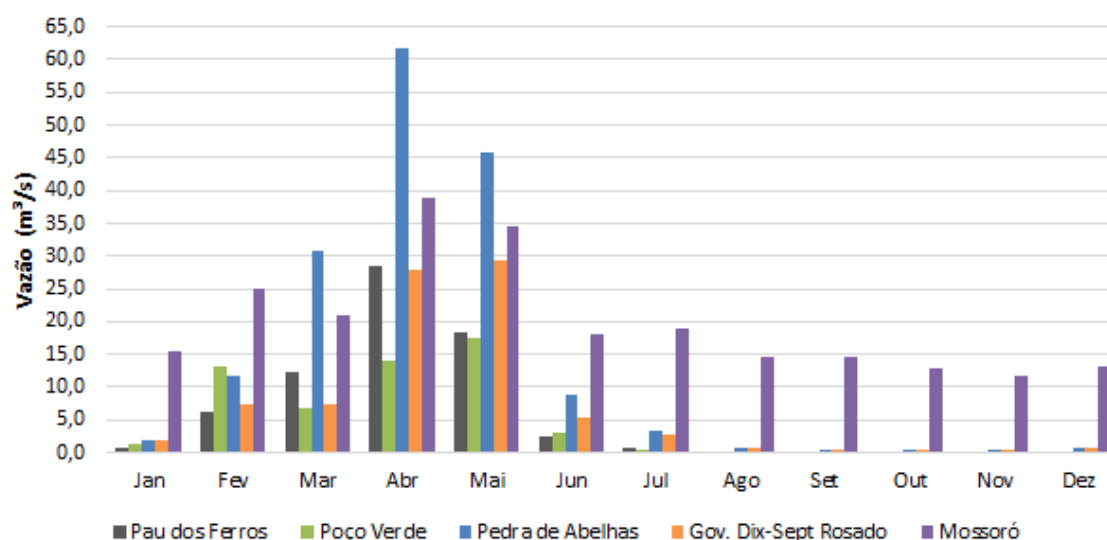


Figura 2: Vazões médias mensais para as seções selecionadas

Pode-se observar que, com exceção da estação “Mossoró”, todas as estações apresentaram vazões médias concentradas no período chuvoso (e.g. fevereiro a maio), uma característica que revela a forte sazonalidade das vazões. A divergência da estação “Mossoró” ocorre em decorrências de sua localização, na região de aquífero Jandaíra, trecho da região do baixo curso do rio, próxima à sua foz. Sendo assim, esse tipo de aquífero confere a característica de escoamento de base e sustentação de vazões nos rios após o período chuvoso do ano. Também, observa-se a diferença nos resultados das estações “Poço Verde” e “Pedra de Abelhas”, a primeira à montante e segunda à jusante do reservatório Santa Cruz do Apodi, e com isso, pode-se verificar a influência do maior reservatório da bacia no aumento das vazões médias.

As médias móveis de vazões com período de 15 anos são apresentadas na Figura 3. A média móvel de longo prazo pode ajudar a identificar tendências de aumento ou diminuição nas vazões do rio ao longo do tempo. Isso é importante para entender as mudanças no regime hidrológico do rio e prever possíveis impactos futuros. A estação “Fazenda Poço Verde” não possui quantidade de dados, sendo assim, não há gráfico de sua média móvel de vazão, haja vista que o período de dados consistidos ocorreu entre os anos de 2000 e 2014.

Assim, constata-se que as vazões médias no rio Apodi-Mossoró exibem heterogeneidade em relação às tendências observadas. A estação “Pedra de Abelhas” apresentou a maior tendência de redução das vazões, no entanto, pode-se atribuir esses resultados à construção do reservatório Santa Cruz do Apodi, a partir do ano de 2002. Apesar desse fato, as vazões médias já possuíam tendência de redução no período de 1988 a 2002 e, mesmo assim, ela é a 2ª estação com maior média de

longa duração. Também, a estação "Pau dos Ferros" apresentou uma tendência decrescente nas vazões, que pode ser atribuída a questões climáticas ou de uso consuntivo e ocupação do solo, pois o reservatório Pau dos Ferros foi construído em 1967.

Por outro lado, as estações "Gov. Dix-Sept Rosado" e "Mossoró" evidenciam uma tendência de aumento nas vazões médias. Portanto, é possível concluir que a bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró não apresenta uma tendência única com relação às vazões no rio e, portanto, recomenda-se uma abordagem de planejamento e monitoramento mais aprimorada na região. Assim, espera-se mitigar a tendência de redução das vazões observadas e minimizar os efeitos negativos decorrentes da escassez hídrica.

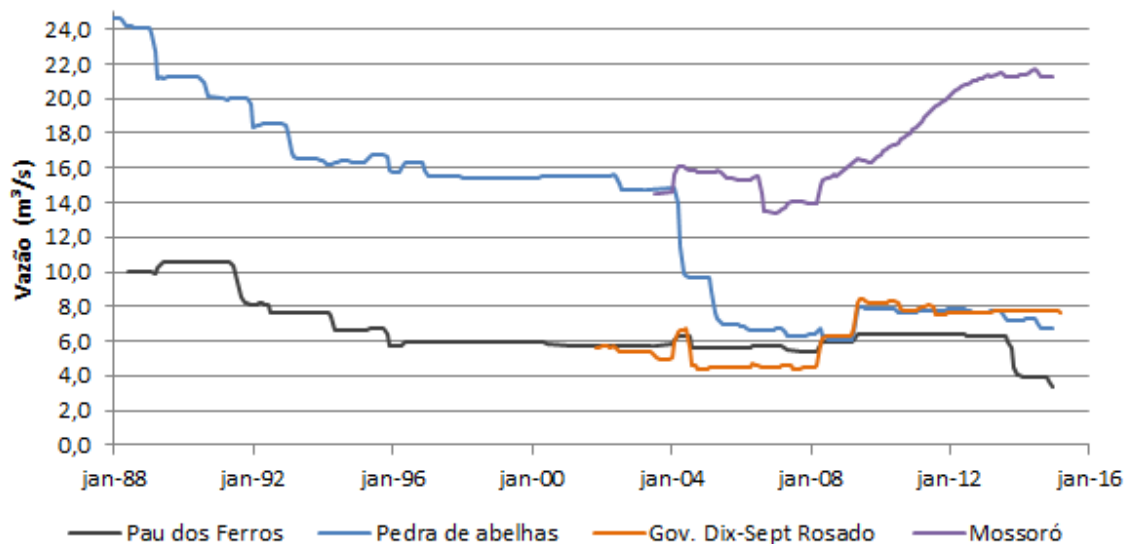


Figura 3: Média móvel com período de 15 anos por estação fluviométrica

Na Tabela 3 é possível observar os resultados obtidos de vazões considerando as curvas de permanência, o que indica uma indisponibilidade hídrica, no rio Apodi-Mossoró, constatada pelo critério da vazão regularizada com 90% de permanência nas 5 estações fluviométricas. Esse fato traz à tona a preocupante realidade de intermitência dos rios da região. Nesse contexto, fica evidente que são os reservatórios já existentes que desempenham um papel crucial na garantia de vazões regularizadas para atender às demandas hídricas locais. Essas estruturas revelam-se fundamentais para assegurar a segurança hídrica da região, uma vez que proporcionam o armazenamento e a distribuição controlada de água ao longo do tempo. A dependência desses reservatórios demonstra a necessidade de um gerenciamento eficiente e sustentável dos recursos hídricos, com a implementação de políticas de conservação, uso racional e investimentos em infraestrutura adequada.

Estação	Curva de Permanência (m³/s)											
	<1%	5%	10%	15%	20%	25%	50%	75%	80%	90%	95%	100%
Pau dos ferros	1012	31,4	7,3	2,94	1,5	0,69	0,03	0	0	0	0	0
F. Poço Verde	291	39	12,5	5,4	3,03	1,78	0,07	0	0	0	0	0
Pedra de Abelhas	786	74,8	22,2	10,1	5,54	3,2	0,62	0	0	0	0	0
Gov. Dix-Sept Rosado	804	23,6	9,5	5,05	3,18	2,24	0,45	0,01	0	0	0	0
Mossoró	549	37,1	29,3	27,7	27,2	26,7	23,2	3,27	0	0	0	0

Tabela 3: Curvas de permanência

Na Figura 4 pode-se observar os resultados obtidos para a sazonalidade da disponibilidade hídrica, onde a vazão regularizada com 90% de permanência foi calculada para cada mês do ano. Os dados revelaram um cenário negativo nas estações "Pau dos Ferros" e "Pedra de Abelhas", com disponibilidade hídrica nula em todos os meses do ano, o que indica a condição de escassez nesses trechos. Nas demais estações de medição de vazão, a disponibilidade hídrica também é limitada, com apenas um ou dois meses do ano apresentando vazão com 90% de permanência. Essa distribuição desigual da disponibilidade hídrica ressalta a importância dos reservatórios para garantir o fornecimento de água aos usuários e a importância de estratégias de gestão de recursos hídricos para lidar com a variabilidade hidrológica.

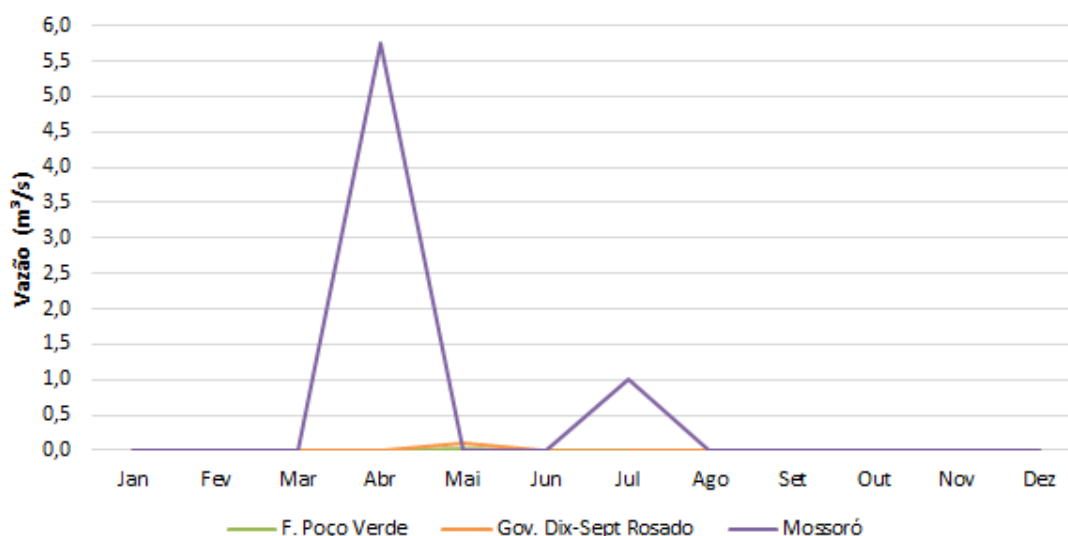


Figura 4: Vazões mensais regularizadas com 90% de permanência

Na Figura 5 pode-se observar os resultados da vazão regularizada com 50% de permanência, revelando um panorama distinto do comportamento das vazões durante os meses chuvosos em comparação com os demais meses do ano, evidenciando as variações climáticas que favorecem e definem a sazonalidade.

Destaca-se o resultado observado na estação "Mossoró", que demonstra uma permanência de vazões significativamente superiores às demais estações. Essa característica peculiar pode ser explicada pela complexa configuração hidrogeológica da região, conforme já mencionado.

Tal diferenciação no comportamento das vazões observadas reforça a importância de uma compreensão aprofundada das condições hidrológicas locais para o adequado planejamento e gestão dos recursos hídricos, auxiliando desta forma os tomadores de decisão do sistema de gestão de recursos hídricos do estado do Rio Grande do Norte.

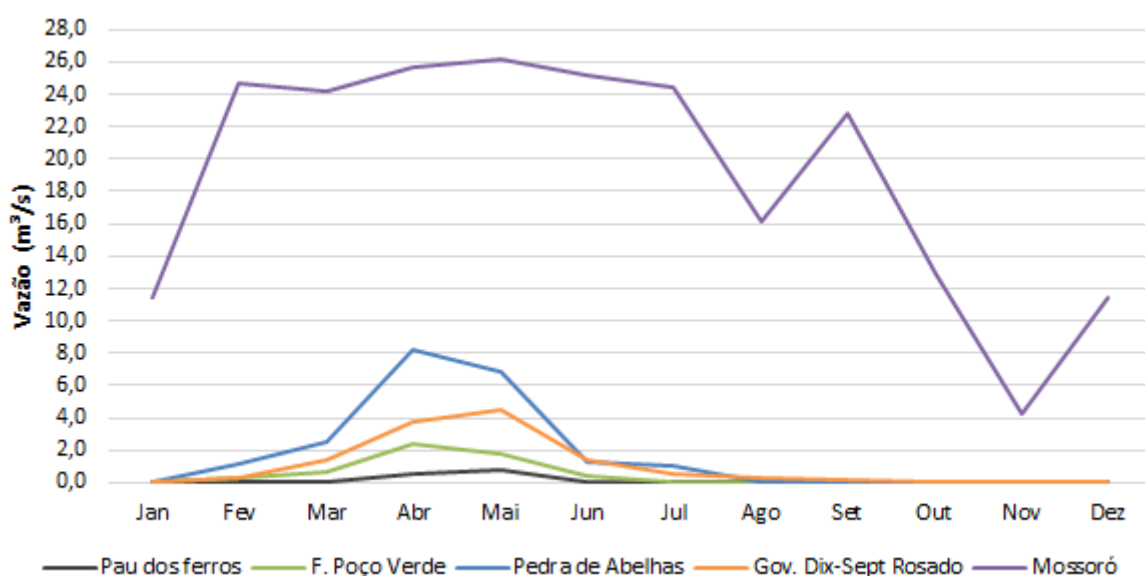


Figura 5: Vazões mensais regularizadas com 50% de permanência

Os reservatórios superficiais de acumulação são estruturas físicas construídas capazes de desempenhar um papel fundamental na gestão dos recursos hídricos na região do semiárido brasileiro e, especificamente, na região do alto Oeste do estado do Rio Grande do Norte.

Considerações Finais

De acordo com os resultados obtidos na área da bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, pode-se concluir que os principais reservatórios ao longo do rio impactam significativamente na disponibilidade hídrica da bacia, considerando a intermitência dos rios na área de estudo.

É fundamental o empenho no fomento de alternativas para garantir a disponibilidade de água e atendimento considerando o aumento das demandas.

O uso da água subterrânea em trechos da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró deve ser considerado como recurso estratégico para o desenvolvimento, uma alternativa importante para a zona rural e urbana, condicionado à obediência de formalidades legais.

A análise da disponibilidade hídrica pode contribuir significativamente para a gestão sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas, auxiliando na tomada de decisões informadas, dos Gestores de Recursos Hídricos no estado do Rio Grande do Norte, eficientes e eficazes para o uso racional da água.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015 e ao Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, o campus de Sumé da Universidade Federal de Campina Grande, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

Araújo, M. D; Ribeiro, M. M. R; Braga, C. F. C.; 2019. Integrando a modelagem da alocação de água ao sistema de indicadores FPEIR: aplicação ao semiárido do Brasil. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.24, n.6. Rio de Janeiro: ABES. DOI: 10.1590/S1413-41522019184425

Cirilo, J.A.; Montenegro, S. M. G. L.; Campos, J. N. B.; 2010. A questão da água no semiárido brasileiro. In: Bicudo, C.E. De M.; Tundisi, J.G.; Scheuenstuhl, M.C.B. Águas do Brasil análises estratégicas. São Paulo: Instituto Botânica. v.1, p.81-91.

Cruz, J. C.; Tucci, C. E. M.; 2008. Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH). Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. v.13, n.1.

Lemos Filho, L. C. A.; Espínola Sobrinho, J; Oliveira Júnior, H. S; 2021. Clima e Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Apodi-Mossoró – RN. In: Rio Apodi-Mossoró: Meio ambiente e planejamento. Carvalho, R. G. Mossoró: EDUERN, 2021, p.37-62.

Hirata, R; Suhogusoff, A; Marcellini, S. S; Villar, P. C; Marcellini, L. 2019. As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências, p.66. doi: 10.11606/9788563124074.

Montgomery, D. C.; Runger, G. C.; 2016. Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC.

Oliveira, T. C. C.; Gonçalves, F. A.; 2022. Tamanho ideal de séries históricas de vazões mínimas anuais e suas aplicações em estudos hidrológicos: estudo de caso nas regiões hidrográficas Paraná e São Francisco. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. p.805-816. DOI: 10.1590/S1413-415220210232.

Rabelo, D. C; Eloi, W. M; Alexandre, D. M. B; Costa, R. B. 2021. Usos múltiplos da água em cenário de escassez hídrica – análise da gestão dos recursos hídricos no Ceará durante a seca de 2011-2016. Brazilian Journal of Development, v.7, n.2, p.15918-15940. DOI:10.34117/bjdv7n2-288.

Tucci, C. E. M.; 1995. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora UFRGS.

DETERMINAÇÃO DA CURVA-CHAVES DO RIO JAPURÁ NO ESTADO DO AMAZONAS

¹José Marques da Silva; ²Flavio Wachholz; ³Fabio Leite Dias; ⁴Carlossandro Carvalho de Albuquerque; ⁵Joecila Santos da Silva

¹Universidade do Estado do Amazonas, e-mail: Jmds.mgr23@uea.edu.br; ²Universidade do Estado do Amazonas, e-mail: fwachholz@uea.edu.br; ³Universidade do Estado do Amazonas, e-mail: fabio.dias@sgb.gov.br; ⁴Universidade do Estado do Amazonas, e-mail: cscarvalho@uea.edu.br; ⁵Universidade do Estado do Amazonas, e-mail: jsdsilva@uea.edu.br

Palavras-chave: – Curva chave, Hidrograma e Japurá.

Resumo:

Os rios da Amazônia são de grande relevância para o país e seu potencial faz com que olhares se voltem com intuito de explorar suas riquezas e recursos ofertados pelos corpos hídricos, nascente do Japurá está localizado na Columbia conhecido Caquetá no país vizinho, dentro do território brasileiro, onde está sua maior parte, ocorre exploração dos garimpos que até mesmo ocasiona impactos em sua qualidade. O local que exige questão logística possui custo elevado, com isso o trabalho de medição da vazão se torna escasso e sua coleta, com isso, existe métodos utilizado para medição de cota e vazão através da curva chave, realizado através de equações que disponibiliza dados preciso para se chegar o resultado de sua vazão aplicável ao rio Japurá. Diante do exposto, foi utilizado dados Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídrico (SNIRH) no Hidroweb, trazendo informações através de gráficos elaborados, permitindo a visualização de inconsistência, assim podendo analisar seus períodos sazonais, assim podendo definir uma cota da cheia e estiagem do Japurá, a estação Abacatal, (12860000), corresponde a $Q = 3,1978 (h-ho)^{2,8653}$, com R^2 igual a 98,24%, a equação encontrada pode estar sendo utilizada por qualquer período do ano até, possível identificar o comportamento do rio Japurá.

Introdução

As questões hídricas são discutidas e colocadas em pauta pelas conferências mundiais, isso ocorre desde 1972, com a conferência de Estocolmo, mas ultimamente tem sido considerado importante assunto por se tratar de interesse coletivo de várias camadas sociais.

A água é recurso essencial para sobrevivência dos seres vivos e humano, sendo essencial para a manutenção do ecossistema e utilizada para vários seguimentos como: irrigação, pecuária, recreação, consumo humano, dessedentação animal, geração de energia e atividades industrial. Esses usos ocasionam impactos nos recursos hídricos, como lançamento de esgoto, contaminação por resíduo sólidos, desmatamento das matas ciliares que podem comprometer a qualidade do manancial.

A bacia hidrográfica do Amazonas, possui uma extensão de 6 milhões de km², nascendo nos Andes e Planalto da Guiana, nos países circunvizinhos como Peru, Bolívia, Columbia, Equador, Venezuela, Guiana e Bolívia, no Brasil compreende os estados de Acre, Amazonas, Pará, Rondônia, Mato Grosso e Amapá, compondo 63% do território nacional (SILVA,2017).

Os rios da Amazônia, possuem características distintas e sua tonalidade classificados como barrenta turva, preta e águas claras e sua foz rio Amazonas é em forma de delta desaguando no oceano Atlântico. Dentro dessa vasta bacia, encontra-se no Amazonas os seus principais afluente, na margem direita destacam-se os rios Javari, Juruá, Jutai, Purus, Madeira, Tapajós e Xingu e, pela margem esquerda, os rios Içá, Japurá, Negro, Uatumã, Nhamundá, Trombetas e Jari (MMA,2006).

Os rios transfronteiriços-são os maiores contribuintes que a bacia compartilha de forma natural com outros países, tais como: “Solimões, Purus, Juruá e Javari (cujas nascentes estão no Peru), Negro e Japurá (nascentes na Colômbia) e Madeira (nascente na Bolívia). Em território brasileiro, os cursos d’água que banham mais de um estado sendo considerados rios federais, como os rios Purus (Acre e Amazonas) e Madeira (Rondônia e Amazonas) (SEMA,2019).

A curva-chave é um método para calcular a vazão de um determinado corpo hídrico, cujos resultados podem ser utilizados para realizar hipóteses do seu potencial hidroelétrico ou abastecimento de uma forma eficaz igualitária, levando em consideração o fornecimento da vazão do rio.

De acordo com Pinheiro e Badia (2008) a curva-chave relaciona com escoamento e vazão, através da altura da lâmina da água, assim através da cota do rio determina-se a vazão do escoamento. No entanto, o processo de coleta dessas variáveis tem custo elevado e limitando-se às características hidrológicas e geomorfológicas do rio, conforme seu curso e peculiaridades, identificando-se corredeiras, cachoeiras, turbulência e leitos irregulares, incluindo animais aquáticos e predadores carnívoros.

Neste trabalho, objetiva-se analisar cota e vazão do rio Japurá, através da curva-chave e hidrograma com dados adquiridos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1. Área de estudo

Este estudo, foi realizado no rio Japurá, afluente do rio Solimões no estado do Amazonas. É um rio transfronteiriço, cuja nascente se encontra na Cordilheira Oriental na Colômbia, lá conhecido como rio Caquetá, totalizando uma extensão de 2.800 km.

O rio possui sua água límpida em contraste com as do rio Solimões que são barrenta, seu leito proporciona a formação de praias e paranás mirins, em sua estação de cheia dá o efeito de alagação submergindo, suas terras, compondo as várzeas (IBGE,[s.d])

Pode ser observado na figura 1, a altitude da bacia do rio Japurá, sua altimetria conforme a jusante, possui uma declividade acentuada que faz com que a erosão se torne intensa e de alta velocidade, contribuindo para o transporte de sedimentos erodidos da cordilheira, oriunda sua nascente.

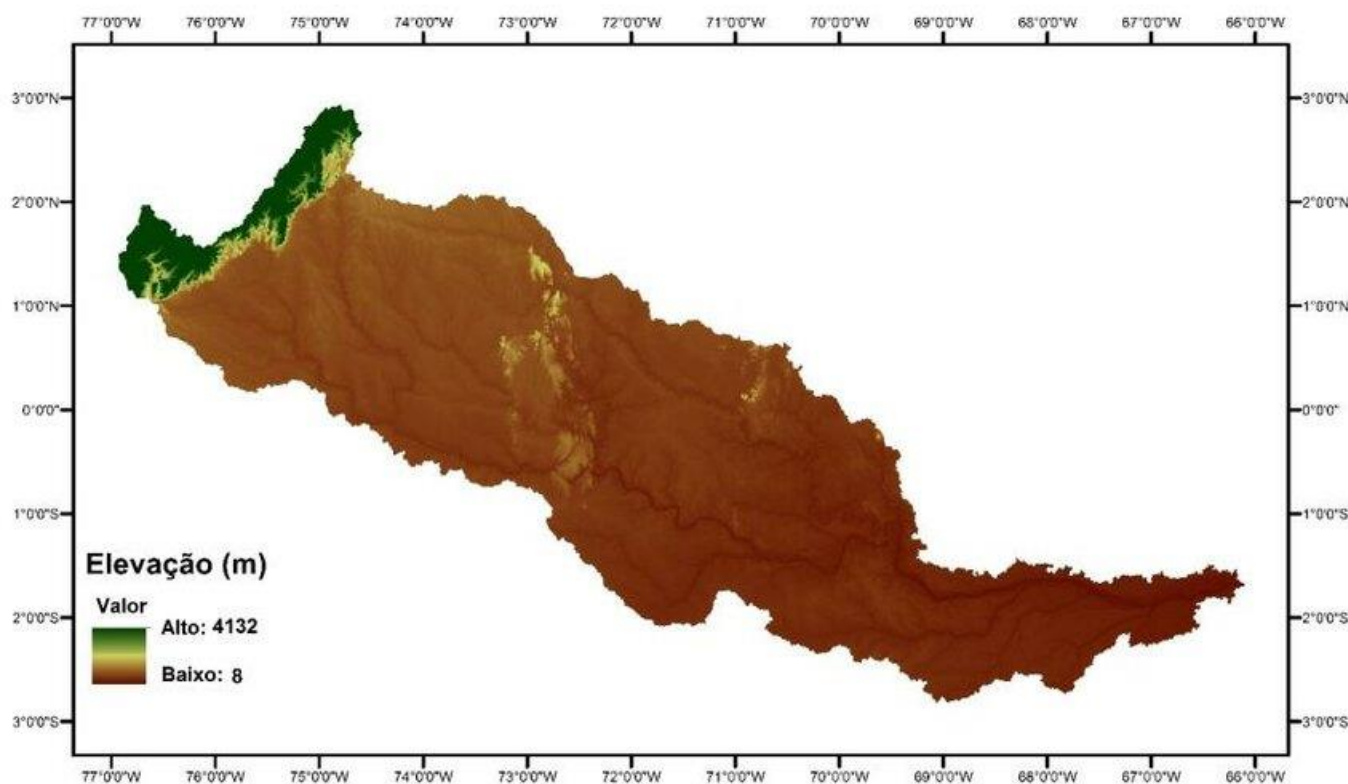


Figura 1: Altimetria da Bacia Japurá

Fonte: Silva, 2015

2.1. Dados

Este trabalho consiste na utilização de dados de vazão da estação rio Japurá, encontrado no banco de dados Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) sob o código 12860000, adquirido no portal Hidroweb (http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf), Pertencente ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e que disponibiliza uma gama de dados hidrológico coletado pela rede Hidro meteorológica Nacional (RHN).

A escolha da estação ofertada pelo sistema, considerou dois critérios: próximo à foz do rio a ser analisado e quantidade de dados de vazão disponíveis pela estação, conforme isso, optou-se pela estação Abacatal, cadastrada no banco de dados da ANA sob o código 12860000 que possui proximidade da foz e quantidade razoável de dados para estudo. Adotou-se o período de 1973 à 1998, equivalente a 16 anos de dados (Tabela 1)

Tabela 1 – Postos pluviométricos utilizados

Código	Nome do posto	Município	Período de observação
12860000	Abacatal	São Sebastião Uatumã	1973 - 1998

2.2. Métodos

A partir dos dados de vazão disponíveis na estação escolhida, procedeu-se com a elaboração de duas ferramentas gráficas: o hidrograma e a curva-chave. Para o desenvolvimento destas foi utilizado o software Excel, desenvolvido pela Microsoft, como apoio na organização dos dados e geração das curvas.

Hidrograma

Este gráfico foi obtido a partir da ordenação, no Excel, dos dados de vazão de forma que cada coluna representasse um ano e cada linha dessa coluna, um mês. Sendo assim, uma matriz de 12 linhas e 16 (número de anos) colunas foi formada. De cada linha foi retirado seu valor médio, representando, assim, a vazão média daquele mês considerando todos os anos registrados, conforme equação 1.

$$Q_m = \frac{\sum q_m}{n_{rm}} \quad (1)$$

Onde:

Q_m : vazão média mensal [m^3/s];

q_m : vazão mensal [m^3/s]; e

n_{rm} : número de registros do mês.

O gráfico foi elaborado colocando no eixo das abscissas os meses equivalentes ao período de um ano inteiro e no eixo das ordenadas foram distribuídas as vazões médias mensais considerando todos os anos.

Curva-Chave

Para obtenção da curva-chave definiu-se uma equação matemática, conforme metodologia proposta por Jacon e Cudo (1989), apresentando os menores desvios relativos às vazões medidas, ajustando-se, pelo método dos Mínimos Quadrados, conforme equação 2. Segundo Lambie (1978) e Mosley e McKerchar (1993), essa equação permite estimar a descarga numa determinada seção fluvial realizando uma simples leitura de nível na régua linimétrica.

$$Q = a (h - h_0) b \quad (2)$$

Onde:

- Q é vazão em m^3/s ;
- h é o nível d'água em m (leitura na régua);
- a , b e h_0 são constantes para a estação, a serem determinadas;
- h_0 corresponde ao valor de h para vazão $Q = 0$.

A partir do programa Microsoft Excel (colocar referência do programa) os parâmetros a , b e h_0 da equação foram determinados realizando um processo interativo com a ferramenta solver, e em seguida os dados foram representados num gráfico de dispersão.

Os parâmetros das curvas-chave foram determinados utilizando-se o modelo de otimização não linear, cuja função objetivo foi minimizar a diferença quadrada entre as vazões observadas e calculadas, conforme equação 3. O processo de cálculo é iniciado definindo-se a , n e h_0 como células variáveis. Além disso, o limite inferior de n deve ser maior que 1.

$$\text{Min } \Sigma (Q_{\text{calc}} - Q_{\text{obs}})^2 \quad (3)$$

Onde:

Q_{calc} é a vazão calculada para a estação analisada e Q_{obs} é a vazão observada na estação.

A variável h_0 é restrita a um valor menor ou igual ao valor mínimo do nível da água (h_{min}) da série histórica dos dados utilizados, conforme equação 4.

Equação 4:

$$h_0 \leq h_{\text{min}} \quad (4)$$

Para a etapa de validação da curva-chave seguiu-se as recomendações propostas pela ANA (2012) e Lemos et al (2013), conforme as seguintes premissas:

- Distribuição uniforme dos desvios nos gráficos de desvio versus cota, o que indicaria igual distribuição de pontos nos dois lados da curva;
- Distribuição uniforme dos desvios nos gráficos de desvio versus tempo; e
- Valor do desvio médio das medições em relação à curva-chave traçada, tolerando se um desvio máximo de 20%

O conceito de desvio é dado pela diferença percentual entre os valores de vazão calculados e medidos, conforme a equação 5.

$$\text{Desvio (\%)} = (Q_{\text{calc}} - Q_{\text{obs}} / Q_{\text{obs}}) \times 100\% \quad (5)$$

A qualidade do ajuste do modelo foi realizada através do coeficiente de determinação R^2 , que varia entre 0 e 1, indicando, em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Quanto maior o R^2 , mais explicativo é o modelo e melhor ele se ajusta à amostra.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos foram analisados com isso, gerado uma curva-chave inicial dos valores medidos em campo (círculos em azul). Com ajuste dos dados (círculos laranja) a equação da curva-chave, encontrada para a estação Abacatal, (12860000), corresponde a $Q = 3,1978 (h - h_0)^{2,8653}$, com R^2 igual a 98,24%, conforme indicado na figura 2. Esta equação possibilita a determinação dos valores estimados para qualquer dia mês apenas com os valores da cota.

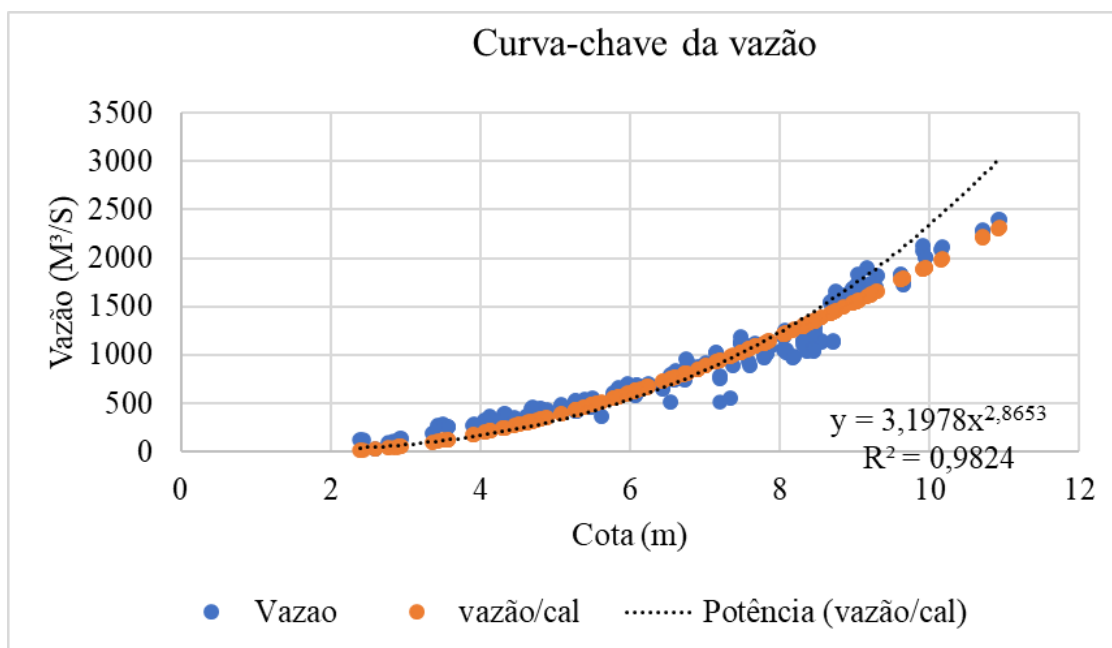


Figura 2: Curva-Chave do rio Japurá
Elaborado: SILVA, 2023

Já na figura 3, encontra-se o Hidrograma do rio Japurá, onde percebe-se claramente as características de sazonalidade do rio Japurá, a inundação desenvolve-se sobre vários meses e permanece em sua superfície máxima durante algumas semanas, dando origem a um hidrograma multimodal, resultante do regime equatorial (Rodier, 1964 e Molinier, 1997), com dois períodos hidrológicos bem definidos ao longo do ano e ascensões e recessões assimétricas. O período de enchente avança rapidamente e a vazante progride lentamente, com a cheia apresentando um pico mais evidenciado entre março e julho, onde as vazões máximas são encontradas mais frequentemente no mês de junho e Julho com seu pico na vazão por estar no período verão Amazônico, correspondendo a 800 m³/s. A estiagem inicia-se em agosto e se estende até fevereiro, apresentando, com mais frequência, as cotas mínimas no mês de fevereiro equivalendo a 390 m³/s.

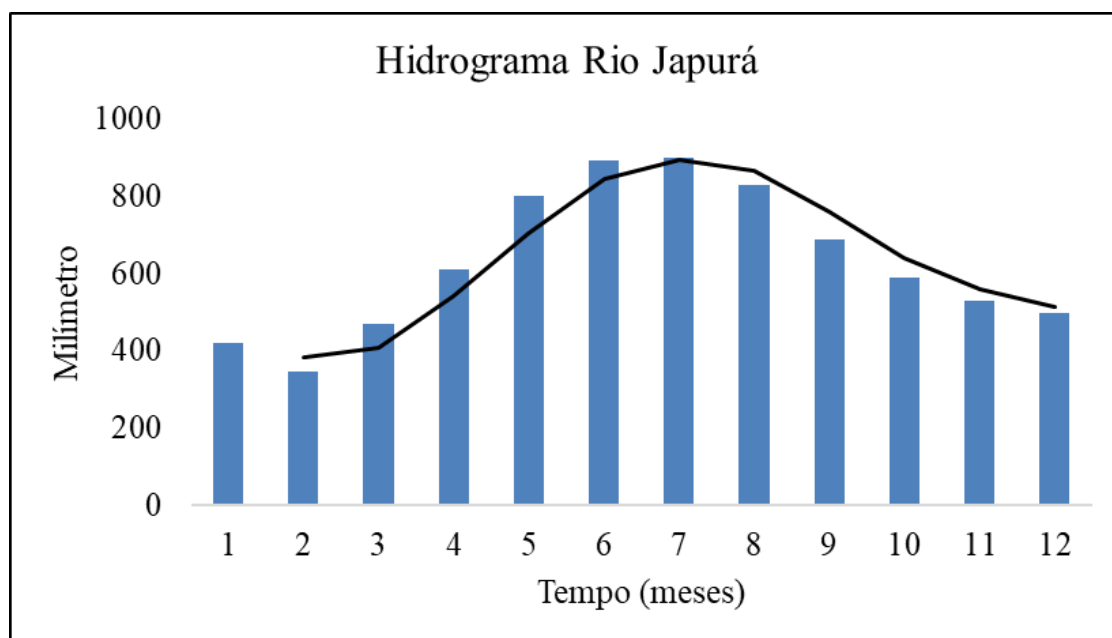


Figura 3: Hidrograma comportamental rio Japurá
Elaborado: SILVA, 2023

4.CONCLUSÃO

O presente estudo teve por objetivo a determinação da curva chave e do hidrograma da bacia do rio Japurá. A curva-chave encontrada apresentou uma correlação muito forte entre as variáveis, onde somente 1,763% da variabilidade da vazão não pode ser descrita pela variabilidade na cota e vice-versa.

Destaca-se a importância de trabalhar-se com métodos de previsão das vazões como a curva-chave, enquanto a realidade para os rios Amazônicos não apresenta medições diretas com certa constância. Além de servirem na aplicação de seus dados como ferramenta na construção de um Plano de Recursos Hídricos adequado à região, podem ser utilizados para análise de processos de outorga ou, ainda, na própria inserção da rede de do Sistema Nacional de Informação Recursos Hídricos (SNIRH). Adequando aos objetivos de uso racional contemplando satisfatoriamente o uso múltiplo da água.

Comentários finais

O presente estudo teve por objetivo a determinação da curva chave e do hidrograma da bacia do rio Japurá. A curva-chave encontrada apresentou uma correlação muito forte entre as variáveis, onde somente 1,763% da variabilidade da vazão não pode ser descrita pela variabilidade na cota e vice-versa.

Destaca-se a importância de trabalhar-se com métodos de previsão das vazões como a curva-chave, enquanto a realidade para os rios Amazônicos não apresenta medições diretas com certa constância. Além de servirem na aplicação de seus dados como ferramenta na construção de um Plano de Recursos Hídricos adequado à região, podem ser utilizados para análise de processos de outorga ou, ainda, na própria inserção da rede de do Sistema Nacional de Informação Recursos Hídricos (SNIRH). Adequando aos objetivos de uso racional contemplando satisfatoriamente o uso múltiplo da água.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Jesus Cristo, pela sabedoria dele que excede todo o conhecimento, pelo apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior–CAPES–Código de Financiamento 001, do Programa de Mestrado Profissional, em Rede Nacional, em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos–ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°.2717/2015. Agradecimentos à Agência Nacional das Águas pela cessão de dados distribuídos gratuitamente.

Referências Bibliográficas

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Enciclopédia dos Municípios Brasileiros*, v.XIV–IBGE. Disponível em: <https://regrasparatcc.com.br/formatacao/como-referenciar-o-ibge/> > acesso 12 de Jun de 2023.

JACCON, G.; CUDO, K. J. (1989), *Hidrologia-curva-chave: análise e traçado*, DNAEE, Brasília.

LAMBIE, J. C. (1978). Measurement of flowvelocity-area methods. Chap. 1 of *Hydrometry: Principles and Practices* (Ed. R. W. Herschy). John Wiley & Sons. Chichester. England.

MMA(2006), *Caderno da Região Hidrográfica Amazônica*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, 124 p.

MOSLEY, M. P., MCKERCHAR, A. I. (1993). *Handbook of Hydrology*, Capítulo 8: Streamflow (ed. David R. Maidment). McGraw-Hill, N.Y.

MOLINIER, M., GUYOT, J.L., CALLÈDE DE, J., GUIMARÃES, V., OLIVEIRA E, FILIZOLA, N., (1997), “*Hydrologie du bassin amazonien*”, In: THÉRY, H. (ed.), *Environnement ET développement en Amazonie brésilienne*, pp. 24-41. Paris, FR: Editions Belin.

PAIVA, L. E. D.; MORAES, M. F.; LARIVOIR, J. C. V. M. (2011), Estimativa da vazão através da curva-chave para o rio Paraibuna em Juiz de Fora (MG). In: *Anais XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*.

PINHEIRO, A. BADIA, S.B.(2008) *EFEITOS DA CURVA-CHAVE SOBRE A CURVA DE PERMANÊNCIA DOS ESCOAMENTOS EM UMA BACIA AGRÍCOLA*. Revista Estudo Ambiental, São Paulo, V.10, N.2, P 64-70, jul./dez.

RODIER, J., (1964), *Régimes hydrologique de l’Afrique noire à l’Ouest du Congo*, Mémoires OSTOM6, OSROM, Paris.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. (2019) Governo do Estado do Amazonas. *Gestão de Recursos Hídricos no Amazonas*. Relatório. Manaus, 2019. Disponível em:< <https://meioambiente.am.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/RELATORIO-DE-GEST%C3%83O-Recusros-h%C3%ADricos-sema-2019.pdf>> acesso5 de Jun de. 2023.

SILVA, Mylena Vieira.(2017), *Associação da variabilidade climática dos oceanos com os níveis dos rios da Amazônia: uma análise a partir de dados Altimétricos.* Mylena Vieira Silva . --- Manaus: [s.n.], .127 f.: il.

SILVA, Mylena Vieira et al.(2015) *AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS DOS RESULTADOS DE MODELAGEM HIDROLÓGICA ASSOCIADOS À PRODUTOS DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RIO JAPURÁ*. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

COMPORTAMENTO COMPARATIVO SAZONAL DOS ÍNDICES NDVI E NDWI NO BAIXO CURSO DO RIO DO PEIXE - OESTE PAULISTA

Paulo Cesar Rocha ¹, Carla Rodrigues Santos ², Tainá do Rosário de Sousa e Veronez ³

¹FCT/UNESP, paulo-cesar.rocha@unesp.br, ²PPGG, FCT/UNESP, carlars2013@gmail.com.br,

³ENA/FCT/UNESP, tayah.veronez@hotmail.com

Palavras-Chave: Morfologia Fluvial., Rio do Peixe., Índices de Vegetação e Umidade

Resumo

O Objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento dos índices de vegetação e de umidade na paisagem fluvial do baixo curso do rio do Peixe/SP no Oeste Paulista, utilizando diferentes períodos sazonais em imagens de dois anos, um ano anterior e um ano posterior à operação da UHE Porto Primavera (CESP). O rio do Peixe flui por aproximadamente 380 km, desde suas nascentes na região de Marília/SP, até a sua foz com o rio Paraná, onde a confluência foi inundada pelo reservatório da UHE Porto Primavera a partir do ano de 1998. Para a identificação da conectividade hidrodinâmica foram utilizados os dados hidrológicos referentes à estação fluviométrica de Flórida Paulista, imagens de satélite Landsat 5/TM de fevereiro e agosto de 1991; e fevereiro e agosto de 2011. Foram calculados os índices de NDWI e NDVI utilizando o software ArcGis 10. Foram utilizadas 3 unidades geomorfológicas diferentes para o estudo: Terraço Alto, Terraço Baixo e Planície Aluvial. Os índices foram classificados em 4 classes, variando de -0,75 a +1,00 para os dois índices. Os resultados da aplicação dos índices de vegetação e umidade revelaram diferenças no comportamento dos compartimentos do relevo sazonalmente. As imagens selecionadas no período pré-barramento apresentam índices NDWI que condizem com o esperado para os períodos de águas altas e águas baixas, onde os maiores intervalos de umidade apresentam maiores áreas de extensão dentro das 3 unidades geomorfológicas. Os índices NDVI tiveram um comportamento levemente inverso para com os índices NDWI. O uso das técnicas de sensoriamento remoto mais a disponibilidade de imagens de satélites e os dados hidrológicos possibilitam identificar e caracterizar as formas e processos associados à paisagem fluvial do vale aluvial.

Introdução

O conceito de conectividade tem sido utilizado para diferentes abordagens, dentro e entre as disciplinas de geomorfologia, hidrologia e ecologia, (WAINWRIGHT et al, 2011; FRYIRS, 2013). Wainwright et al. (2011) fornecem um quadro contextual mais amplo para pesquisa interdisciplinar em que a conectividade estrutural e funcional são propostos como termos universais. Conectividade estrutural descreve a medida em que unidades de paisagem são contíguos ou fisicamente ligados, em múltiplas escalas espaciais e temporais. A conectividade funcional representa a maneira pela qual as múltiplas características estruturais do sistema afetam processos geomórficos, ecológicos e hidrológicos (WESTER et al., 2014).

As morfologias do ambiente fluvial podem também fornecer importantes indicadores sobre influências no sistema fluvial, como: mudanças ambientais e até mesmo as atividades antrópicas. Em diferentes rios as características morfológicas das formas fluviais permitiram, por exemplo, identificar paleocanais na planície de inundação maiores que o canal atual. Estas constatações tornaram-se bases para evidência de distinto regime paleohidrológico decorrentes de mudanças climáticas (Cândido, 1971; Justus, 1985; Merino et al. 2013).

O rio do Peixe, tributário da margem esquerda do rio Paraná, no oeste do estado de São Paulo, possui distintas influências no desenvolvimento das morfologias do ambiente fluvial. Em segmentos do alto e médio curso, bem como em avaliações que abrangem toda a bacia hidrográfica, terraços são atribuídos ao controle de atividades neotectônicas (Etchebehere, 2000; Etchebehere et al. 2004; 2005; 2006).

O sensoriamento remoto é uma ferramenta que possibilita a obtenção de dados da superfície terrestre, sendo de grande utilidade no monitoramento sistemático ambiental. Essa ferramenta auxilia na estimativa de diversos fenômenos meteorológicos e ambientais, servindo como suporte no monitoramento das mudanças climáticas e tomadas de decisões (Moreira, 2003).

O uso de metodologias como o NDWI (Normalized Difference Water Index) permite analisar as feições de água e minimizar o restante dos alvos Mc Feeters (1996). E o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) é utilizado para identificar a presença de vegetação na superfície, caracterizando a sua distribuição espacial e sua evolução ao longo do tempo, através da variação das condições climáticas (Ponzoni & Shimabukuro, 2007).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a conectividade hidrodinâmica a partir dos índices de vegetação e de umidade na paisagem fluvial do baixo curso do rio do Peixe/SP utilizando diferentes períodos sazonais.

Materiais e Métodos

Localização da área de Estudo

O rio do Peixe flui por aproximadamente 380 km, desde suas nascentes na região de Marília, estado de São Paulo, até a sua foz com o rio Paraná, onde a confluência foi inundada pelo reservatório de Porto Primavera no ano de 1998. O baixo curso deste rio, de aproximadamente 70 km de extensão, área em estudo deste trabalho (Figura 1), é marcado pela presença de uma faixa marginal de 3 km de largura de depósitos fluviais (Perrota et al. 2005), que, conseqüentemente, preserva proeminentes morfologias que registram a evolução do sistema fluvial.

Além dos sedimentos do período Quaternário que recobrem o vale aluvial do baixo curso, também há raros afloramentos de rochas ígneas da Formação Serra Geral, nas demais porções da bacia hidrográfica temos a presença de arenitos do período Cretáceo.

A vazão média mensal do rio do Peixe é influenciada pelo regime da precipitação regional, com maior concentração de fluxo entre os meses de dezembro a fevereiro e a menor entre os meses de julho a setembro (Rocha & Tomasselli, 2012). O fluxo hidrológico da estação fluviométrica de Flórida Paulista entre os anos de 1976 e 2013 registra ampla variação da vazão diária, assim como pode ser observado a diferença entre os valores de $Q_{\min}=9,20$ m³/s, $Q_{\max}= 816,50$ m³/s e $Q_{\text{méd}}= 63,40$ m³/s.

A unidade de conservação do Parque Estadual do Rio do Peixe (São Paulo, 2002) está contida na área do vale aluvial do baixo curso do rio do Peixe. Essa unidade de conservação é de proteção integral e possui rica biodiversidade (Smaesp, 2010).

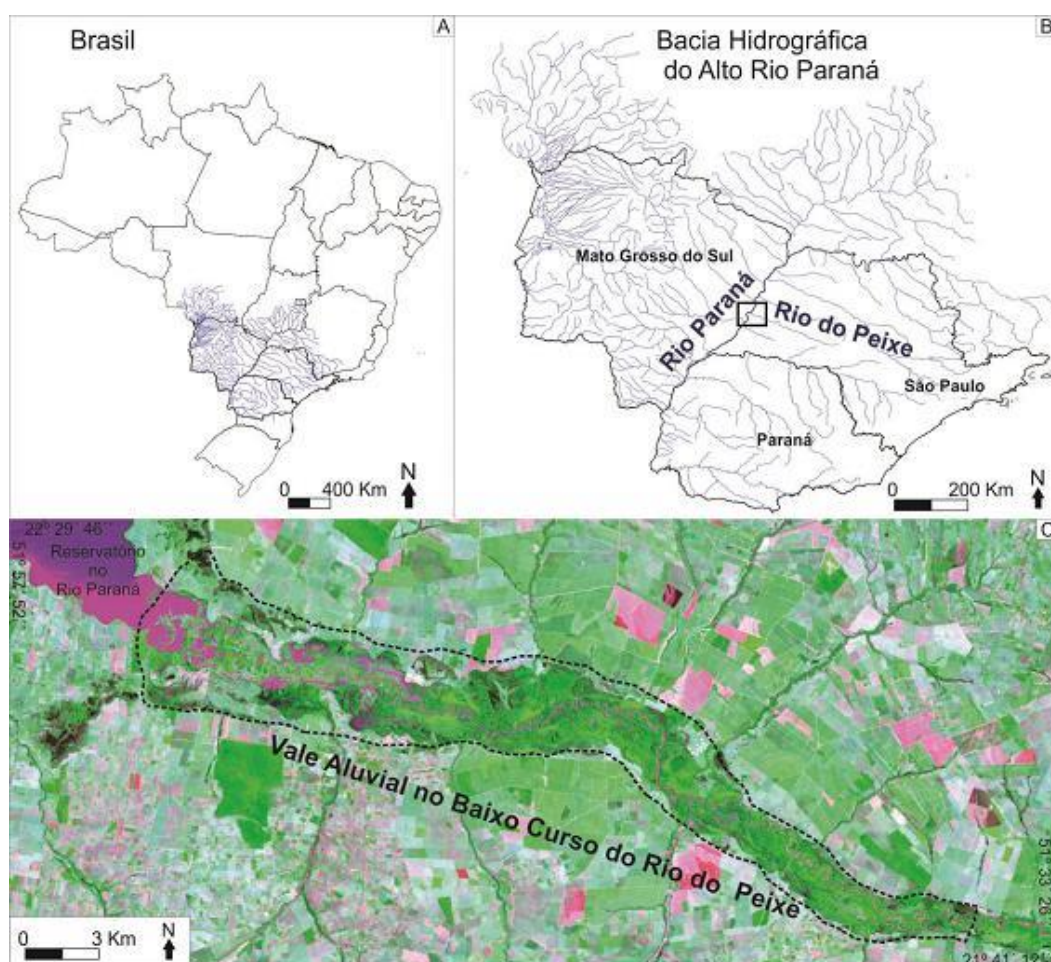


Figura 1. Baixo curso do vale aluvial do rio do Peixe (Oeste Paulista), ladeado por terraços e a planície de inundação

Procedimentos

Para a identificação da conectividade hidrodinâmica utilizamos os dados hidrológicos referentes à estação fluviométrica de Flórida Paulista, código 63805000, localizada a 40 km a montante do vale aluvial. Essa série histórica, cedida pela CESP, abrange dados de vazão diária entre os anos de 1976 e 2013, onde a vazão média durante este período foi de 62,87 m³/s.

Foram utilizadas as delimitações de ambientes de planície de inundação e de terraços fluviais conforme apontado por Morais (2016) para a análise de conectividade hidrodinâmica nas unidades de relevo e entre os índices de umidade (NDWI) e de vegetação (NDVI).

Foram utilizadas imagens de satélite obtidas junto ao Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais - INPE, onde foi possível baixar as cenas gratuitamente e de acordo com os dados do regime hidrológico do rio do Peixe, através da análise das vazões e cotas das estações fluviométricas. As imagens adquiridas foram Landsat 5/TM, obtidas nos dias 5 de fevereiro e 16 de agosto de 1991 e 12 de janeiro e 7 de agosto de 2011, referentes a órbita 223 e ponto 75, pertencentes ao fuso UTM22. Logo, foram feitas as devidas correções atmosféricas e calculados o NDWI e NDVI dos anos de 1991 e 2011, em função da disponibilidade das imagens e dos níveis hidrométricos compatíveis para a comparação sazonal, que compreendem períodos de águas altas (Fevereiro) e águas baixas/estiagem (Agosto), assim como períodos anterior e posterior à operação da UHE Porto Primavera no rio Paraná (efeito de barramento), que foi iniciada em 2001.

O NDWI é indicado para identificar os corpos de água e elimina a influência do solo na vegetação. Utiliza a reflectância no infravermelho próximo (pivp) e a reflectância na faixa do verde (pvd), conforme a equação 1.

$$NDWI = (pvd - pivp) / (pvd + pivp) \quad (1)$$

O NDVI é indicado para detectar a vegetação, para isso, utiliza a reflectância no infravermelho próximo (pivp) e a reflectância no vermelho (pver.), de acordo com a equação 2

$$NDVI = (pivp - pvm) / (pivp + pvm) \quad (2)$$

O cálculo dos índices radiométricos NDWI e NDVI foram realizados utilizando o software ArcGis10, na ferramenta *Raster Calculator*. Após a obtenção dos índices, foram recortadas as imagens e reclassificados os índices em classes, que variaram de -0,75 a 1 e foram divididas em 4 classes (muito baixo -0,75 a -0,3, baixo -0,3 a 0,15, médio 0,15 a 0,6 e alto 0,6 a 1,0). Este conjunto de informações foi utilizado para avaliação do comportamento das unidades de relevo de Terraço Alto (TA), Terraço Baixo (TB) e Planície Aluvial (PA) durante a dinâmica de cheia e vazante no vale aluvial do rio do Peixe.

Resultados e Discussão

Os resultados da aplicação dos índices de vegetação NDVI e umidade NDWI revelaram diferenças no comportamento nas unidades de relevo sazonalmente. Apresentaram valores menores que -0,75 até +1. Os valores positivos de NDWI, corresponderam aos corpos de água, ou seja, massa d'água preservadas nas unidades geomorfológicas. Os valores negativos referem-se as demais áreas com baixa umidade ou áreas sem umidade detectável.

Na aplicação do índice de umidade - NDWI (figura 2 e figura 3) nas áreas estudadas, observou-se que sazonalmente, as imagens selecionadas no período pré-barramento apresentam índices que condizem com o esperado para os períodos de águas altas e águas baixas, onde os maiores intervalos de umidade apresentam maior extensão dentro das 3 unidades geomorfológicas.

Verificou-se que no período pré-barramento o índice NDWI indica uma maior umidade nas classes de muito baixa umidade (-0,75 a -0,30) no Terraço Alto e Terraço Baixo para os dois períodos, 5 de fevereiro e 16 de agosto de 1991. As classes de maior umidade tiveram resultado negativo (diminuição de umidade) entre os dois anos amostrados para estas duas unidades de relevo (figura 2, tabela 1). Contudo, na Planície Aluvial, houve aumento também na classe de umidade baixa (-0,30 a +0,15) no período de águas altas (fev). As demais classes tiveram perda de umidade. Em primeira aproximação, o estudo indica que áreas mais secas ficaram mais úmidas comparando-se estas duas amostras (tabela 2). As diferenças podem estar relacionadas também com a situação hidrológica antecedente às datas das imagens amostradas nestes ambientes, em especial na planície aluvial, que retém mais umidade.

Os índices NDVI tiveram um comportamento inverso com os índices NDWI no geral, entre os períodos de estiagem e águas altas, assim como entre os períodos pré e pós-barramento (figura 3 e tabela 1). Nos períodos de águas altas, observou-se que as áreas com maior incremento na ocorrência de biomassa vegetal estão representadas nas classes de +0,15 a +0,6 (média) para todas as unidades geomorfológicas.

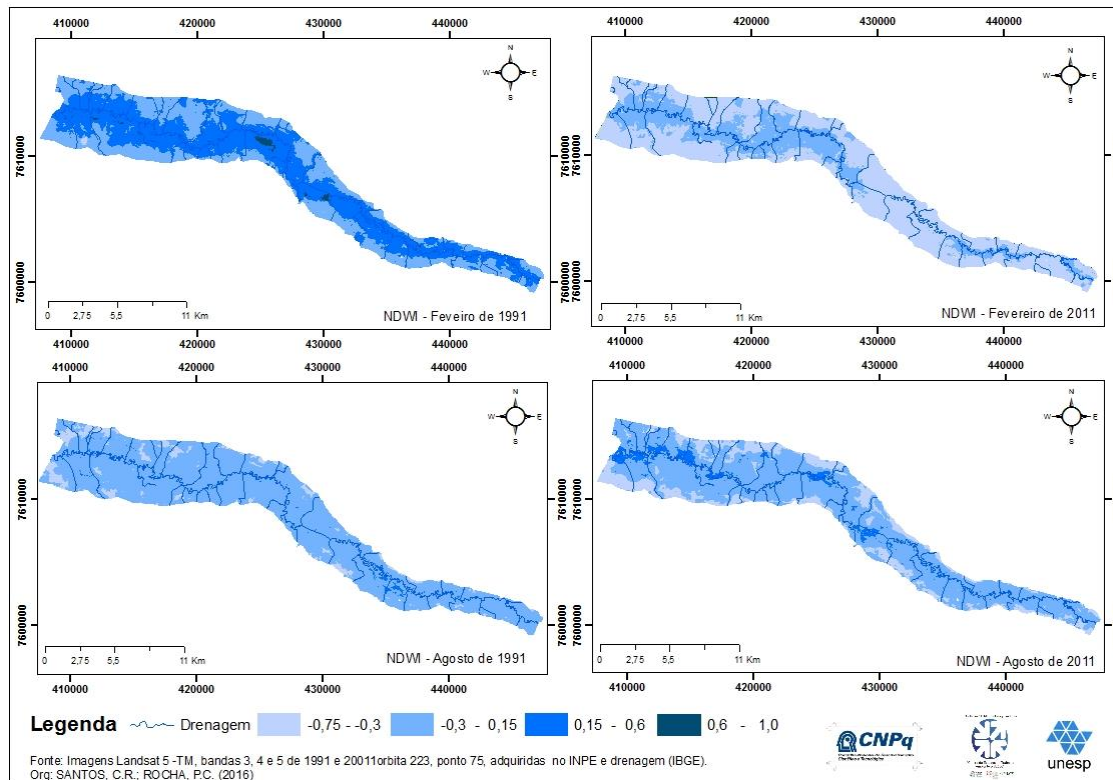


Figura 2 - Índices NDWI no vale aluvial do baixo curso do rio do Peixe, Oeste Paulista

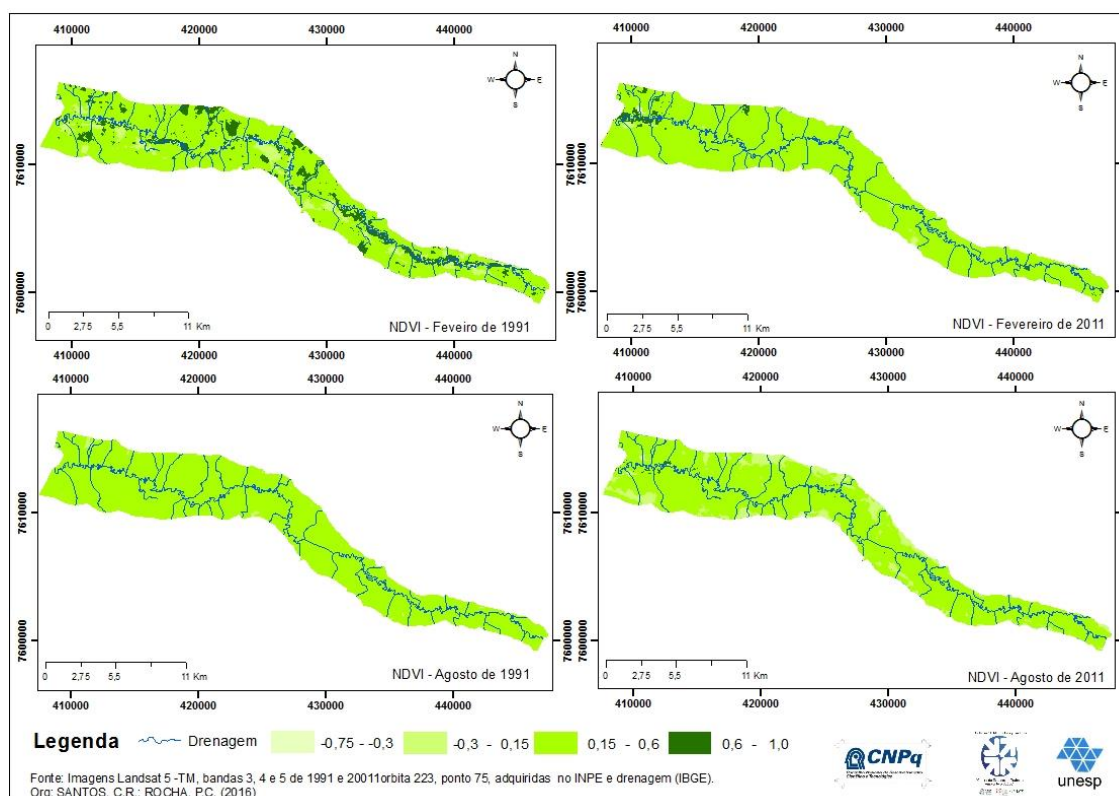


Figura 3 - Índices NDVI no vale aluvial do baixo curso do rio do Peixe, Oeste Paulista

No período de estiagem comparando-se os dois anos amostrados, houve perda de áreas de biomassa na classe +0,15 a +0,6 (média) nas 3 unidades de relevo avaliadas. Já no período de águas altas houve aumento de área para esta classe, comportamento inverso do índice de umidade (figura 3, tabela 1). Na planície aluvial, houve pequena diferença no comportamento das classes de biomassa vegetacional para os períodos amostrados quanto à sazonalidade de ocorrência. As

classes de baixa, média e alta biomassa tiveram comportamento inverso na diferença de ocorrência comparando-se agosto e fevereiro (2011 – 1991), conforme a tabela 2 apresenta.

Tabela 1. Diferenças sazonais de umidade (NDWI) e biomassa (NDVI) entre os anos 2011 e 1991 nas 3 unidades de relevo - Baixo curso do Rio do Peixe por classe de intensidade. Em destaque a unidade Planície Aluvial.

TA NDWI 2011 - 1991			TB NDWI 2011 - 1991			PA NDWI 2011 - 1991		
classes/índices	Ago	Fev	classes/índices	Ago	Fev	classes/índices	Ago	Fev
muito baixo	14,5	40,3	muito baixo	1,9	20,2	muito baixo	0,7	35,6
baixo	-14,4	-30,8	baixo	-2,4	-9,1	baixo	-5,4	23,4
medio	0,0	-9,4	medio	0,5	-11,0	medio	4,4	-54,2
alto	0,0	-0,1	alto	0	-0,1	alto	0,0	-4,7

TA NDVI 2011 - 1991			TB NDVI 2011 - 1991			PA NDVI 2011 - 1991		
classes/índices	Ago	Fev	classes/índices	Ago	Fev	classes/índices	Ago	Fev
muito baixo	0	0	muito baixo	0	0	muito baixo	0,6	0,2
baixo	13,7	-1,1	baixo	2,6	-1,3	baixo	0,7	-11,1
medio	-13,8	7,2	medio	-2,7	6,0	medio	-4,1	23,2
alto	0,0	-6,2	alto	0,0	-4,7	alto	2,7	-12,2

Obs: TA – Terraço Alto, TB – Terraço Baixo, PA – Planície Aluvial.

Tabela 2. Diferença temporal de umidade (NDWI) e biomassa (NDVI) em cada período sazonal entre 2011 e 1991, amostrados no ambiente de Planície Aluvial.

	16/08/91	07/08/11			16/08/91	07/08/11	
classes/índices	NDWI ago	NDWI ago	diferença	classes/índices	NDVI ago/	NDVI ago/	diferença
muito baixo	0,96	1,7	0,74	muito baixo	0,08	0,71	0,63
baixo	60,2	54,83	-5,37	baixo	3,67	4,4	0,73
medio	10,99	15,43	4,44	medio	68,12	64,01	-4,11
alto	0,01	0	-0,01	alto	0,11	2,85	2,74
Área total	72	72	0	Área total	72	72	0

	05/02/91	12/02/11			05/02/91	12/02/11	
classes/índices	NDWI fev,	NDWI fev/	diferença	classes/índices	NDVI fev/	NDVI fev/	diferença
muito baixo	0,04	35,66	35,62	muito baixo	0,04	0,23	0,19
baixo	12,96	36,31	23,35	baixo	14,97	3,83	-11,14
medio	54,23	0	-54,23	medio	41,35	64,5	23,15
alto	4,74	0	-4,74	alto	15,6	3,4	-12,2
Área total	72	72	0	Área total	72	72	0

Observou-se também uma maior dispersão de intensidades de biomassa capturada nos períodos de águas altas nos três compartimentos avaliados (TA, TB e PA).

Percebeu-se que no período pós-barramento, as imagens tiveram pouca diferença de umidade sazonalmente. O fato determinante foi a impossibilidade de se obter imagens de períodos com níveis hidrométricos fluviais mais elevados, compatíveis com os do período pré-barramento em função da quantidade elevada de nuvens.

Este fato deve ter interferido nos resultados da análise para o período pós-barramentos, onde os índices do período de estiagem (inverno) estiveram mais altos do que os esperados para o período de águas altas (verão). Contudo, pode-se comprovar que os ambientes de planície de inundação apresentaram as maiores áreas com maiores índices de umidade, o que demonstra maior conectividade hidrodinâmica neste ambiente dentre os ambientes estudados

Considerações Finais

O uso das técnicas de sensoriamento remoto mais a disponibilidade de imagens de satélites e os dados hidrológicos foi possível identificar e caracterizar as formas e processos associados à paisagem fluvial do vale aluvial.

Os períodos de maior umidade, em geral, tenderam a ter maior representatividade em diferentes classes, comparando-se com os períodos de menor umidade. O contrário acontece com períodos mais secos, onde as maiores áreas pertencem a uma única classe ou com pouca representatividade em diferentes classes.

A planície de inundação, aqui denominada planície aluvial, é formada por um mosaico de áreas úmidas de unidades geomórficas, especialmente as bacias de inundação, paleocanais e lagos em ferradura, que indicam distintos estágios de abandono do canal e que, por sua vez, estabelecem conectividades características durante os eventos de cheia.

Os resultados apresentados demonstram que o uso dos índices NDWI e NDVI em conjunto pode trazer melhores resultados na análise da conectividade em ambientes aluviais. Isso é de grande importância, considerando que estes ambientes em geral representam áreas de preservação permanente e podem auxiliar no entendimento do estado ambiental e da conectividade ecológica do ambiente.

Agradecimentos

Nossos devidos agradecimentos ao CNPQ pela concessão da bolsas de estudo, À FAPESP projeto temático - CETAS/PP e ao Laboratório de Geologia, Geomorfologia e Recursos Hídricos da FCT/UNESP.

Referências Bibliográficas

- CÂNDIDO, A. J. 1971. **Contribuição ao estudo dos meandramentos fluviais**. Notícia Geomorfológica, Campinas, v. 11, n. 22, p. 21-38,.
- ETCHEBEHERE, M. L. ET AL. 2005. **Detection of neotectonic deformations along the Rio do Peixe Valley**, Western São Paulo State, Brazil, based on the distribution of late Quaternary allunits. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 1, p. 109–114
- ETCHEBEHERE, M. L.; SAAD, A. R.; FULFARO, V. F.; PERINOTTO, J. A. J. 2004. **Aplicação do índice “Relação Declividade-Extensão” na bacia do rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas**. Revista do Instituto de Geociências - USP. São Paulo, v. 4, n.2, p. 43-56, out.
- ETCHEBEHERE, M. L.; SAAD, A. R.; SANTONI, G.; CASADO, F. C.; FULFARO, V. F. 2006. **Deteção de prováveis deformações neotectônicas no vale do rio do Peixe, região ocidental Paulista, mediante a aplicação de índices RDE em segmentos de drenagem**. Geociências, v. 25, 271-287,
- ETCHEBEHERE, M.L.C. , 2000. **Terraços neoquaternários no vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista: implicações estratigráficas e tectônicas**. Rio Claro1-2v. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro.
- FRYIRS, K.A., 2013. (Dis)connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. Earth Surf. Process. Landf. 38, 30–46.
- JENSEN, J.R. 2009. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese,. 604 p.
- JUSTUS, J.O. 1985. **Subsídios para interpretação morfogênica através de imagens de radar**. 204 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador,
- MCFEETERS, S.K. 1996. **The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features**. International Journal of Remote Sensing, v.17, n.7, p.1425-1432,
- MOREIRA, M. A. 2003. **undamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: Ed. UFV, 307 p.
- MERINO, E. R.; ASSINE, M. L.; PUPIM, F. N. , 2013. **Estilos fluviais e evidências de mudanças ambientais na planície do rio Miranda, Pantanal**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 14, -134. p. 127
- NOVO, EVLYN M. L. DE MORAES. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Bluecher, 2008.
- PERROTA, M.M.ET AL. , 2005. **Mapa Geológico de São Paulo**, Escala 1:750.000, SIG. São Paulo, Convênio CPRM/Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento do Estado de São Paulo.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. 2007. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed.
- ROCHA, P. C.; TOMMASELLI, J. T. G. 2012. **Variabilidade hidrológica nas bacias dos rios Aguapeí e Peixe**, Região Oeste Paulista. Revista Brasileira de Climatologia, v. 10, p. 2237.
- SMAESP (Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo), 2010. **Plano de manejo do parque estadual do rio do Peixe**. Disponível em: <http://fflorestal.sp.gov.br/>. Acessado em: 12 de fevereiro de 2015.
- WAINWRIGHT, J., TURNBULL, L., IBRAHIM, T. G., LEXARTZA-ARTZA, IRANTZU., THORNTON, S. F., BRAZIER, R. E., 2011. Linking environmental regimes, space and time: Interpretations of structural and functional connectivity. Geomorphology 126 () 387–404.
- WESTER T. WASKLEWICZ, T., STALEY D., 2014. Functional and structural connectivity within a recently burned drainage basin. Geomorphology 206, 362–373.

MODELO PARA GRANDES BACIAS E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA A GESTÃO HÍDRICA: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

¹Josiane Rosa Costa Farias, ²Henrique Llacer Roig

¹Universidade de Brasília, e-mail: josirefarias@gmail.com; ²Universidade de Brasília, e-mail: roig@unb.br;

Palavras-chave: MGB; Modelo Hidrológico; Gestão

Resumo

Com a necessidade crescente de entender os processos hidrológicos para aplicação em estudos envolvendo os recursos hídricos como mudanças climáticas, inundações, alterações na cobertura do solo, dentre outros, o uso dos modelos hidrológicos como ferramenta tem assumido um importante papel no processo de tomada de decisão, principalmente para a gestão territorial e o uso das águas. Dentre esses modelos, o Modelo Para Grandes Bacias (MGB), desenvolvido por uma instituição brasileira, vem apresentando resultados importantes em várias bacias da América do Sul, além de ser um modelo fácil de se utilizar, porém ainda é pouco disseminado mesmo dentro do seu país de origem. Considerando o exposto, essa pesquisa tem como objetivo principal realizar uma revisão da aplicação do modelo MGB e com isso promover um maior conhecimento a respeito do modelo, principalmente dentre suas aplicações voltadas para a gestão dos recursos hídricos. Para isso, o estudo foi baseado em uma revisão bibliométrica utilizando três principais bases de dados científicos: *Web of Science* (Coleção Total), *Scielo Citation Index* e *Scopus*. Como resultado destacou-se que as principais instituições e autores ainda são os desenvolvedores do método. Nestes estudos identificou-se a análise dos efeitos das mudanças climáticas e alterações no uso e ocupação do solo. Em torno de 20% dos artigos aplicaram o modelo de forma direta ou indireta na gestão de recursos hídricos, e dentre esses, cerca de 78% foram publicados a partir do ano 2019. Observa-se uma evolução crescente do seu uso com uma pequena disseminação por outras instituições, o que tem demonstrado a aplicabilidade do modelo como ferramenta de suporte a tomada de decisão. Entretanto, percebeu-se que no geral, pouco foram os artigos que abordaram sobre as deficiências apresentadas pelo MGB.

Introdução

A água desempenha um papel fundamental nos sistemas e processos do meio ambiente natural, bem como naqueles transformados pela ação humana. Poderíamos dizer principalmente nos ambientes modificados, pois estes impactam diretamente a vida humana. Assim, tornou-se de grande importância quantificar, simular e prever os processos hidrológicos, que impactam nos estudos de gestão dos recursos hídricos considerando as mudanças climáticas, alterações de uso e ocupação do solo, dentre outros processos. Nesse sentido, a utilização dos modelos hidrológicos como ferramenta para representar o ciclo hidrológico mostra-se essencial e cada vez mais esforços estão sendo direcionados para essa área a fim de aprimorá-los e facilitar seu uso (Brookfield *et al.*, 2023).

Usualmente, os estudos dos processos hidrológicos são realizados a nível de bacia hidrográfica, o que influencia diretamente na escala de aplicação do modelo hidrológico. A compreensão desses fenômenos em grandes bacias é importante para entender processos que ocorrem em dimensões muito maiores, como as mudanças climáticas. No entanto, Fan *et al.* (2021) reforça que tratando-se de grandes áreas, os rios geralmente percorrem centenas de quilômetros, passando por regiões com diferentes condições climáticas, geomorfológicas e geológicas, envolvendo canais bem definidos em regiões montanhosas até extensas áreas inundáveis em regiões planas. Essa variedade de processos atribui uma complexidade em representar os fenômenos hidrológicos que ocorrem na bacia como um todo.

Neste contexto, existem vários modelos que são primordialmente utilizados em bacias de grandes áreas, por terem sido desenvolvidos com essa finalidade. Dentre eles, cita-se o Modelo para Grandes Bacias (MGB-IPH), desenvolvido por uma instituição brasileira, o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Este modelo vem sendo amplamente utilizado nas bacias amazônicas (Paiva *et al.*, 2011; Paiva *et al.*, 2013; Sorribas *et al.*, 2016; Correa *et al.*, 2019; Pontes *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2019; Pontes *et al.*, 2022; Melo *et al.*, 2022) e em outras bacias da América do Sul (Allasia *et al.*, 2006; Siqueira *et al.*, 2018) e até mesmo abrangendo todo o território sul-americano (Brêda *et al.*, 2023).

Dessa forma, percebeu-se a necessidade de entender a importância do MGB-IPH e o seu potencial como uma ferramenta de auxílio à gestão dos recursos hídricos, visto o quanto essa temática é essencial para a analisar os impactos da evolução das pesquisas em mudanças climáticas e alterações do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos. Com isso, o presente trabalho busca proporcionar um maior conhecimento a respeito do modelo à academia e orientar futuros usuários, apresentado uma revisão de artigos científicos publicados desde o seu desenvolvimento até os dias atuais, percorrendo a respeito dos principais autores da área, os artigos mais citados, e apresentando primordialmente o impacto do uso do modelo MGB-IPH como ferramenta na gestão dos recursos hídricos e em quais bacias vem sendo aplicado com essa finalidade.

Revisão Bibliográfica

Para realizar a pesquisa exploratória, foi utilizado o conceito de revisão bibliométrica e foram utilizadas as três principais bases de dados científicos: *Web of Science* (Coleção Total), *Scielo Citation Index* e *Scopus*. Optou-se pela utilização dessas bases visto que possuem uma maior confiabilidade e organização dos metadados, o que é importante para atingir a análise requerida

neste estudo. A base de dados *Scielo* foi incluída, pois contém um maior acerto de artigos escritos em outros idiomas como a língua portuguesa, visto que o idioma predominante tanto na base *Web of Science* quanto no *Scopus*, é o inglês.

Como palavra-chave, nas três bases foram utilizadas “MGB” AND “model”. Nesse processo foram testadas combinações de palavras diferentes como por exemplo “MGB” AND “hydrologic” ou apenas “MGB”, no entanto no primeiro caso a pesquisa foi muito específica tendo poucos resultados e, no segundo caso, a pesquisa foi muito abrangente tornando difícil o processo de direcionar a pesquisa para a área de hidrologia e afins. Após a utilização das palavras chaves, foi feita uma filtragem de áreas de estudo de interesse, ou seja, aqueles artigos em que de fato era realizado um estudo hidrológico utilizando o modelo.

Posteriormente, foram analisados os artigos individualmente buscando conferir se eles tratavam realmente do modelo MGB-IPH, e qual sua aplicação. Assim, realizou-se uma análise minuciosa levantando-se as seguintes informações: título do artigo, ano de publicação, autores, bacia de aplicação do modelo, finalidade com a qual o MGB-IPH foi utilizado e uma breve descrição do que se tratava o artigo.

Modelo Para Grandes Bacias (MGB-IPH)

O MGB-IPH (<https://www.ufrgs.br/hge/mgb/>) é um modelo semidistribuído que utiliza como base equações físicas e conceituais, sendo sua aplicação direcionada para simulação de grandes bacias, com áreas de drenagem iguais ou superiores à 1.000 km² (Paiva *et al.*, 2011; HGE, 2013). É um modelo desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), uma instituição brasileira, pelo professor Walter Collischonn em sua tese de doutorado, defendida em 2001. O modelo possui módulos de balanço de água no solo, evapotranspiração, escoamentos no interior da célula e escoamento na rede de drenagem (Collischonn *et al.*, 2007).

A discretização no modelo ocorre nos níveis de sub-bacias, minibacias e Unidades de Resposta Hidrológica (URH). A discretização em sub-bacias é importante nas etapas de calibração e validação do modelo, pois todos os parâmetros são definidos a nível de sub-bacia. A divisão das minibacias é realizada a partir de características do relevo obtidas de um Modelo Digital de Elevação (MDE). Posteriormente, cada minibacia é subdividida em Unidades de Resposta Hidrológica (URHs), que são regiões definidas por características físicas do solo e cobertura vegetal e são entendidas como ambientes que possuem a mesma dinâmica hidrológica (Fan e Collischonn, 2014). A discretização em minibacias pode ser realizada por trechos de rio ou a partir de um tamanho pré-definido de trecho do rio (Pontes *et al.*, 2017). Nessa última, é possível padronizar os comprimentos dos trechos que os rios são simulados, além de possibilitar uma interligação dessas unidades, facilitando a representação de áreas planas, como por exemplo as planícies de inundação.

Além disso, Paiva *et al.* (2011) apresentaram uma proposta de atualização do modelo adicionando um modelo hidrodinâmico ao modelo original, para representar melhor o escoamento em áreas muito planas, em que há efeitos de remanso e imensas regiões inundáveis, como ocorre nos rios da Amazônia. Essas planícies de inundação podem contribuir para o amortecimento e atrasos dos hidrogramas de cheia, e ainda influenciam na quantidade de fluxos secundários dentro da planície, como afirmam os autores.

Em sequência, Fan e Collischonn (2014) propuseram um acoplamento do tipo próximo, em que os programas funcionam de forma independentes, porém trocam informações internas, entre o MGB-IPH e Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizando o MapWindow GIS® (Ames *et al.*, 2008) que é um software de código aberto e apresenta múltiplas funcionalidades. Posteriormente, Siqueira *et al.* (2016) desenvolveram um conjunto de ferramentas denominado IPH-Hydro Tools como um plug-in dentro do software MapWindow GIS®.

A estrutura completa da versão mais atual do modelo MGB-IPH está apresentada na Figura 1.

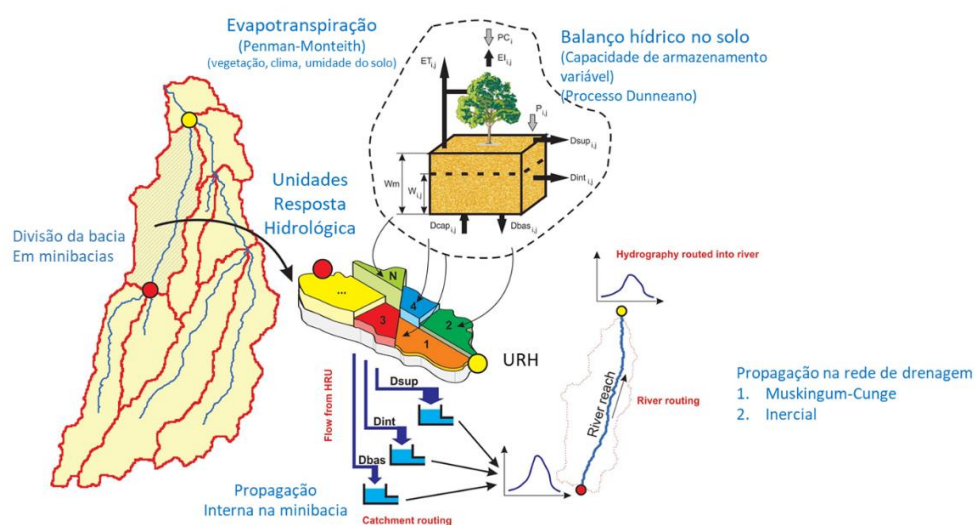


Figura 1: Estrutura completa do Modelo MGB-IPH – Fonte: Adaptado de Pontes *et al.* (2019).

Como apresentado por Pontes *et al.* (2017), o balanço hídrico na camada superior do solo dentro do modelo calculada para cada URH é representado pela Equação 1.

$$\frac{dW}{dt} = P - ET - D_{sup} - D_{int} - D_{bas} \quad (1)$$

Onde: W(mm) é água armazenada no solo; P (mm/Δt) é a precipitação que efetivamente chega ao solo; ET (mm/Δt) é a evapotranspiração; D_{sup} (mm/Δt) é o escoamento superficial; D_{int} (mm/Δt) é o escoamento subsuperficial e D_{bas} (mm/Δt) é o escoamento direcionado ao reservatório subterrâneo.

Posteriormente, todos os escoamentos mencionados são encaminhados para “reservatórios” que são representados por equações lineares simples, a fim de retardar e amortecer o avanço para a rede de drenagem, representando a propagação no interior da minibacia. Assim, como vazão final de saída da minibacia tem-se o somatório da vazão de saída dos três reservatórios (superficial, subsuperficial e subterrâneo) (Collischonn *et al.*, 2007).

Tratando-se do cálculo para propagação de vazões na rede de drenagem entre minibacias, Pontes *et al.* (2017) apresentaram uma nova forma na modelagem hidráulica do modelo original, pois fundamentalmente a propagação de vazões era estimada apenas pelo método de Muskingum-Cunge (Chow *et al.*, 1988). A proposta foi uma adaptação da propagação de vazões para o modelo do fluxo inercial de Bates *et al.* (2010), no qual é desconsiderado o termo de inércia advectiva da equação de Saint-Venant, para que seja possível a obtenção de resultados semelhantes ao modelo hidrodinâmico, porém com menor custo operacional.

Dessa forma, na Tabela 1 são apresentados alguns artigos encontrados na literatura a respeito da estrutura do modelo e suas atualizações a fim de orientar os futuros usuários no conhecimento a respeito do MGB-IPH.

Título	Ano de Publicação	Resumo
The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling	2007	Apresentação do modelo MGB-IPH em sua primeira estrutura
Large scale hydrologic and hydrodynamic modeling using limited data and a GIS based approach	2011	Apresentação do modelo hidrodinâmico
IPH-Hydro Tools: a GIS coupled tool for watershed topology acquisition in an open source environment	2016	Apresentação da ferramenta IPH Hydro Tools, como facilitador do uso do MGB-IPH
MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS	2017	Apresentação do modelo de propagações de vazão pelo método do fluxo inercial
Toward continental hydrologic hydrodynamic modeling in South America	2018	Primeira aplicação do MGB-IPH em escala continental
Large-scale sediment modeling with inertial flow routing: Assessment of Madeira river basin	2022	Apresentação do módulo de sedimentos do modelo (MGB-SED) com propagação de vazões por fluxo inercial

Tabela 1: Artigos acerca da estrutura do MGB-IPH e módulos.

Análise dos Artigos

Foram analisados 89 artigos, dos quais 70 foram encontrados na base de dados Web of Science, 20 na da Scielo e 75 na da Scopus. Neste contexto, apenas 8 artigos foram encontrados simultaneamente nas três bases de dados; 50 foram comuns nas bases Web of Science e Scopus, apenas 3 na Web of Science e Scielo e, por fim, 7 documentos foram simultâneos nas bases Scielo e Scopus.

Com relação aos artigos mais citados, foi feito um levantamento de acordo com cada base de dados e os 3 artigos mais citados de cada uma delas (estão apresentados na Tabela 2).

Percebe-se que os 3 artigos mais citados pela Web of Science repetiram-se na base Scopus, no entanto, a segunda e terceira posição dos artigos estão invertidas. É notório, ainda, que os artigos mais citados no Scielo possuem estatísticas significativamente menores do que os das duas outras bases, indicando a maior visibilidade dos artigos publicados em inglês, como era de se esperar mesmo o modelo MGB-IPH sendo originalmente brasileiro.

O artigo com maior número de citações é o de Paiva *et al.* (2013), em que é aplicado o modelo MGB-IPH com o módulo hidrodinâmico desenvolvido em Paiva *et al.* (2011) na bacia Amazônica. A utilização do modelo hidrodinâmico na propagação de vazões é uma consideração importante em bacias amazônicas, pois ele é capaz de representar fenômenos importantes como as extensas planícies de inundação presentes na região que influenciam nos diferentes fenômenos hidrológicos, o que é desconsiderado por muitos modelos hidrológicos que possuem uma estrutura mais simplificada de propagação de vazões, incluindo até mesmo aqueles que são amplamente utilizados na academia.

O artigo apresentado por Gosling *et al.* (2011), que foi o segundo (terceiro) mais citado na base Web of Science (Scopus), tem um aspecto diferencial por ter sido desenvolvido fora do Brasil, em Universidades e instituições do Reino Unido. É um artigo de comparação entre modelos de escalas global e regional, com aplicações em 6 bacias diferentes

localizadas em diferentes regiões do mundo. Nesse caso, o modelo MGB-IPH foi aplicado na bacia do rio Grande, no rio Paraná. Dessa forma, apesar do artigo ter seu foco na comparação de modelos e não apenas na aplicação do MGB-IPH, é um importante artigo a ser mencionado pois trata-se de uma utilização do modelo por centros de pesquisa internacional.

Título do Artigo	Número total de citações	Referência	Base
Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin	250	Paiva <i>et al.</i> (2013)	Web of Science
A comparative analysis of projected impacts of climate change on river runoff from global and catchment-scale hydrological models	174	Gosling <i>et al.</i> (2011)	
The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling	168	Collischonn <i>et al.</i> (2007)	
Hydrological processes representation in a semiarid catchment located in Paraíba state with distributed hydrological modeling	6	Felix e Paz (2016)	SciELO
Hydrological and hydraulic modelling applied to the mapping of flood-prone areas	6	Monte <i>et al.</i> (2016)	
On the discretization of river networks for large scale hydrologic-hydrodynamic models	3	Fan <i>et al.</i> (2021)	
Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin	267	Paiva <i>et al.</i> (2013)	Scopus
The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling	193	Collischonn <i>et al.</i> (2007)	
A comparative analysis of projected impacts of climate change on river runoff from global and catchment-scale hydrological models	191	Gosling <i>et al.</i> (2011)	

Tabela 2: Artigos mais citados nas três bases de dados.

Em relação aos autores, apresentam-se os seis autores, seja autor principal ou coautor, que possuem o número de publicações utilizando o MGB-IPH. Destaca-se que todos os autores apresentados possuem ou já possuíram associação com o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, o que já era esperado, visto que foi nessa instituição que o MGB-IPH foi desenvolvido. Além disso, percebe-se que o autor que aparece mais vezes é o W. Collischonn, com quase 40 publicações o que era esperado visto que foi em sua tese de doutorado que o MGB-IPH foi desenvolvido. Em sequência, tem-se R. C. D. Paiva, com quase 30 publicações, responsável pelo desenvolvimento do primeiro módulo hidrodinâmico para o MGB-IPH, o qual foi sucedido pela versão mais atual desenvolvida por Pontes *et al.* (2017).

Autores	Número de Publicações
W. Collischonn	38
R. C. D. Paiva	29
F. M. Fan	25
V. A. Siqueira	14
A. S. Fleischmann	14
P. R. M. Pontes	11

Tabela 3: Os seis autores com mais publicações dentre os artigos analisados.

Dentre as várias finalidades na utilização do MGB-IPH apresentadas nos artigos, foi identificado seu uso como ferramenta direta na gestão de recursos hídricos, assim como sua aplicação na análise de mudanças climáticas e alterações no uso e ocupação do solo (Tabela 4). Esses dois últimos temas são de extrema relevância no contexto da gestão hídrica, pois influenciam diretamente os processos hidrológicos e, portanto, desempenham um papel fundamental no estudo de conflitos relacionados à água e seus diferentes usos. Nesse sentido, como é abordado por Schuster *et al.* (2020), tanto no Brasil como em outros países, as tomadas de decisão relativas aos recursos hídricos têm se fundamentado essencialmente em avaliações

históricas do comportamento hidrológico, o que pode resultar em estratégias inadequadas devido às significativas modificações que podem vir ocorrer decorrente das mudanças climáticas e alterações no uso e ocupação do solo. A maioria dos artigos com essas temáticas (cerca de 78%) foram publicados após o ano 2019.

Tema Principal	Quantidade de Artigos	Bacias Estudadas
Validação do MGB-IPH como ferramenta de tomada de decisão na gestão de recursos hídricos	3	Bacia do rio São Francisco; Bacia do rio Teles Pires; Bacias Passo Migliavaca e Ponte do Prata
Impactos das mudanças climáticas	8	Bacia do rio Grande (2); Bacia Amazônica; Bacia Laguna dos Patos; Bacia do rio Doce; Bacia do rio Itacaiúnas; América do Sul (2)
Alteração do uso e ocupação do solo	6	Bacia do rio Itacaiúnas; Bacia do rio Doce; Bacia do rio Madeira; Bacia do rio Mortes; Bacia do rio Pardo; Bacia do rio Sapucaí
Impactos das mudanças climáticas e alterações do uso e ocupação do solo	1	Bacia do Alto Taquari

Tabela 4: Resumo dos artigos analisados de acordo com sua finalidade principal.

Nesses estudos, é possível perceber uma tendência do comportamento hidrológico da bacia no futuro, sendo a vazão o destaque principal nas análises. Pela importância da região, pode-se ressaltar ainda dentre essas pesquisas, aquelas em que a bacia de estudo está inserida totalmente ou parcialmente na bacia Amazônica. Como o MGB-IPH foi desenvolvido para bacias de grandes áreas é comum encontrar estudos que foram desenvolvidos em rios amazônicos (em torno de 33% de todos os artigos que foram analisados nesse trabalho).

Nesse contexto, Sorribas *et al.* (2016) apresentaram um estudo com projeções climáticas e seus impactos hidrológicos na bacia Amazônica, utilizando 5 diferentes Modelos de Circulação Global. Os resultados apresentaram grande variabilidade a depender de qual modelo climático era aplicado e da região da bacia analisada, mas mostraram uma melhor concordância em condições úmidas na parte oeste da Amazônia e em condições secas na parte leste. Além disso, encontrou-se uma tendência de aumento na descarga média e máxima dos grandes rios que drenam o leste dos Andes, na região noroeste. Para as bacias do leste já foi verificada uma diminuição futura nas descargas dos rios, principalmente em épocas de seca, diminuindo também a extensão das planícies de inundação. Como é pontuado pelos autores, apesar da incerteza desses estudos, eles são relevantes para estratégias de conservação e gestão dos recursos naturais.

Um outro estudo importante foi aplicado na região limítrofe entre os biomas Amazônico e Cerrado, mais precisamente na bacia do rio Alto Teles Pires (Oliveira *et al.*, 2019). O foco deste trabalho foi validar o MGB-IPH como ferramenta de suporte à tomada de decisões na gestão da bacia, avaliando seu desempenho para a estimativa da disponibilidade hídrica da área, como contrapartida à falta de dados climatológicos e hidrológicos, sendo uma dificuldade encontrada em muitos outros locais. No fim, o modelo hidrológico foi validado, apresentando resultados satisfatórios (índice Nash Sutcliffe $> 0,75$) na simulação das vazões diárias, porém mostrando uma tendência de superestimação das vazões de pico e uma subestimação das vazões Q90 e Q95, o que pode ser considerado um problema para o processo de tomada de decisão para eventos extremos.

Dentro desse aspecto, encontra-se também o artigo apresentado por Bortolin *et al.* (2020), que destaca em seus objetivos, a validação de um modelo hidrológico para desenvolver políticas de uso da terra e gestão de recursos hídricos, como também de projetos de engenharia. O estudo foi realizado em bacias da região sul do Brasil, sendo elas Bacias Passo Migliavaca e Ponte do Prata. Os resultados apresentados pelo MGB-IPH foram aceitos e considerados satisfatórios pelos autores, no entanto o modelo não é indicado para bacias menores que 1.000 km², e neste trabalho a bacia que possuía a menor área de drenagem (Ponte do Prata) foi a que apresentou também os piores índices estatísticos das vazões simuladas em relação as vazões observadas. Isso possivelmente representa uma limitação para aplicação do modelo, visto que para muitos processos de tomada de decisão em escala por exemplo de município, ou mesmo estados, muitas bacias têm dimensões abaixo da estabelecida para o modelo.

Dois estudos são realizados na bacia do rio Doce, um a respeito dos impactos climáticos e o outro avaliando as alterações de uso e ocupação do solo. Lyra e Rigo (2019) utilizam o modelo aplicando cenários diferentes de desmatamento, constatando que a substituição de florestas por pastagens provoca reduções nas vazões médias e mínimas anuais, além de provocar um aumento das cheias na região. Em sequência, Costa *et al.* (2022) abordaram as consequências das mudanças climáticas na bacia, apresentando estimativas também de redução nas vazões médias, chegando a valores de mais de 80% de diminuição do fluxo em 50% dos trechos de drenagem. Nos dois casos, os autores atentam para os problemas que podem vir a surgir caso essas tendências venham a se concretizar nos demais usos da água existentes na bacia.

Por fim, citam-se os dois artigos publicados em 2023 que possuem com área de estudo a América do Sul. Brêda *et al.* (2023) analisam como as variáveis hidrometeorológicas afetam o escoamento de enchentes e as projeções hidrológicas

esperadas para o continente. Os resultados apresentaram sinais de que metade das bacias sul-americanas devem apresentar precipitações de 2 anos reduzidas, enquanto quase 70% dos rios apresentam um sinal negativo para inundações de 2 anos, o que pode ser atribuído pela diminuição esperada da umidade do solo antecedente.

O segundo estudo é o apresentado por Fagundes *et al.* (2023), em que são feitas previsões hidrossedimentológicas no continente a partir das projeções climáticas. Os resultados apresentaram uma redução no fluxo de sedimentos no norte-central da América do Sul, enquanto na região sul-central é esperado um aumento. Além disso, nas principais bacias da área de estudo é esperado um aumento superior a 30% no transporte de sedimentos e uma redução de 28% no fluxo de água. As reduções mais significativas no transporte de sedimentos foram estimadas para os rios Doce (-54%), Tocantins (-49%) e Xingu (-34%), enquanto os aumentos mais significativos foram estimados para os rios Paraná parte superior (409%), Juruá (46%) e Uruguai (40%). Destaca-se que esse trabalho é o primeiro em que se analisa sedimentação a partir das mudanças climáticas e utilizando como modelo o MGB-IPH, em que os autores validaram as simulações a partir de 595 estações in situ em toda região.

Com isso, entende-se que o MGB-IPH vem sendo utilizado (20% dos artigos analisados nesse trabalho) em estudos como ferramenta na gestão de recursos hídricos direta ou indiretamente, destacando pesquisas com foco nos impactos das mudanças climáticas, e que conclusões importantes são apresentadas em seus resultados. Apesar disso, percebe-se que é um modelo que precisa ser mais explorado fora do Brasil e da América do Sul, pois apesar dos bons resultados que vem apresentando nas mais variadas áreas de estudo, ainda não é um modelo tão disseminado pelo mundo como outros modelos hidrológicos utilizados na academia. Além disso, percebeu-se que principalmente nos artigos abordando alterações no clima, pouco se discute a respeito das deficiências apresentadas pelo modelo hidrológico sendo apresentados apenas os índices de eficiência, o que torna mais difícil o aprofundamento de como o modelo se porta nessas bacias. Cita-se, nesse contexto, dois artigos que abordaram essas análises, primeiro o apresentado pelo Oliveira *et al.* (2019) de uma tendência de superestimação das vazões de pico e uma subestimação das vazões Q90 e Q95 das vazões simuladas, e outra abordagem de Rápalo *et al.* (2021) de que o modelo apresentou limitações na representação de alguns processos físicos em áreas planas na bacia do rio Mortes.

Considerações Finais

O modelo MGB-IPH é um modelo hidrológico relativamente novo (2001), brasileiro, e que vem sendo aplicado em bacias principalmente localizadas na América do Sul, mas ainda não possui uma aplicação em outras regiões do globo, como ocorre com outros modelos. É um modelo desenvolvido para bacias de grande porte com a vantagem de necessitarem de um pequeno conjunto de dados, o que faz com que seu uso seja mais fácil. Apesar disso, é um modelo que vem apresentando bons resultados e sendo aprimorado ao longo dos anos, com a inclusão do método de propagação de vazões de Navier Stokes, bem como do atual método de propagação inercial de vazões, que pode ser considerado um diferencial mais simples de ser aplicado e com resultados muito semelhantes ao do hidrodinâmico, principalmente para bacias com significativas planícies de inundação. Apesar destas vantagens, o modelo ainda tem suas aplicações limitadas os centros de pesquisa brasileiros, principalmente na instituição em que foi desenvolvido, o IPH/UFRGS.

Além disso, alguns estudos (cerca de 20%) são apresentados utilizando o MGB-IPH como ferramenta na tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos direta ou indiretamente, sendo validado seu uso nas mais diversas bacias. Destacam-se os resultados dos artigos abordando tendências hidrológicas em bacias de extrema importância para o Brasil e para o mundo, como a bacia Amazônica e bacia do rio Doce, além de 2 estudos em que a área de estudo é a América do Sul. Mostrou-se ainda, que nos artigos em geral necessita-se de um maior aprofundamento sobre as deficiências apresentadas pelo modelo, em que na maior parte da análise é apresentado primordialmente os índices de eficiência de simulação mas sem aprofundar em como o modelo se porta na bacia.

Agradecimentos

À FAP-DF pelo apoio financeiro ao projeto, ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH) por todo suporte e ensinamentos.

Referências Bibliográficas

Allasia, D. G.; Silva, B.; Collischonn, W.; Tucci, C. E. M.; 2006. Large basin simulation experience in South America. In Proceedings of Symposium S7 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly, Foz do Iguaçu, Abr. 2005, pp. 360-370.

Ames, D. P.; Michaelis C.; Anselmo, A.; Chen, L.; Dunsford, H.; 2008. MapWindow GIS, in Encyclopedia of GIS. Org. por Shekhar, S., Xiong, H., Springer, New York, pp. 633-637.

Bates, P. D.; Horritt, M. S.; Fewtrell, T. J.; 2010. A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling. *Journal of Hydrology*, v. 387, pp. 33-45.

Bortolin, T. A.; Valentini, J. F.; Reginato, P. A. R.; Mendes, L. A.; Schneider, V. E.; 2020. Use of a hydrological model in two sub-basins in Southern Brazil. *Sustainable Water Resources Management*, v. 6, pp 1-10.

Brêda, J. P. L. F.; Paiva, R. C. D.; Siqueira, V. A.; Collischonn, W.; 2023. Assessing climate change impact on flood discharge in South America and the influence of its main drivers. *Journal of Hydrology*, 619.

Brookfield, A. E.; Ajami, H.; Carroll, R. W. H.; Tague, C.; Sullivan, P. L.; Condon, L. E.; 2023. Recent advances in integrated hydrologic models: Integration of new domains. *Journal of Hydrology*, 620.

Chow, V. T.; Maidment, D. R.; Mays, L. W.; 1988. *Applied Hydrology*. 1. ed. New York, USA, McGraw-Hill, 572 p.

Collischonn, W.; Allasia, D. G.; Silva, B. C.; Tucci, C. E. M.; 2007. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modeling. *Hydrological Sciences Journal*, v. 52, pp. 878-895.

Correa, S. W.; Paiva, R. C. D.; Siqueira, V.; Collischonn, W.; 2019. Hydrological reanalysis across the 20th century: A case study of the Amazon Basin. *Journal of Hydrology*, 570, pp. 755-773.

Costa, F. P. D.; Buarque, D. C.; Brêda, J. P. L. F.; Föeger, L. B.; 2022. Impact of climate change on the flow of the Doce River basin. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 27, pp. 1-14.

Fagundes, H. O.; Paiva, R. C. D.; Brêda, J. P. L. F.; Fassoni-Andrade, A. C.; Borrelli, P.; Fan, F. M.; 2023. An assessment of South American sediment fluxes under climate changes. *Science of the Total Environment*, v. 879.

Fan, F. M.; Collischonn, W.; 2014. Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, pp. 243-254.

Fan, F. M.; Siqueira, V. A.; Fleischmann, A. S.; Brêda, J. P. F.; Paiva, R. C. D.; Pontes, P. R. M.; Collischonn, W.; 2021. On the discretization of river networks for large scale hydrologic-hydrodynamic models. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 26, pp. 1-19.

Felix, V. S.; Paz, A. R.; 2016. Hydrological processes representation in a semiarid catchment located in Paraíba state with distributed hydrological modeling. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, pp. 556-569.

Gosling, S. N.; Taylor, R. G.; Arnell, N. W.; Todd, M. C.; 2011. A comparative analysis of projected impacts of climate change on river runoff from global and catchment-scale hydrological models. *Hydrology Earth System Sciences*, v. 15, pp. 279-294.

Hidrologia De Grande Escala (HGE). *Hidrologia de Grande Escala*; 2013. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/hge/>. Acesso em: 10 jun. 2023.

Lyra, B. U.; Rigo, D.; 2019. Deforestation impact on discharge regime in the Doce River Basin. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, pp. 1-11.

Melo, A. M. Q.; Blanco, C. J. C.; Pontes, P. R. M.; Cavalcante, R. B. L.; Silva-Júnior, R. O.; Silva, M. S.; 2022. Elaborating rating curves for implementation of the MGB hydrological model in a river basin, Amazon region, Brazil. *Sustainable Water Resources Management*, v. 8.

Monte, B. E. O.; Costa, D. D.; Chaves, M. B.; Magalhães, L. O.; Uvo, C. B.; 2016. Hydrological and hydraulic modelling applied to the mapping of flood-prone areas. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, pp. 152-167.

Oliveira, R. F.; Zolin, C. A.; Victoria, D. C.; Lopes, T. R.; Vendrusculo, L. G.; Paulino, J.; 2019. Hydrological calibration and validation of the MGB-IPH model for water resource management in the Upper Teles Pires river basin in the amazon-cerrado ecotone in Brazil. *Acta Amazonica*, v. 49, pp. 54-63.

Paiva, R. C. D.; Collischonn, W.; Tucci, C. E. M.; 2011. Large scale hydrologic and hydrodynamic modeling using limited data and a GIS based approach. *Journal of Hydrology*, v. 406, pp. 170-181.

Paiva, R. C. D.; Buarque, D. C.; Collischonn, W.; Bonnet, M.-P.; Frappart, F.; Calmant, S.; Mendes, C. A. B.; 2013. Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin. *Water Resources Research*, v. 49, pp. 1226-1243.

Pontes, P. R. M.; Fan, F. M.; Fleischmann, A. S.; Paiva, R. C. D.; Buarque, D. C.; Siqueira, V. A.; Jardim, P. F.; Sorribas, M. V.; Collischonn, W.; 2017. MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. *Environmental Modelling and Software*, v. 94, pp. 1-20.

Pontes, P. R. M.; Cavalcante, R. B. L.; Giannini, T. C.; Costa, C. P. W.; Tedeschi, R. G.; Melo, A. M. Q.; Xavier, A. C. F.; 2022. Effects of Climate Change on Hydrology in the Most Relevant Mining Basin in the Eastern Legal Amazon. *Water*, v. 14.

Pontes, P. R. M.; Cavalcante, R. B. L.; Sahoo, P. K.; Silva Júnior, R. O.; Silva, M. S., Dall'agnol, R.; Siqueira, J. O.; 2019. The role of protected and deforested areas in the hydrological processes of Itacaiúnas River Basin, eastern Amazonia. *Journal of Environmental Management*, 235, pp. 489-499.

Rápalo, L. M. C.; Uliana, E. M.; Moreira, M. C.; Silva, D. D.; Ribeiro, C. B. M.; Cruz, I. F.; Pereira, D. R.; 2021. Effects of land-use and cover changes on streamflow regime in the Brazilian Savannah. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 38.

Schuster, R. C.; Fan, F. M.; Collischonn, W.; 2020. Scenarios of climate change effects in water availability within the patos Lagoon's Basin. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 25, pp. 1-15.

Siqueira, V. A.; Fleischmann, A.; Jardim, P. F.; Fan, F. M.; Collischonn, W.; 2016. IPH-Hydro Tools: Uma ferramenta open source para determinação de informações topológicas em bacias hidrográficas integrada a um ambiente SIG. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hidricos*, v. 21, pp. 274-287.

Siqueira, V. A.; Paiva, R. C. D.; Fleischmann, A. S.; Fan, F. M.; Ruhoff, A. L.; Pontes, P. R. M.; Paris, A.; Collischonn, W.; 2018. Toward continental hydrologic-hydrodynamic modeling in South America. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 22, pp. 4815-4842.

Sorribas, M. V.; Paiva, R. C. D.; Melack, J. M.; Bravo, J. M.; Jones, C.; Carvalho, L.; Beighley, E.; Forsberg, B.; Costa, M. H.; 2016. Projections of climate change effects on discharge and inundation in the Amazon basin. *Climatic Change*, v.136, pp. 555-570.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA: ANÁLISE DE ATAS ORDINÁRIAS

¹Walter Bruno Pereira Brito, ²Rodolpho Mendes Vale, ³Paulo César Filho,
⁴Vandson Ney de Amorim Brito, ⁵Paulo da Costa Medeiros

¹Universidade Federal de Campina Grande – Campus Sumé, e-mail: walterneves07@gmail.com; ²Universidade Federal de Campina Grande – Campus Sumé, e-mail: rodolpho.mendes@estudante.ufcg.edu.br; ³Universidade Federal de Campina Grande – Campus Sumé, e-mail: pauloczar10@hotmail.com; ⁴Universidade Federal de Campina Grande - Campus Sumé, e-mail: vandson.amorim92@gmail.com; ⁵Universidade Federal de Campina Grande – Campus Sumé, e-mail: paulo.costa@professor.ufcg.edu.br

Palavras-chave: Recursos Hídricos; Gestão Colegiada; Instrumentos da PNRH.

Resumo

Em função dos impactos negativos ao meio ambiente, em muitas partes do planeta observa-se escassez espaço-temporal de recursos naturais, exigindo-se cada vez racionalização dos usos ante os anseios das atividades humanas. Os conflitos pelo uso da água conferem problemática mundial. No Brasil, a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433/97, proporcionou mudanças na forma de gerir as águas no país, sendo incorporados aspectos do Desenvolvimento Sustentável – social, econômico e ambiental. Um dos grandes paradigmas dessa mudança foi a descentralização das decisões quanto aos usos dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, incluindo além do poder público, a participação de membros representativos dos usuários de água e da sociedade civil organizada. Incorporou-se assim, o caráter democrático no sistema de gestão. A presente pesquisa busca identificar as principais pautas das reuniões discutidas no Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Una (COBH/UNA), no estado de Pernambuco, como forma de proporcionar maior entendimento a respeito das prioridades relativas dos atores envolvidos no universo da questão das águas. Para tanto, foi realizada investigação documental sobre as Atas das reuniões colegiadas do COBH/UNA entre os anos de 2020 e 2022, como banco de dados primário, sendo caracterizados temas: de natureza qualitativa e quantitativa da água; instrumentos de gestão; e as atribuições do Comitê. Os resultados indicaram que o COBH/UNA, confere um Estatuto riquíssimo de finalidades e atribuições, no entanto, essa essência foi observada em uma única ocorrência, com proeminente contexto socioambiental, demais reuniões foram abordadas temáticas sobre os instrumentos de gestão, e muito pouco sobre aspectos qualitativos das águas, estes últimos fortemente destacados na literatura. Verificou-se também, a necessidade de maior engajamento por parte dos órgãos gestores na transparência de divulgação de reuniões anteriores e da própria composição do comitê, bem como no apoio à capacitação dos membros nos diferentes segmentos.

Introdução

Ao longo da história humana, as civilizações desenvolveram subjugadas aos corpos hídricos, a exemplo dos impérios egípcio, mesopotâmicos, grego, romano (ANGELAKIS et al, 2012). No mundo de hoje, mesmo com a tecnologia favorecendo a mitigação dos entraves logísticos, muitos dos grandes centros necessitam de proximidade com os recursos hídricos, desde os mais fáceis acessos, aos mais dificultosos (HARARI, 2011). Acrescenta-se, também, o enfoque econômico, que um bem tem valor aumentado ante a sua escassez, notadamente quando sua necessidade é ampliada. Seguindo essa lógica, nota-se que a água é um recurso natural estratégico do ponto de vista econômico, resultando enlaces de efeito prolongado em várias outras áreas da sociedade.

O paradigma ambiental incorporando às necessidades do desenvolvimento começou a ser estruturado, por volta da década de 1970 (POTT; ESTRELA, 2017), que derivou da saída do conceito exploratório do Crescimento para a ótica do Desenvolvimento, sendo este a aplicação do primeiro atentando-se para o aspecto social (OLIVEIRA, 2006) juntamente com os aspectos econômico e ambiental, numa “necessidade de execução prática iminente, a fim de garantir a viabilidade do uso de recursos naturais para a conservação ambiental e manutenção da vida das gerações atuais e futuras” (MENDONÇA, 2019). Atualmente, a vertente social encontra-se bem destacada em todos os Objetivos do Desenvolvimento sustentável (ODS) (ONU, 2015).

Na Política Nacional de Recursos Hídricos– PNRH (Lei nº 9.433/97), confere a gestão integrada, descentralizada e participativa (ALMEIDA et al.,2020). O aspecto social na tríade do Desenvolvimento Sustentável torna-se fundamental no princípio participativo, colocando não só o Poder Público, mas também, usuários e a sociedade civil organizada, como instâncias nas decisões sobre os usos dos recursos naturais. Nos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs), a participação social conferindo essas instâncias, é bem destacada.

Apresenta-se neste trabalho uma análise documental a respeito das reuniões fomentadas pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Una (COBH/UNA), no estado de Pernambuco. A abordagem focalizará as discussões nas Atas, quanto aos aspectos qualitativos e quantitativos relacionados ao uso da água confrontando com o contexto legal dos vigentes instrumentos de gestão: Outorga, Cobrança, Enquadramento, Planos e Sistema de Informações. Espera-se com os resultados

ênfatar a importância de abordar essas temáticas nas discussões/deliberações no âmbito de um Comitê de Bacia Hidrográfica à Luz da Legislação em vigor.

Referencial Teórico

A gestão de recursos hídricos

Sob o contexto quali-quantitativo das águas, a gestão de recursos hídricos no Brasil utiliza-se de cinco instrumentos (ANA, 2022): a outorga de direito de uso - a regulação e controle da captação e consumo; os Planos de Recursos Hídricos – a definição de projetos e programas otimizadores de gestão de bacias hidrográficas; a cobrança pelo uso da água bruta - o contexto da água como bem econômico; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes - o aspecto ambiental na sistema de gestão; o sistema de informações – o aporte informativo dinâmico nas temáticas legal, institucional e técnica sobre os recursos hídricos.

Em bacias hidrográficas interestaduais a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, é o órgão gestor responsável pelo gerenciamento, já em bacias hidrográficas totalmente inseridas no estado, a responsabilidade caberá ao órgão gestor estadual das águas. É importante evidenciar que a efetiva gestão tem caráter dinâmico, ainda que sejam seguidas as metas de médio e longo prazos conforme o Plano recursos hídricos na Bacia Hidrográfica, condições atípicas, a exemplo de cheias e secas severas, não previstas, conferem adaptações e cumprimento das prioridades de uso. Assim sendo, a participação Colegiada tem papel fundamental na concordância para dirimir conflitos de uso da água.

A Gestão de Recursos Hídricos também tem caráter integrador, além de relacionar as águas superficiais e subterrâneas (Resolução CONAMA no 396, de 3 de abril de 2008), integra-se com outras políticas, como a Política Florestal (QUERINO; LIMONTI, 2022), gestão ambiental (VASCONCELOS; MOTA, 2020), saneamento, gestão dos resíduos sólidos (GRANGEIRO et al., 2020). Permeia-se no âmbito da gestão das águas, aspectos importantes, desde o foco da educação ambiental para com o uso racional da água e dos recursos naturais (MIRANDA et al., 2021; PINHEIRO et al., 2023) nas diferentes modalidades de uso e usuários, capacitação técnica e administrativa nas instituições, passando até pelo monitoramento e fiscalização (MOREIRA et al., 2023).

A participação social na gestão dos recursos hídricos “é fundamental para o sucesso da proteção e do uso sustentável das águas, pois permite a intervenção de diversos segmentos sociais na tomada de decisões” (MEIER et al, 2015). A PNRH, destaca, dentre seus fundamentos, a bacia hidrográfica como unidade planejamento/gerenciamento e a gestão de forma descentralizada, sendo estes eixos estruturantes destacados no processo de governança das águas (NÉRIS; PIZELLA, 2019).

Atenta-se assim, a necessidade de tomadas de decisões democráticas de forma eficiente, na gestão, sendo materializadas na participação social através: do processo de planejamento – elaboração e construção dos planos de recursos hídricos; das instituições participativas - Conselhos de Recursos Hídricos (Nacional Estaduais) e Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) (MEIER et al, 2015). O CBH, órgão colegiado das águas em sua área de atuação, sob membresia tripartite: Poder Público, Sociedade Civil Organizada e Usuários de água, delibera sobre ações quanto aos usos em seu perímetro de atuação.

A unidade de gestão e os CBHs

Para a Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997, a representatividade legislativa a qual está ancorada se expressa como uma unidade incorporada por um território determinado, onde nela existem preceitos gerenciais que são abordados, como: políticas nacionais de Recursos Hídricos, leis atuantes sobre seu território e gerenciamento sobre os recursos obtidos no território. Importa-se saber que a delimitação do espaço ao qual a Bacia ficará submetida é o ponto basilar para a divisibilidade de vertentes de natureza política, onde divergências são colocadas em debate para possibilitar a âncora das decisões.

Segundo Silva (2021), o conceito de Bacia Hidrográfica vem passando por atualizações e implementações no decorrer de suas relações envolvendo a área a qual esteja inserida. Dispondo-se disso, é notória a relação de uma Bacia Hidrográfica com os elementos que a incorporam, abrindo espaço para especulações de cunho científico, aumentando a sua representação diante das relações democráticas ao uso dos recursos hídricos que se pode dispor, unindo a isso, todo o ambiente que margeia sua proporcionalidade geográfica.

Concordando com Trindade e Scheibe (2019), toda bacia hidrográfica, por ter um aporte socioeconômico diretamente relacionado com a sociedade, faz-se de interesse coletivo o gerenciamento de seu bem por meio de atividades democraticamente divididas por todas as partes interessadas, todas submetidas a um conselho diretor, dentro de um comitê participativo. É cabível aos CBHs a gestão a qual esteja vinculado e propor planos estratégicos que proporcionem de forma efetiva, a melhor forma possível o funcionamento das políticas das águas, atribuindo valor agregado ao conteúdo, fortificando de modo acumulativo, desde o processo até o produto.

Em conformidade com Mesquita (2018), o entendimento a respeito dos CBHs está viabilizado através de várias experiências nacionais e internacionais, entendendo esse aparato gerencial e discutível como um novo paradigma dentro do universo do gerenciamento e debate envolvendo os recursos hídricos. No cenário brasileiro, sua utilização se faz necessária por diversos motivos, particularmente nas áreas que envolvem embates sobre o uso da água em setores específicos de uma determinada bacia.

O fato relativo aos paradigmas da democratização do uso das águas se torna um ponto de interesse singular dentro de uma sociedade estratificada, como a brasileira, em somatória aos fatores geográficos, os econômicos e sociais transpassam o debate na intenção da mitigação das vozes monocráticas desestabilizadoras. Ainda segundo Mesquita (2018), o modelo

descentralizado foi inspirado pela referência francesa, o que facilitou a abertura para vozes dissidentes e com outras visões sobre os usos da água, retirando, teoricamente, o poder de decisão das mãos de poucas partes interessadas.

Com isso, teoricamente, abre-se espaço para entendermos que a forma de debate presentemente citada, abre ambiente para identificar a predileção envolvendo atores nas reuniões dos comitês das bacias hidrográficas, frisando os próprios interesses em detrimento do coletivo e, se dá por meio de relações de poder inerentes da cultura e grau de informação de cada indivíduo, posto que, quanto maior a demanda sobre um determinado bem, haverá sempre um peso maior sobre as formas de obtê-lo.

Os CBHs são representações de diversas categorias da sociedade as quais necessitam dos múltiplos usos da água, como os pecuaristas, agricultores, produtores, industriais, entre outros. Eles são referência nos debates inclusivos sobre a gestão da água incorporando o olhar democrático e diplomático sobre o comportamento da vazão da água e as reais necessidades as quais ela venha a solucionar.

Destarte, em consonância com Santos (2001), a política se faz relevante no sentido da criação de condições que possam tornar, efetivamente, mudanças positivas em qualquer cenário, objetivando o interesse lógico e benéfico para a maior parte da sociedade. Analogamente, pode-se aferir o entendimento sobre esses comitês, como sendo uma vinculação e/ou envolvimento de diversos segmentos da sociedade que pretendem colaborar no processo de gestão, através dos participantes ou partes interessadas nos usos dos recursos hídricos de uma determinada bacia hidrográfica.

Contudo, os CBHs debatem sobre diversos paradigmas que envolvem os bens hídricos e toda a cadeia de responsabilidades que delas dependem, como os mecanismos de mitigação de problemas ambientais, minimização dos processos de poluição, cumprimento de normas e leis referentes aos rios, que estão intimamente ligadas à bacia hidrográfica em questão, prevenção e controle de gastos desnecessários e formação da base de cálculos sobre o custo do uso indissociável das águas.

Pode-se entender que, os CBHs são importantes instrumentos para o entendimento das tomadas de decisões e regulações do uso correto das águas, além de propor a abertura do diálogo franco sobre as necessidades de cada área da sociedade vinculada, garante a sustentabilidade e o equilíbrio das relações envolvidas.

Materiais e Métodos

Área de estudo

De acordo com o relatório da Bacia Hidrográfica do Rio Una promovido pela Secretaria de Planejamento do estado (CONDEPE/FIDEM, 2006), evidencia-se como característica marcante dessa Bacia no estado de Pernambuco, a ausência de rios de grande extensão e volume com exceção do rio da Integração, mais conhecido como o rio São Francisco, onde naturalmente formam divisas estaduais que segregam o respectivo estado com o estado da Bahia, no sertão nordestino. Essa bacia possui uma abrangente riqueza natural e econômica, sendo responsável por lucrativas atividades relacionadas a pesca, agricultura, pecuária e artesanal, sendo o rio Una o principal curso desta bacia. No entanto, vale destacar o seu uso intensivo garante diversas perdas qualitativas no que tange à salvaguarda deste rio, na medida em que através dessas práticas a poluição das águas se torna um fator de risco, tanto na qualidade direta da água por falta de saneamento, como por perda na biodiversidade da região (MELO et al, 2018).

Trata-se de uma bacia que contempla 6.740,31 km², dos quais 6.262,78 km² (93,36%) estão inseridos no Estado de Pernambuco, correspondendo a 6,37 % do total do Estado, abrangendo 42 municípios, sendo 11 estão totalmente inseridos na Bacia (Belém de Maria, Catende, Cupira, Ibirajuba, Jaqueira, Lagoa dos Gatos, Maraial, Palmares, Pannels, São Benedito do Sul e Xexéu), 15 com sede inserida na Bacia (Água Preta, Agrestina, Altinho, Barreiros, Bonito, Cachoeirinha, Calçado, Capoeiras, Jucati, Jupi, Jurema, Lajedo, Quipapá, São Bento do Una e São Joaquim do Monte), e 16 parcialmente inseridos na Bacia (Barra de Guabiraba, Bezerros, Caetés, Camocim de São Félix, Canhotinho, Caruaru, Gameleira, Joaquim Nabuco, Pesqueira, Rio Formoso, Sanharó, São Caetano, São José da Coroa Grande, Tacaimbó, Tamarandé e Venturosa) (APAC, 2023a).

O relevo ao qual ancora o substrato da Bacia do rio Una apresenta dinamismo em suas formas, com presença de planícies, morros mamelonares e colinas, dignos de estratos geográficos presentes no Agreste e Mata Atlântica do estado, áreas propícias e categoricamente mais elevadas, variando entre 800m e 1000m de altitude, mais precisamente à Oeste do estado. Embora a Bacia esteja, em sua totalidade, sobre um bloco cristalino, ao longo de sua extensão diferentes faixas morfoclimáticas e fitogeográficas são encontradas. Na Figura 1, observa-se a área hidrográfica da bacia do rio Una, explicitando sua trajetória, desde a sua nascente, no município de Capoeiras - PE, deslocando-se até o município de São José da Coroa Grande, localizado na parte litorânea do estado.

Há diversidade nas características morfológicas, possuindo rico acervo dentro da gênese estrutural resultante de suas passagens cortando a Mata Atlântica e Agreste até o Sertão. Holisticamente, existem diversas faixas demográficas ao longo da Bacia estudada, no Grupo GL 4 e GL 5, existem aglomerados urbanos, pontos industriais, setores relacionados à pecuária, manguezais na parte mais ácida dos solos entre outras (MELO et al, 2018).

Percebe-se na Figura 2 que, mesmo com alguns dados faltosos, boa parte de volume do período disposto, apresenta registros acima dos 30% nos açudes Prata, Poço de Areia, Caianinha e Brejo do Buraco, meses mais críticos nos registros do açude Gurjão. No entanto o aspecto qualitativo dos reservatórios deve ser atentado, tendo em vista informações de qualidade da água em estações de monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Una-PE (CONDEPE/FIDEM, 2006), considerada naqueles registros, como poluída, tanto no Açude Prata como também nas barragens: Gurjão (em Capoeiras), Poço de Areia (em Camocim de São Félix), Caianinha (em São Joaquim do Monte), Pau Ferro (em Quipapá) - estes locais de captação da Compesa, denotando-se necessidade de forte carga de controle qualitativo. Ainda nesses registros, para alguns casos verificou-se condição moderadamente comprometida (barragem Brejo do Buraco, em São Caetano) e pouco comprometida (barragem Brejo dos Coelho, em São Caetano).

O COBH/UNA e abordagem das atas

Segundo APAC (2023b), a formação do COBH/UNA foi homologada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos em 17 de dezembro de 2002, através da Resolução nº 05/2002. No Estatuto (COBH/UNA, 2011) verificam-se as finalidades (Art.2º): “I- adotar a bacia hidrográfica como unidade físico territorial de planejamento e gerenciamento; II - conceber e propor estudos, programas de obras e serviços de interesse coletivo, definindo prioridades e medidas preventivas de riscos ambientais sociais e financeiros, com vistas a sua integração ao Plano Estadual no que diz respeito a bacia do rio Una; III - definir instrumental de ação que assegure gestão participativa e descentralizada dos recursos hídricos, buscando sintonia entre quantidade e qualidade na respectiva área de ação; IV - buscar sempre a compatibilização entre a gestão dos recursos hídricos, o desenvolvimento regional e a preservação do meio ambiente; V - assegurar o uso múltiplo das águas de superfície e subterrâneas com prioridade para o abastecimento humano e animal; VI - promover a integração de ações preventivas, e de defesa, contra acidentes hidrológicos que causem riscos à segurança e saúde públicas da população da bacia; VII - assegurar a proteção dos recursos hídricos contra obras e intervenções que venham comprometer o seu uso múltiplo no presente e no futuro; VIII - estimular o desenvolvimento e a transferência de tecnologias com vistas à preservação dos recursos hídricos em sua área de abrangência; IX - estudar e propor alternativas de desenvolvimento sustentável da bacia.”

Ainda no Estatuto, dentre as atribuições do Comitê: “I - apreciar e votar o estatuto do respectivo Comitê; II - apreciar e votar o plano de bacia hidrográfica respectivo para integrar o Plano Estadual de Recursos Hídricos, assim como programas de ações imediatas quando ocorrerem situações críticas, submetendo os ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos CRH para homologação; III - apreciar e votar as propostas dos programas anuais e plurianuais de aplicação de recursos financeiros em serviços e obras de interesse para o gerenciamento dos recursos hídricos; IV - apreciar e votar o plano de utilização, conservação, proteção e recuperação do recursos hídricos da bacia hidrográfica, e fazer recomendações no tocante ao enquadramento dos corpos d’água em classe de uso preponderante; V - promover os entendimentos e relações de cooperação entre os usuários de recursos hídricos exercendo, quando necessário, funções de arbitramento e conciliação dos casos de conflito de interesses, como uma primeira instância de decisão; VI- promover a divulgação e debates na região dos programas de serviços e obras a serem realizadas no interesse da comunidade, definindo metas, benefícios e custos, e riscos sociais, ambientais e financeiros; VII - subsidiar a elaboração do relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos na respectiva bacia hidrográfica; VIII - acompanhar e avaliar os resultados decorrentes das ações e programas governamentais relativos à utilização, aproveitamento, proteção, recuperação, melhoria da qualidade e aumento da disponibilidade dos recursos hídricos; IX - incentivar ações de conscientização na comunidade sobre o uso adequado de recursos hídricos e de postura cívica que possam evitar impactos sistêmicos degradantes dos mananciais; X - estimular a formação de associações de usuários e instalações de consórcios como entidades auxiliares no gerenciamento dos recursos hídricos; XI - colaborar com os órgãos integrantes do SIRGRH/PE prestando informações sobre a situação dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Una, bem como comunicando a existência de infrações, falhas ou desvios de execução nos projetos locais, requerendo as medidas de urgência necessárias à correção ou normalidade dos problemas; XII - acompanhar a aplicação dos recursos destinados ao gerenciamento integrado da bacia e ao programa de educação ambiental previstos no Plano Diretor de bacia; XIII - decidir em primeira instância os conflitos referentes aos recursos hídricos na bacia hidrográfica.”

É sabido de sua importância nas atividades econômicas e diárias, conseqüentemente, torna-se imprescindível uma regularização maior nas relações diplomáticas envolvendo os usos de suas águas, por isso, é de suma importância a regularização de uma ampla abordagem nas reuniões envolvendo preceitos democráticos e, do ponto de vista econômicos, maior equilíbrio entre os usos e os devidos valores.

No ambiente da Procomitês (Programa Nacional de Fortalecimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas) da ANA, verificam-se as Atas: da primeira (COBH/UNA, 2022a) e segunda (COBH/UNA, 2022b) reuniões ordinárias de 2022; plenária de eleição – mandato 2021-2024 (COBH/UNA, 2021a); primeira reunião ordinária de 2021(COBH/UNA, 2021b); e da primeira (COBH/UNA, 2020a) e segunda (COBH/UNA, 2020b) reuniões ordinárias de 2020.

O universo da pesquisa se baseia sobre uma incógnita que norteia o pensamento dos atores no que se refere aos desdobramentos e manifestações a respeito das reuniões dos Comitês das Bacias Hidrográficas (CBHs), sobre o seu caráter democrático e pressupostos individualistas em detrimento do bem comum. Não obstante, a unicidade de formulação metodológica mitigadora dos possíveis pontos fracos de toda a gestão de uma Bacia Hidrográfica.

A metodologia aplicada nesse trabalho se enquadra, de forma descritiva e exploratória, na análise das Atas de reuniões ordinárias do COBH/UNA entre os anos de 2020 e 2022. Atenta-se que, eventuais reuniões extraordinárias ocorridas no âmbito deste período de estudo, bem como demais reuniões em outros períodos não foram encontradas no site Procomitês.

Toda pesquisa exploratória gira em torno de um princípio arraigado ao objeto de estudo, ancorado por bases científicas sólidas e documentadas, buscando uma gama maior de dados para análise, aumentando a credibilidade das informações e obtendo o enriquecimento do trabalho sem perder o foco no tema (BEUREN, 2003). As discussões dispostas nessas Atas serão confrontadas com as finalidades e atribuições conforme Estatuto do COBH/UNA, bem como abordagens quanto aos instrumentos de Gestão da PNRH.

Resultados e Discussão

Com a abordagem das discussões dispostas nas Atas das reuniões ordinárias do COBH/UNA (COBH/UNA, 2022a; COBH/UNA, 2022b; COBH/UNA, 2021a; COBH/UNA, 2021b; COBH/UNA, 2020a; COBH/UNA, 2020b) pode-se resumir:

- Salvo o relato na 1ª reunião ordinária de 2020, sobre dúvidas quanto a metodologia para definição do valor da cobrança, nenhum outro instrumento foi destacadamente abordado nas demais reuniões colegiadas.
- Na 2ª reunião ordinária de 2020 e na 1ª reunião de 2021 (aqui sendo plenária de eleição – mandato 2021-2024), não foram observadas relevâncias nas finalidades e atribuições do COBH/UNA segundo seu Estatuto (COBH/UNA, 2011).
- Na 1ª reunião ordinária de 2021, verifica-se a plenária bastante diferenciada ante o período observado neste trabalho: caráter institucional - certificação do Procomitês; aspecto socioambiental – sobre preservação das nascentes em comunidade indígena no município de Pesqueira e proteção da mata ciliar detalhando as dificuldades decorrentes dos impactos na qualidade da água - informação de Edital, para projetos da sociedade civil serem financiados pelo Fundo Estadual de Meio Ambiente, através reflorestamento de nascentes a partir de sistemas agroflorestais, em áreas degradadas ou em processo de degradação na região dos biomas de Mata Atlântica e Caatinga; aspecto ecológico - plantação de ervas medicinais em municípios inseridos na bacia do rio Ipojuca, incluindo-se necessidade orientação para fazer o uso adequado dessas ervas; necessidade de apoio institucional e democrático - parceria com outras instituições para que os trabalhos não sejam realizados de forma isolada; aspecto ambiental e de segurança hídrica – sobre a revitalização da mata ciliar e limpeza da área urbana em São Bento do Una, visando minimizar impactos de enchentes.
- Na 1ª reunião ordinária de 2022, destacam-se apenas: preocupação quanto as vagas de membresia do COBH/UNA e breve ponto sobre capacitação; aspecto ambiental - unidades de conservação e buscar parcerias; aspecto legal - atenção quanto atualização do estatuto.
- Na 2ª reunião ordinária de 2022, destacam-se apenas: inclusão de membros na composição; e citação quanto a necessidade de capacitação.

A partir da análise dessas Atas, pode-se observar que:

- Deve-se atentar para a importância do entendimento da cobrança pelo uso da água bruta (Art 38, da Lei nº 9.433/97, sendo uma das competências dos Comitês no âmbito de sua área de atuação: VI - estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados), aqui abordada apenas na primeira gestão colegiada de 2020. No entanto tendo em vista que o Poder Público se utiliza de instrumentos de gerenciamento/planejamento como ferramentas para colocar a Política das Águas em ação, torna-se fundamental a inclusão direta de pontos relacionados, não só à Cobrança, mas, também aos demais instrumentos de gestão de recursos hídricos, de forma regular em todas reuniões.
- Torna-se importante a capacitação permanente no âmbito das gestões colegiadas, tendo em vista o caráter dinâmico das cadeiras titulares e suplentes da composição do COBH/UNA. Nas últimas reuniões breve atenção foi apontada sobre este aspecto. Os representantes dos usuários de água, da sociedade civil organizada e do Poder Público podem ter maior necessidade sobre as atribuições do comitê e sobre a gestão das águas na Bacia. Além dos aspectos técnicos envolvidos no sistema de gestão, que tem contexto multidisciplinar, deve-se atentar para as alterações legais e institucionais.
- Ante as finalidades/atribuições do Estatuto (COBH/UNA, 2011), verifica-se a necessidade das discussões sobre melhorias e ocorrências de possíveis conflitos de natureza hídrica, especialmente sobre a qualidade das águas, bem evidenciada no Relatório CONDEPE/FIDEM (2006). Estes aspectos citados em parte dos pontos pautados na primeira reunião ordinária de 2021, que teve, também, fortes aspectos socioambientais, sendo reunião bem diferenciada das demais. Nesta reunião houve um importante debate sobre a problemática do meio ambiente, em especial, a preservação das matas ciliares e as nascentes dos rios distribuidores, assim como, promoveu o fortalecimento da restauração de áreas degradadas nos biomas da Caatinga e a Mata Atlântica, alinhado ao tema, deliberou de forma positiva a criação de corredores ecológicos. Ainda nesse ano, fora promovido um estudo onde abordou o tema a respeito da qualidade de água, que tem uma estreita relação com o pleno desenvolvimento do meio ambiente

O rio Una por ser um objeto dotado de grande relevância para o estado de Pernambuco, possui diversas características do ponto de vista burocrático, diante das Atas encontradas, observa-se necessidade de abrangência dos discursos e dos temas que devem ser tratados, com abordagens diversificadas, a depender da ordem da reunião (ordinária/extraordinária), promovendo a heterogeneidade nos assuntos, focando nas decisões de primeira ordem a serem tomadas.

As reuniões analisadas, devem ter foco de temáticas objetivando atender as necessidades de curto prazo nos casos de conflitos por exemplo, e em médio prazo para contextos relacionados aos Planos de Recursos Hídricos, em especial atenção ao aspecto qualitativo da água. Decerto o princípio de gestão participativa dos comitês abarca atenção em partes consideráveis do tempo desses encontros, a exemplo da preocupação quanto a entrada de representantes, bem como alargar debates, porém necessitando-se de agregar conhecimento através de projetos de capacitação para a membresia nos diferentes segmentos do COBH/UNA.

Deve-se ressaltar que, o banco de dados disponível (na internet) pelos órgãos responsáveis sobre as reuniões colegiadas e composição do COBH/UNA encontra-se deficiente para aquisição de informações em anteriores, incluindo as reuniões extraordinárias, caso estas tenham ocorrido, tendo em vista o ano de implementação do COBH/UNA.

Conclusão

O COBH/UNA, confere um Estatuto riquíssimo de finalidades e atribuições, além dos desafios quanto as discussões sobre os instrumentos de gestão, sobre a quantidade e, em especial, a qualidade de água nos corpos hídricos na Bacia do Rio Una, pontos estes não sendo dominantes nas reuniões ordinárias aqui analisadas. Há necessidade de maior engajamento por parte dos órgãos gestores na transparência de divulgação de reuniões anteriores e da própria composição do comitê, bem como no apoio à capacitação dos membros nos diferentes segmentos com caráter sistemático à curto prazo e permanentemente dinâmico, tendo em vista as alternâncias dos membros nas futuras gestões colegiadas.

Agradecimentos

O trabalho proposto teve sua realização apoiada pelo Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N° 2017/2015 e ao Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido – *Campus Sumé* da Universidade Federal de Campina Grande, por todo apoio profissional, ético, humano e técnico científico ancorado desde o primeiro dia até o presente momento.

Referências Bibliográficas

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Comitês de Bacias Hidrográficas. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobranca/comites.aspx>>. Acesso em: 08 de mai de 2023.

ALMEIDA, K. E. DE L., MENDES, J. R. L., ABRANTES, M. M. G. DE, & MELO, J. M. DE.. Percepção ambiental na conjuntura da gestão integrada e participativa dos recursos hídricos no estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Direito e Gestão Pública*, 8(2), 458–466,2020. Disponível em: <www.gvaa.com.br/revista/index.php/RDGP/article/view/7968>.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. SAR - Sistema de Acompanhamento de Reservatórios. Dados Históricos. Estação Prata-PE. 2023. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar>. Acesso em: Ago de 2023.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Planos de Recursos Hídricos. Brasília-DF, 2022. Acesso em: 07 de julho de 2023.

ANGELAKIS, A. N.; MAYS, L. W.; KOUTSOYIANNIS, D.; MAMASSIS, N. *Evolution of Water Supply Through the Millennia*. IWA Publishing. V. 11. 2012. Disponível em: <<https://iwaponline.com/ebooks/book/472/Evolution-of-Water-Supply-Through-the-Millennia>>.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. Bacia do rio Una. 2023a. Disponível: <<https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas-rio-una/173-bacias-hidrograficas-rio-una/209-bacia-do-rio-una>>. Acesso em: 09 de mai de 2023.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. Comitê de Bacia - Rio Una. 2023b. Disponível em: <www.apac.pe.gov.br/comite-de-bacia-rio-una/154-comite-de-bacia-rio-una/231-comite-do-rio-una>. Acesso em 3 de ago 2023.

BEUREN, Ilse Maria. *Como Elaborar Trabalhos Monográficos em Contabilidade*. Teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2003.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 30 abril. 2023.

CARVALHO, A. T. F. (2020). Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, 1(42), 140–161. Disponível em: <<https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/6953>>. Acesso em: 05 jul, 2023.

COBH/UNA. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Una. Estatuto. 2011. Disponível em: <www.apac.pe.gov.br/images/GRAC/COMITES/Una/Estatuto___COBH_Una__08_2011_.pdf>. Acesso em: 08 ago de 2023.

COBH/UNA. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Una. Ata da Primeira Reunião Plenária Ordinária de 2202. 2022a Disponível em: <https://dSPACE.ana.gov.br/xmlui/handle/123456789/23335>

COBH/UNA. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Una. Ata da Segunda Reunião Plenária Ordinária de 2202. 2022b. Disponível em: <<https://dSPACE.ana.gov.br/xmlui/handle/123456789/27411>>

COBH/UNA. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Una. Ata da Plenária de Eleição e Posse dos Membros da Diretoria do COBH/UNA – Mandado 2021-2024. 2021a. Disponível em: <https://dSPACE.ana.gov.br/xmlui/handle/123456789/20466>

COBH/UNA. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Una. Ata da Primeira Reunião Plenária Ordinária de 2201. 2021b. Disponível em: <https://dSPACE.ana.gov.br/xmlui/handle/123456789/20435>

COBH/UNA. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Una. Ata da Primeira Reunião Plenária Ordinária de 2020. Disponível em: <https://dSPACE.ana.gov.br/xmlui/handle/123456789/16783>

COBH/UNA. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Una. Ata da Segunda Reunião Plenária Ordinária de 2020. Disponível em: <https://dSPACE.ana.gov.br/xmlui/handle/123456789/16784>

CONDEPE/FIDEM. Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. Bacia Hidrográfica do Rio Una, Quarto e Quinto Grupos de Bacias Hidrográficas de Pequenos Rios Litorâneos – GI 4 E GI 5 Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco nº 3: Séries Bacias Hidrográficas de Pernambuco. Recife, 2006. 85 p. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.condepefidem.pe.gov.br/c/document_library/get_file?p_l_id=78673&folderId=141847&name=DLFE-11996.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2023.

GRANGEIRO, E. L. A. ; RIBEIRO, M. M. R. ; MIRANDA, L. I. B. . Integração de políticas públicas no Brasil: o caso dos setores de recursos hídricos, urbano e saneamento. Cadernos Metrópole, v. 22, p. 417-456, 2020. HARARI, Y. N. Sapiens: A Brief History of Humankind. Vintage Books, 2015.

MELO, F. B. C.; RIBEIRO, M. H. G., ALBUQUERQUE JUNIOR, E. C., GONÇALVES, E. A. P.. Avaliação da Bacia do rio Una-Pernambuco: perspectiva da qualidade da água após a construção de 4 barragens para contenção de cheias (Evaluation of the Una- Pernambuco River Basin: Water Quality Perspective after Construction of 4 Flooding Containment Dams). Revista Brasileira de Geografia Física, v. 11, n. 2, p 613-627, 2018.

MENDONÇA, L. M.. O conceito de desenvolvimento sustentável: ressignificação pela lógica de acumulação de capital e suas práticas. Espaço e Economia. Revista brasileira de geografia econômica, n. 15, 2019.

MESQUITA, L. F. G. Os Comitês de Bacias Hidrográficas e o Gerenciamento Integrado na Política Nacional de recursos Hídricos. Revista da UFPR, v 45, 2018.

MIRANDA, D. L.; MENDONÇA, A.T. ; MELO, M. C. ; MELO, E. D. . Educação Ambiental a partir da Agenda 2030: experiências da conscientização e do uso racional da água na educação municipal de Varginha (MG). Revista Brasileira de Educação Ambiental, v. 16, p. 174-190, 2021.

MEIER, M. A.; COSTA, F. S. ; BASSO, L. A. . A participação social na gestão dos recursos hídricos: um paralelo entre Brasil e Portugal. In: 12º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos países de Língua Portuguesa, 2015, Brasília. Gestão da Água e do Território: Perspectivando Sinergias, 2015. Disponível em :<<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=12783>>.

MOREIRA, G. de B.; ANDRADE, C. B. S. de; GONÇALVES, J. A. C. The inspection of the granted use of water resources in a basin declared in a critical situation of water scarcity. Case study: case study in the Suaçuí River watershed - MG. Research, Society and Development, [S. l.], v. 9, n. 7, p. e81973729, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i7.3729. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/3729>. Acesso em: 7 jul. 2023.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em:<<https://antigo.mma.gov.br/agua.html>>. Acesso em: 08 de mai de 2023.

NÉRIS, M. C. N.; PIZELLA, D. G. . Participação Social na Gestão Hídrica: O Papel da Sociedade Civil no Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado De São Paulo. In: III seminário Nacional do ProfÁgua, 2019, Brasília- DF. III Seminário

Nacional ProfÁgua. São Carlos-SP: Rima editora, 2019. v. 1. p. 98-250p.

OBSERVATÓRIO SAR. Dia Mundial da Água: A Crise Hídrica em Pernambuco. Observatório SAR, 22 mar, 2019. Disponível em: <https://obervatoriosar.wordpress.com/2019/03/22/dia-mundial-da-agua-a-crise-hidrica-em-pernambuco/>. Acesso em: 18 mai, 2023.

OLIVEIRA, G. B.. Uma discussão sobre o conceito de desenvolvimento. O desenvolvimento sustentável em foco: uma contribuição multidisciplinar, 2006. Editora Annablume. 168p.

ONU. Organização das Nações Unidas. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: ONU; 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>

PINHEIRO, A. de S. ; SARMENTO, E. de S. ; LEITE NETO, M. L. ; RAMALHO, J. L. L. ; LIMA, E. F. de. ; SANTOS, R. F. dos. ; LACERDA, N. L. ; LIMA, A. S. ; RIBEIRO, R. B. dos S. . DISSEMINAÇÃO E CONSCIENTIZAÇÃO DO USO RACIONAL DA ÁGUA. Caderno Impacto em Extensão, Campina Grande, v. 3, n. 1, 2023. Disponível em: <https://revistas.editora.ufcg.edu.br/index.php/cite/article/view/638>. Acesso em: 7 jul. 2023.

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C>. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. Estudos avançados, v. 31, p. 271-283, 2017. Disponível em: < www.scielo.br/j/ea/a/pL9zbDbZCwW68Z7PMF5fCdp/?lang=pt&for>.

QUERINO, A. C.,LIMONTI, C. Tutela jurisdicional das nascentes na perspectiva conjugada da política de recursos hídricos e código florestal: contribuições, avanços e desalinhos. In Anais do Congresso Brasileiro de Processo Coletivo e Cidadania, 2022. (No. 9, pp. 645-665). Disponível em: <<https://revistas.unaerp.br/cbpcc/article/view/2533>>.

SANTOS, M. Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal. 16. ed. Rio de Janeiro: Record, 2001.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações. 1. Ed. Ilhéus: Editus, 2002.

SILVA, F.L. PONHA O SOBRENOME E AS INICIAIS DE TODOS OS AUTORES. Gestão de Recursos Hídricos e Manejo de Bacias Hidrográficas no Brasil: Elementos Básicos, Históricos e Estratégias. Revista Brasileira de Geografia Física. V. 14, n. 3 p 1626-1653, 2021

VASCONCELOS, F. D. M.; MOTA, F. S. Gestão ambiental, legislação e os recursos hídricos na cidade de Fortaleza (CE), Brasil. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v. 55, p. 313-330, 2020. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/67346/1/2020_art_fsmota.pdf>.



ARTIGOS COMPLETOS

ÁREA TEMÁTICA
Educação Ambiental

A COLETA SELETIVA E A COMPOSTAGEM COMO INSTRUMENTOS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL: ESTUDO DE CASO NA UTFPR – CAMPUS CAMPO MOURÃO

¹Alessandra Arissa Numai, ²Iago Silva de Souza, ³Vinicius Fernandes Da Costa, ⁴Vinicius Namio Nakahata, ⁵Vitoria Aparecida Garcia Da Silva, ⁶Cristiane Kreutz, ⁷Maristela Denise Moresco Mezzomo, ⁸Vanessa Medeiros Corneli

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: alessandra.numai@outlook.com, ²Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: iagossouza123@gmail.com, ³Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: vcosta.2021@alunos.utfpr.edu.br, ⁴Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: nakahata@alunos.utfpr.edu.br, ⁵Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: vitoriaaparecida@alunos.utfpr.edu.br, ⁶Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: ckreutz@utfpr.edu.br, ⁷Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: mezzomo@utfpr.edu.br, ⁸Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: vanessacorneli@utfpr.edu.br

Palavras-chave: educação ambiental, resíduos sólidos, sensibilização ambiental.

Resumo

Um dos assuntos ambientais mais discutidos na atualidade é a gestão de resíduos sólidos. Com o processo de urbanização, industrialização e crescimento populacional a quantidade e a diversidade de tipos de resíduos gerados também se intensificaram. Resíduos sólidos quando não gerenciados de maneira ambientalmente adequada geram diversos impactos ambientais, como poluição do solo, da água, proliferação de vetores de doenças, entre outros. Todavia, quando tratados como materiais que possuem valor, possibilitam geração de emprego e renda e a otimização do uso de recursos naturais. Este cenário exige que sejam adotadas medidas de gestão e valorização dos resíduos, e uma das estratégias é informar, capacitar e sensibilizar a comunidade sobre esses aspectos. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo apresentar como a prática da coleta seletiva e da compostagem realizadas na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) *campus* Campo Mourão tem sido utilizado como instrumento de educação ambiental em atividades extensionistas. Para tanto, foram apresentadas algumas ações realizadas nos anos de 2021 a 2023 por alunos e docentes de graduação junto a escolas e também na participação em eventos realizados no Município de Campo Mourão-PR.

Introdução

A gestão de resíduos sólidos tem sido uma das principais temáticas discutidas no contexto da sustentabilidade ambiental. Faz-se necessário repensar hábitos de produção e consumo, de forma a possibilitar tanto a redução na geração quanto a continuidade do ciclo dos materiais, visando uma economia circular. Nesse contexto, a gestão e o gerenciamento dos resíduos, desde a não geração até a disposição final precisa ser de fato prioridade nas políticas públicas.

De acordo com a norma ABNT 10.004:2004, resíduos sólidos são definidos como:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004. p. 1).

De acordo com a Lei 12.305 de 2010, que estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, são classificados como resíduos sólidos urbanos (RSU) os resíduos domiciliares e os resíduos de limpeza urbana. Os “resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços se caracterizados como não perigosos, podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal” (BRASIL, 2010).

No ano de 2022 foram gerados no Brasil em torno de 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, o que corresponde a aproximadamente 1,043 kg de resíduo por habitante/dia. Desse montante 76,1 milhões de toneladas foram coletadas, o que corresponde a 93% de cobertura. Do total coletado, 61% foi destinado para aterros sanitários e 39% para aterros controlados e lixões, sendo essas duas últimas consideradas formas ambientalmente inadequadas de disposição (ABRELPE, 2022).

A composição gravimétrica dos RSU no Brasil é de aproximadamente 45,3% de orgânicos, 33,6% de recicláveis (secos), 5,6% de têxteis, couros e borracha, 14,1% de rejeitos (em sua maioria resíduos sanitários) e 1,4% de outros (BRASIL, 2022) (Figura 1). Todavia, foram recuperados apenas 2,2% da massa de recicláveis secos e 0,2% de resíduos orgânicos (SNIS, 2018 *apud* BRASIL, 2022).

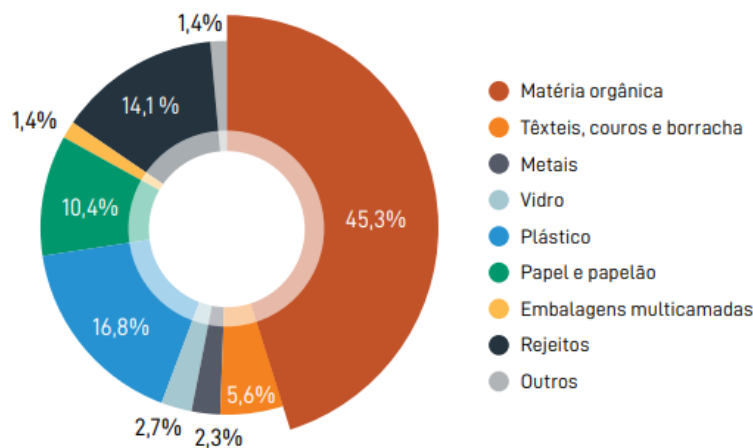


Figura 1 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos no Brasil
Fonte: ABRELPE (2020)

Um dos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos é “o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania” (BRASIL, 2010).

Das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), o ODS 11- Cidades e Comunidades Sustentáveis, está a de até 2030 reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à gestão de resíduos municipais e outros; e para o ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis, de até 2030, de reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso (ONU, 2023).

Por sua vez, o Decreto nº 11.043, de 12 de abril de 2022, que aprovou o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), estabeleceu como meta recuperar 20% dos recicláveis secos e 13,5% da fração orgânica, em relação à massa total de RSU, até 2040 (BRASIL, 2022).

Para tanto, é fundamental que sejam realizadas ações que promovam a sensibilização e a educação ambiental da comunidade em relação ao consumo consciente, promovendo a redução da geração de resíduos e também seu aproveitamento em diferentes processos, sendo as práticas de segregação para a coleta seletiva e a compostagem ações necessárias e estratégicas para a melhoria desse cenário.

Por coleta seletiva entende-se “a coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição” (BRASIL, 2010). A compostagem, por sua vez, “é um processo biológico de transformação da matéria orgânica crua em substâncias húmicas, estabilizadas, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem” (KIHTEL, 1985, p. 235). O processo de compostagem é um processo aeróbio, ou seja, ocorre com a presença de oxigênio, sendo a produção dos húmus resultante da ação de diversos microrganismos (PEREIRA NETO, 2007).

Na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Campo Mourão, no ano de 2014, foi instituída a Comissão da Coleta Seletiva Solidária, em atendimento ao previsto no Decreto Federal 5.940 de 2006 que estabelecia a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta, na fonte geradora, e a sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis. Com a publicação do Decreto Federal 10.936 de 2022, e consequente revogação do Decreto 5.940 de 2006, por meio da Portaria nº 197 foi instituída no *campus* a comissão do Programa Coleta Seletiva Cidadã. Há institucionalizado também na Universidade a Comissão do Plano de Logística Sustentável (PLS).

No ano de 2017 foi implementada no *campus* uma composteira, com objetivo de destinar de maneira ambientalmente sustentável os resíduos orgânicos gerados no preparo de alimentos no restaurante universitário, assim como servir de laboratório para os estudantes da graduação, em especial para o Curso de Engenharia Ambiental. A composteira foi construída em alvenaria, possui 20m², caixa coletora de chorume e telhas removíveis para cobertura. São gerados em média 23,54 kg/dia de resíduos orgânicos no preparo das refeições do restaurante universitário (GONÇALVES et al, 2020), os quais diariamente são levados até a composteira e misturados com material seco (folhas e/ou poda de grama) oriundo de podas do *campus*. Semanalmente o material é revolvido, e aproximadamente a cada 120 dias tem-se o composto estabilizado para utilização. A operação e manutenção da composteira tem sido realizada por alunos bolsistas e voluntários, Comissão do Plano de Logística Sustentável (PLS-CM) e Comissão da Coleta Seletiva. No ano de 2022 uma média de dez alunos do Curso de Engenharia Ambiental participaram diretamente das atividades do projeto.

Os trabalhos das comissões em conjunto com a direção do *campus*, assim como ações desenvolvidas por meio de projetos de extensão e pesquisa, têm contribuído tanto na formação dos estudantes de graduação como na melhoria contínua da prática da coleta seletiva de resíduos sólidos no *campus*, possibilitando ainda que essas experiências, de docentes e alunos, sejam compartilhadas com a comunidade externa.

Posto isto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar como a prática da coleta seletiva solidária e da compostagem realizadas na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *campus* Campo Mourão tem sido utilizado como estratégia de educação e sensibilização ambiental em atividades extensionistas.

Material e Métodos

Este trabalho, de caráter descritivo, tem como base dados e informações coletadas ao longo dos anos a partir da experiência e prática da coleta seletiva e da compostagem realizadas na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Campo Mourão (UTFPR-CM). Trata-se de um relato de experiência de algumas ações de educação ambiental extensionistas, realizadas de 2021 a 2023 por alunos e docentes de graduação da Engenharia Ambiental, junto a escolas e também na participação em eventos realizados no Município de Campo Mourão-PR.

As atividades de sensibilização ambiental para as escolas foram realizadas tanto *in loco*, contemplando unidades da sede urbana e rural, como também nas dependências do *campus* universitário. Tais ações tiveram o apoio e parceria das secretarias municipais de Educação e Meio Ambiente. As estratégias de educação ambiental adotadas consistiram em: palestras; oficinas com confecção de brinquedos a partir de materiais recicláveis; montagem de composteira; jogos de tabuleiro com os temas reciclagem e compostagem; dinâmica sobre segregação de resíduos sólidos em três frações (reciclável, orgânico e rejeito); plantio de sementes utilizando composto orgânico; entre outras.

Já a participação em eventos abertos à comunidade foram: “Caminhos da produção orgânica” e “*Empreendeweek* 2022”. Para essa ação a ênfase foi a compostagem, seus aspectos técnicos e benefícios. Adotou-se uma abordagem expositiva, onde com o auxílio de *banners* foi explicado como se dá o processo de degradação da matéria orgânica e produção do composto; apresentação de composteira doméstica produzida a partir de material reutilizável; e disponibilização de amostra do adubo orgânico produzido na UTFPR-CM para os visitantes.

Tais atividades foram planejadas e preparadas por docentes e estudantes do curso de Engenharia Ambiental da UTFPR-CM, utilizando o Laboratório de Estudos Geocológicos e Gestão Ambiental (LAGEA), Laboratório de Solos e Composteira do *campus*.

Resultados e Discussão

As experiências da prática da coleta seletiva e da compostagem realizadas na UTFPR-CM além de possibilitarem a destinação ambientalmente adequada dos resíduos e produção de adubo orgânico, têm sido utilizadas como base para a realização de diversas atividades de ensino, pesquisa e extensão. No ensino e na pesquisa principalmente por meio de disciplinas da graduação, desenvolvimento de trabalhos de conclusão de curso, de iniciação científica, publicações, entre outros.

Na extensão, que é a ênfase desse trabalho, destacam-se as atividades de educação ambiental, como por exemplo, desenvolvimento de jogos de tabuleiro sobre reciclagem e compostagem que foram disponibilizados para escolas da rede municipal de Campo Mourão-PR, entregues em 2021; oficinas realizadas em escolas do campo de Campo Mourão no ano de 2022 e escolas da sede urbana em 2023, onde foram abordados aspectos sobre classificação, segregação e destinação de resíduos sólidos, coleta seletiva, reciclagem e valorização de resíduos orgânicos; e visitação de estudantes no *campus*, onde foram apresentadas práticas de sustentabilidade realizadas na UTFPR-CM, com destaque para o sistema de coleta seletiva e a compostagem dos resíduos orgânicos (Figura 2).



Figura 2 – Projeto de educação ambiental da UTFPR-CM em escolas do campo do Município de Campo Mourão – PR
Fonte: SEMA_CM (2022)

A experiência da compostagem, especificamente, também foi apresentada no evento “Caminhos da produção orgânica”, realizado no dia 16 de setembro de 2022 na Praça São José de Campo Mourão, promovido pelo Grupo de Atuação Especializada em Meio Ambiente, Habitação e Urbanismo – GAEMA do Ministério Público do Estado do Paraná, Regional de Campo Mourão, cujo objetivo foi estimular alternativas de produção sustentável. Segundo dados do GAEMA (2022) o evento teve um público de aproximadamente 3.000 pessoas.

A UTFPR-CM foi uma das instituições parceira do evento e organizou um estande, sendo a compostagem uma das atividades expostas pela Universidade. Aos visitantes da feira foi explicado como tem sido realizada a compostagem de resíduos orgânicos no *campus*, aspectos técnicos-científicos e boas práticas que favorecem a produção do composto e seus

benefícios em termos ambientais, sociais e econômicos. Apresentou-se ainda como é possível fazer a compostagem doméstica, e por fim foi disponibilizado aos visitantes uma amostra do composto produzido na Universidade.

Em outubro de 2022 a experiência da compostagem também foi apresentada na *Empreendeweek*, junto ao estande do Curso de Engenharia Ambiental. O *Empreendeweek* é um evento de ciência, tecnologia, inovação, negócios e empreendedorismo, gratuito e aberto à comunidade, em 2022 teve sua quinta edição e a UTFPR foi uma das instituições organizadoras. Segundo dados dos organizadores, na 5ª edição, o evento teve um público de aproximadamente 15 mil visitantes, em média 5 mil pessoas por dia (EMPREENDEWEEK, 2022).

Na Figura 3 é apresentado uma imagem geral de um dos modelos de lixeira seletiva utilizada na UTFPR-CM (segregação em recicláveis e rejeitos), da composteira do *campus*, do composto produzido e preparado para distribuição nos eventos e de uma composteira doméstica, confeccionada a partir de material reciclável por alunos do Curso de Engenharia Ambiental vinculados ao projeto de extensão.

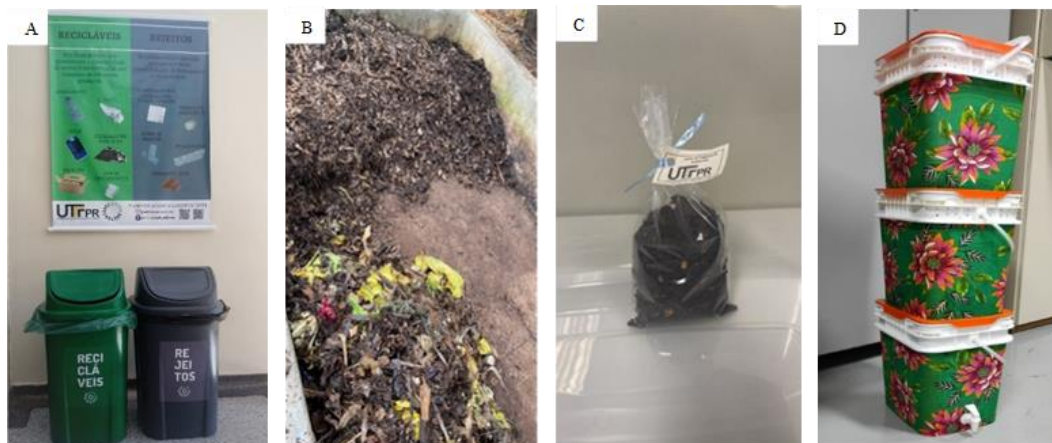


Figura 3 – Aspecto geral de um modelo de lixeira seletiva utilizada na UTFPR-CM (A), composteira do *campus* (B), adubo orgânico produzido na composteira e preparado para distribuição para comunidade (C) e composteira doméstica (D).

No mês de maio de 2023 o projeto de extensão recebeu no *campus* alunos do ensino fundamental e médio de colégios de Campo Mourão, e também foram realizadas atividades *in loco* em escolas da sede urbana do município (Figura 4). Na ocasião foram apresentados aspectos teóricos e práticos da segregação de resíduos sólidos em recicláveis, orgânicos e rejeitos. Os estudantes também tiveram oportunidade de visualizar as diferentes etapas do processo de compostagem, assim como a utilização prática do composto orgânico produzido.

A coleta seletiva e a composteira da UTFPR-CM caracterizam-se como laboratórios para os estudantes do *campus*, em especial para o Curso de Engenharia Ambiental. Tais práticas associadas às ações extensionistas impactam diretamente na formação dos estudantes da graduação em aspectos técnicos, que compreendem a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos, e humanística/cidadã, de responsabilidade socioambiental. Em relação à comunidade externa infere-se que o compartilhamento de conhecimento e experiências é um incentivo à adoção de práticas e hábitos mais sustentáveis e de disseminação de conhecimento técnico-científico. Sujeitos esclarecidos e sensibilizados se tornam multiplicadores e influenciadores nos diversos contextos de atuação, profissional, familiar, escolar, social, entre outros.



Figura 4 – Aspecto geral de visita de escola na UTFPR-CM (A); atividade de educação ambiental em escola do município de Campo Mourão-PR (B).

Considerações Finais

Embora a Política Nacional de Resíduos Sólidos tenha completado mais de dez anos, ainda é preciso avançar muito no Brasil em relação ao gerenciamento de resíduos, desde ações de não geração como também de medidas que promovam a valorização destes materiais, para que possam ter o seu ciclo de vida continuado, sendo o descarte seletivo uma condicionante para isso.

Contudo, para que práticas de sustentabilidade ambiental sejam implementadas e se tornem hábitos, a sociedade precisa estar informada e sensibilizada da importância, da necessidade e da responsabilidade de cada um, sendo a educação ambiental uma ferramenta fundamental nesse processo.

Nesse contexto, a experiência da UTFPR-CM com a coleta seletiva e a compostagem de resíduos orgânicos tem sido utilizada como base para a realização de diversas atividades de ensino, pesquisa e extensão. Na extensão, nos anos de 2021 a 2023 destacam-se o desenvolvimento de ações de educação ambiental junto às escolas do Município de Campo Mourão, utilizando como estratégias palestras, jogos de tabuleiro e oficinas com materiais recicláveis, entre outras; visita de estudantes na UTFPR-CM com objetivo de conhecer as práticas de sustentabilidade ambiental adotadas no *campus*; e a participação em eventos de significativa repercussão local, “Caminhos da produção orgânica” e “*Empreendeweek 2022*”, com objetivo de socializar experiências e promover a sensibilização socioambiental.

As atividades realizadas em ambiente escolar alcançaram de forma direta um público de aproximadamente 250 estudantes entre educação infantil, ensino fundamental e médio, e os eventos tiveram um público total em torno de 18 mil visitantes. Destaca-se a importância de se adequar as estratégias de educação ambiental aos diferentes públicos e contextos a serem atendidos, a considerar por exemplo a faixa etária e o tempo disponível para realização. Sendo imperante a interação dialógica entre a Universidade e a comunidade para que haja de fato troca de conhecimentos e experiências que contribuam para transformação social.

A realização dessas ações extensionistas caracterizam-se como uma forma de contribuição direta da Universidade junto à comunidade local; de ampliação das ações de educação ambiental no município; de promoção da extensão universitária e da curricularização da extensão; de envolvimento de alunos da graduação em atividades práticas que abordam temáticas atreladas ao Curso de Engenharia Ambiental; e de aproximação da comunidade com ações de ensino, pesquisa e extensão.

Para tanto, nos próximos anos o projeto tem previsto a ampliação do número de visitas de escolas no *campus* e também das atividades junto aos colégios do município de Campo Mourão.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Referências Bibliográficas

ABRELPE. 2022. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/>. Acesso em: 21 de dez. 2022.

ABRELPE. 2022. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. Disponível em: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Panorama-2020-V5-unicas%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Panorama-2020-V5-unicas%20(5).pdf). Acesso em: 24 de jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 agosto 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 26 jan.2022.

BRASIL. Decreto nº 5.940 de 25 de outubro de 2006. **Institui a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta, na fonte geradora, e a sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis, e dá outras providências**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/decreto/d5940.htm. Acesso em: 26 de jan. 2022.

BRASIL. Decreto nº 10.936 de 12 de janeiro de 2022. **Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D10936.htm. Acesso em: 26 de jan. 2022.

BRASIL. Decreto nº 11.043, de 12 de abril de 2022. **Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 abril 2022. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D11043.htm#anexo. Acesso em: 19 dez.2022.

EMPREENDEWEEK 2022. **Empreendeweek 2022**. Disponível em: <https://empreendeweek.com.br/>. Acesso em: 21 de dez. 2022.

GONÇALVES, M. S; CORNELI, V. M; SILVA, R. J; SOUZA, I. S; MACOME, M.C.Z; MENDES, A.J. 2020. Diagnóstico dos resíduos do restaurante universitário compostados na UTFPR câmpus Campo Mourão. **In:** 11º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. Porto Alegre, RS. 2020. Disponível em: <https://institutoventuri.org/ojs/index.php/FIRS/article/view/64>. Acesso em: 19 de dez. 2022.

GRUPO DE ATUAÇÃO ESPECIALIZADA EM MEIO AMBIENTE, HABITAÇÃO E URBANISMO – GAEMA. **Informativo nº 03/2022 GAEMA** – Campo Mourão. 2022.

KHIEL, E. J. 1985. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1985.

ONU. Nações Unidas no Brasil. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 25 jun.2023.

PEREIRA NETO, J. T. 2007. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. ed ver e aum. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007.

SEMA. Secretaria de Meio Ambiente e Bem-estar animal do Município de Campo Mourão – PR. Educação ambiental; Projeto Comunidade Sustentável Parceria: UTFPR. Disponível em: <https://www.instagram.com/p/CdyBdU7OScI/?igshid=YmM0MjE2YWMzOA==>. Acesso em 03 de julho de 2023.

QUINTAL URBANO: MEMÓRIA NEGRA E SUSTENTABILIDADE

¹ Márcia Aparecida de Souza, ² Henrique Cunha Júnior

¹ Universidade Federal do Ceará, e-mail: profmarciasouza2016@gmail.com; ² Universidade Federal da Bahia, e-mail: hcunha@ufc.br.

Palavras-chave: Quintal urbano; Educação ambiental; Memória negra.

Resumo

Nosso estudo, além de trabalhar com a memória de negros, conceito aplicado à especificidade da memória com relação a cultura negra, também trata de autobiografia e registro do cotidiano cultural, onde se inclui o pertencimento a natureza. Nesse contexto, tivemos como escopo principal analisar o quintal urbano como lugar de memória negra e de sustentabilidade, tendo como recorte espacial, o quintal de Dona Luiza Souza, natidadense, de 86 anos, esposa de Sr. Bernardo, de 94 anos. A produção dos quintais na roça e na cidade fazem parte das práticas cotidianas e da autobiografia da Dona Luiza. O quintal é parte da cultura de base africana, como também as receitas e usos diversos das plantas encontradas naquele espaço, perfazendo um acervo imaterial quanto aos conhecimentos desenvolvidos e registrados. Com base na pesquisa afrodescendente, utilizamos como instrumento de coleta de dados a História Oral e a Iconografia, tendo em vista a observação participante. O quintal urbano de Dona Luiza revela parte das formas de adaptação da população negra ao mundo urbano, considerando a realidade histórica do pós-abolição. Nesse processo adaptativo, marcado por memórias culturais, encontram-se os valores sociais de matriz africana como o pertencimento à natureza, onde se inclui a sustentabilidade. O quintal de Dona Luiza fornece alimentos e remédios, mas também nos fala de sociabilidade e lazer. Existe no trabalho com a terra uma fonte de satisfação pessoal, bem como uma ludicidade que é importante para saúde física e mental das pessoas.

Introdução

Considerando a formação das cidades, como processo material e imaterial, esse estudo apresenta um quintal urbano a fim de levar ao entendimento do que é esse espaço de vida e como se dá sua construção nos âmbitos da própria vida. Para ilustrar a discussão é relevante refletir sobre a memória e como essa contribui para a compreensão dos espaços dos quintais, que são cheios de significados e que auxiliam na construção da identidade (YADE, 2015), além de demarcarem cenários de estruturação de memórias e histórias de núcleos familiares. Silva (2022, p. 131), aponta que cosmovisões africanas são bases de sustentação para pesquisas e que seus principais preceitos são, “memória, oralidade, biografias, autobiografias e ancestralidade” que conectadas ao processo genealógico resultam na manutenção da memória. Memória essa que se estrutura:

a partir de sua origem familiar, e é repleta de símbolos que possibilitam a construção do tempo presente [...] Refazer os percursos da memória por meio de narrativas pode ser um dos caminhos para estabelecer no tempo presente os conectivos estruturais da própria história (YADE, 2015, p. 30).

Vamos tratar de uma memória que se exterioriza pelas vivências diárias, de pessoas que viveram na zona rural em uma casa com grande quintal, lugar que reporta à infância, às memórias referente aos aniversários, casamentos, batizados, bate-papo com vizinhos, crescimento dos filhos entre muitas outras lembranças, o que demonstra a relevância dos quintais, que pela riqueza de conhecimentos e saberes são considerados patrimônios culturais, pois têm uma história de produção, conservação, identidade, cultura e memória (CUNHA JÚNIOR, 2019). Ressalta-se que patrimônio cultural muitas vezes é entendido como um bem edificado ou materializado relacionado à ideia de preservação “mas essas ideias foram ampliadas e formataram uma proposta onde o conceito de patrimônio cultural está fundamentado na referência de processos culturais” (CUNHA JÚNIOR, 2012, p. 163).

Patrimônio conota o entendimento de herança, saberes e práticas transmitidas de uma geração para outra, também exprime compartilhamento de bens culturais ancestrais. E todas essas características são encontradas em diversos quintais que seguem ou preservam tradições culturais de famílias ou de grupos culturais.

Um trabalho que ilustra a importância do patrimônio botânico encontrado em quintais foi desenvolvido no quilombo de Horizonte e demonstrou que esses espaços precisam ser considerados, visto a construção de saberes transmitidos de geração em geração. Inclusive os autores apontam que no referido quilombo as plantas do quintal são uma farmácia viva, uma eficaz alternativa na solução de diversos males (SANTOS; CUNHA JÚNIOR, 2019).

Nosso estudo, além de trabalhar com a memória de negros, conceito aplicado à especificidade da memória com relação a cultura negra, também trata de autobiografia e registro do cotidiano cultura, onde se inclui o pertencimento a natureza. Nesse contexto, tivemos como escopo principal analisar o quintal urbano como lugar de memória negra e de sustentabilidade, tendo como recorte espacial, o quintal de Dona Luiza Souza, natidadense, de 86 anos, esposa de Sr. Bernardo, de 94 anos. A produção dos quintais na roça e na cidade fazem parte das práticas cotidianas e da autobiografia da Dona Luiza. O quintal é parte da cultura de base africana, como também as receitas e usos diversos das plantas encontradas naquele espaço, perfazendo um acervo imaterial quanto aos conhecimentos desenvolvidos e registrados.

A família Souza é um destaque dentro da comunidade negra local natividadense. O seu modo de vida e os seus conhecimentos mostraram a necessidade de registrar o patrimônio imaterial e o exemplo de Educação Ambiental que é o famoso quintal da Dona Luiza, do qual ela retira as ervas para o preparo de suas tão procuradas receitas medicinais. Os xaropes que ela prepara são disputados na comunidade local e também são enviados para Estados vizinhos. A referida senhora é oriunda da Fazenda Santa Rosa, localizada no município de Natividade, na qual viveu 62 anos antes de se mudar para a cidade. Ela detém grande conhecimento sobre o cultivo e o uso das ervas medicinais, bem como de plantas alimentícias e ornamentais.

Parte dos conhecimentos de Dona Luiza foi adquirida através do aprendizado com a mãe e outra parte devido às décadas “lidando” com a terra. Ela pode vivenciar épocas, nas quais a tecnologia ainda não era tão desenvolvida, principalmente na parte rural da cidade e era difícil e raro o acesso a médicos. Atualmente vivenciamos um período de amplo desenvolvimento tecnológico, portanto Dona Luiza pode com propriedade confrontar vivências passadas com o que vive no presente, em relação à diversas temáticas.

Para localizar o leitor faz-se necessário uma breve apresentação do município de Natividade, que faz limite com os municípios de Porciúncula, Itaperuna, Varre-Sai e Bom Jesus do Itabapoana. O pequeno município, possui cerca de 15.092 mil habitantes e localiza-se no Vale do Rio Carangola, que é afluente do Rio Paraíba, na região noroeste Fluminense, uma área montanhosa de clima temperado. A origem do seu espaço urbano nos remete ao século XIX. O município se desenvolveu às margens do Rio Carangola e foi uma região de grande e próspera produção agrícola e de economia ativa devido o cultivo de algodão, arroz, cana-de-açúcar e principalmente do café. As lavouras na região entraram em declínio em meados do século XX. Atualmente, o município possui uma população urbana de cerca de 70%, situação muito diferente do que ocorreu no século XIX, no qual a maioria dos natividadenses moravam nas roças, principalmente nas fazendas.

Em relação ao atual contexto socioeconômico, observa-se que as atividades econômicas do município baseiam-se na pecuária, no comércio e nos serviços dependentes do setor público. A dinâmica da produção econômica está bastante reduzida considerando as grandes produções agrícolas do século XIX. A produção agrícola era tão intensa que a ferrovia foi implantada em 1886 para dar escoamento aos produtos, principalmente o café. Com o declínio da produção, a ferrovia encerrou suas atividades na década de 1970.

O município, que começou a se desenvolver entre os anos de 1821 a 1831, viveu anos áureos devido à utilização da mão de obra negra escravizada. Por volta de 1896, os italianos começam a chegar na região, no intuito de substituir os trabalhadores negros, que assim, foram dispensados dos afazeres que praticavam com excelência enquanto escravizados, e precisaram adentrar a cidade em busca de trabalho o que acarretou uma grande porcentagem de habitantes na parte urbana do município, morando em precárias condições e em áreas de risco.

O crescente movimento migratório para a área urbana da cidade, não ocorreu de imediato ao pós-abolição, e sim vem ocorrendo ao longo dos anos. Muitas pessoas viveram a maior parte de sua vida na zona rural e só mais velhos é que se mudaram para a área urbana, recriando seu espaço rural em seu espaço urbano através de seus quintais como acontece com a Família Souza, protagonista desse estudo. O Quintal de Dona Luiza é marcado por memórias culturais e valores sociais de matriz africana como o pertencimento à natureza, onde se inclui a sustentabilidade. O quintal fornece alimentos e remédios, mas também nos fala de sociabilidade e lazer. Existe no trabalho com a terra uma fonte de satisfação pessoal, bem como uma ludicidade que é importante para saúde física e mental das pessoas.

Material e métodos

Esta pesquisa decorre de uma das inquietações e desdobramentos do nosso trabalho de tese, ainda em desenvolvimento, relacionado à População negra de Natividade-RJ, no pós-abolição. Investigamos trajetórias de vida de mulheres que se destacaram por serem educadoras negras, formais ou informais, pioneiras na cidade e que possuem incursões nos bairros negros do município em questão. Para o desenvolvimento da pesquisa utilizamos-nos da metodologia da afrodescendência, que parte do conhecimento, envolvimento e vivências do pesquisador como pressuposto da referida metodologia. Cunha Júnior (2018, p.399) a define como “uma dialética entre ação-pesquisa-ação, tendo como ponto de partida o campo, o conhecimento sobre o campo, para então buscar sistematizar teoricamente o conhecimento, como consequência e não como fonte”, ou seja, importa a vivência anterior do pesquisador que trará importantes elementos a ela.

A afrodescendência é uma metodologia que prima pelo respeito ao conhecimento do outro, visto que vivências do próprio pesquisador se assemelha ao conhecimento do pesquisado; de forma que se veem horizontalmente, não como se tivesse dando voz aos que vêm de baixo (CUNHA JÚNIOR, 2018). A pesquisa da afrodescendência é uma abordagem metodológica do campo da pesquisa empírica elaborada para estudiosos que apresentam prévio envolvimento com a temática da pesquisa, aqueles que enxergam de dentro as inquietações relacionadas ao estudo, que têm um conhecimento anterior do tema através de convivência e não devido a leituras sobre o assunto, tendo em vista que o cotidiano processa naturalmente o conhecimento que ainda não foi exposto, como é o caso de um dos autores do texto, que pela relação de proximidade com Dona Luiza, há anos observa e vivencia sua “lida no quintal”.

Fundamentados na pesquisa afrodescendente, utilizamos como instrumento de coleta de dados a História Oral e a Iconografia. A História Oral é necessária à intenção de ouvir aqueles excluídos das narrativas oficiais. Nesse tipo de abordagem a escolha das fontes orais é determinante para o sucesso do estudo e nesse caso, o fato da pesquisadora possuir uma vivência com a protagonista tornou-se outro facilitador da pesquisa. Por sua vez, a iconografia, por meio do uso de imagens e fotografias, é relevante como fonte e possibilidades construtivas que segundo Buker (2005) podem ser consideradas extensões dos contextos sociais em que foram produzidas.

A coleta de dados foi realizada no quintal de Dona Luiza Souza, mulher negra de 86 anos que, mesmo sem escolarização formal, eventualmente ministra palestras em Institutos Federais de Ensino tanto quanto recebe visitantes de toda a região e até mesmo de outros Estados do país, que desejam conhecer as plantas medicinais cultivadas por ela em seu próprio quintal e as receitas de chás e xaropes que faz a partir delas e ouvir seus ensinamentos. Também, essa fonte traz relevantes dados sobre elementos da cultura negra, pois preserva aspectos tradicionais dos povos africanos que têm íntima relação com a educação ambiental, como a sustentabilidade ambiental através da preservação do meio ambiente, considerando nesse processo a manutenção das espécies, garantindo que as futuras gerações tenham acesso aos conhecimentos e não sejam prejudicadas pelo uso indiscriminado dos recursos naturais que podem levar à extinção de diversas espécies.

As entrevistas realizadas com Dona Luiza foram gravadas em áudio e vídeo e transcritas para embasar o trabalho. Também foram anotadas muitas informações colhidas durante conversas informais e através de observações durante as vivências e visitas ao quintal. Vivenciou-se experiências, realizou-se acompanhamento das atividades cotidianas no quintal por meio de uma observação participante. Foram registradas todas as plantas cultivadas no quintal, os processos de cultivo e informações sobre a utilização de cada espécime. Posteriormente, essas plantas foram divididas em categorias referente aos seus usos. Obtivemos um total de 108 espécimes que foram classificadas pela utilidade e divididas em categorias, a saber ornamentais, frutíferas, alimentícias e medicinais. Para esse estudo, atermo-nos apenas às categorias alimentícias.

Resultados e Discussão

Em seus relatos Dona Luiza recorda que desde criança já vivia em uma casa com quintal ao redor, uma área aproveitada para plantação e cultivo de horta e de diversas frutas, cuja produção contribuía para o sustento da família e para que sobrevivessem quase sem dependência de produtos externos. Do quintal, a família colhia frutas, verduras e legumes que além de serem rica fonte de nutrientes era a forma como muitas famílias conseguiam criar os filhos. Quando casou-se com o Sr. Bernardo, Dona Luiza continuou vivendo na mesma fazenda em que sua mãe morava, e onde residiu por 62 anos, tendo o seu próprio quintal, onde executava os conhecimentos aprendidos com sua mãe.

As trajetórias de vida da família, suas lembranças e histórias são indissociáveis visto que foram espaços representativos, locais nos quais se exteriorizam sentimentos e crenças. Dessa forma o quintal se relaciona diretamente com a vida da Família Souza, tanto que quando os filhos do casal (D. Luiza e Sr. Bernardo tiveram 12 filhos) resolveram que seria mais adequado, devido a idade mais avançada, que os pais se mudassem para área urbana da cidade de Natividade, uma das primeiras preocupações foi pensar no espaço de moradia. Era preciso uma área suficiente para a construção da casa e para o quintal, sem o qual a vida da matriarca da família não seria a mesma, pois, possivelmente ela não se adaptaria a vida da cidade.

Essa percepção dos filhos se confirmou pois o casal Luiza e Bernardo mesmo após terem fixado residência na casa da cidade ainda continuaram por 5 anos indo à casa da roça cuidar das plantações e criações do quintal. O processo de transporte cultural entre a roça e a cidade foi lento e minucioso.

O cultivo das plantas que compõem o quintal da residência urbana começou a ser organizado bem antes da data da mudança definitiva. A anfitriã da família Souza preparou mudas de todas as plantas da casa da roça para serem transportadas para o quintal de sua nova casa. Também à medida que a casa era construída, mudas de árvores frutíferas eram plantadas e quando se mudaram o quintal já estava abastecido com uma variedade de plantas medicinais, canteiros com verduras, temperos e muitos vasos com plantas ornamentais. O novo quintal foi conduzido e manuseado por saberes e memórias sobre modos de plantar e cuidar que Dona Luiza herdou e aperfeiçoou.

Ela retomou no quintal da nova casa, um quintal urbano, as antigas práticas que realizava no quintal na zona rural. Realizou uma reorganização social que de acordo com Pasa (2004, p. 154) ocorre “quando a pessoa não abandona o seu modo tradicional de vida, porém, tenta conciliar o seu modo de vida às condições presentes”. Também Amaral e Guarim Neto (2008), entende que as pessoas que se habituam a plantar e cultivar dificilmente abandonam tal atividade, mesmo quando precisam migrar para a área urbana; visto ser grande sua prática, que normalmente inicia cedo, a maioria desde quando crianças, acompanham os pais na realização das plantações e cuidados com as mesmas.

A retomada de Dona Luiza teve resultado e repercussão positiva quanto a valorização da cultura, fortalecimento dos vínculos com a nova vizinhança e manutenção dos mesmos hábitos. Houve uma transposição da cultura e principalmente grande contribuição para a sustentabilidade, visto que as mesmas espécies continuaram sendo usadas, assegurando que as novas gerações tenham acesso a esse patrimônio cultural que é o quintal urbano.

Assim como na roça, o quintal urbano continuou a ser um local de intenso convívio social e também de estreitamento de laços familiares e de amizade através dos encontros e reencontros aos finais de semana, das comemorações de aniversário e casamentos entre outros festejos que a família faz questão de preservar (SOUZA; CUNHA JUNIOR, 2019), além da circulação de pessoas à procura dos medicamentos caseiros ou de mudas de plantas medicinais, alimentícias e ornamentais.

A protagonista continua como antes, com seu íntimo e diário contato com a terra, concentrada no preparo das receitas e cuidados com o quintal, atividades que são consideradas por ela como terapêuticas. Ao observar as plantas é notório o conhecimento envolvido, visto que as áreas diferenciam-se quanto ao espaço dos canteiros, das frutas e das ervas medicinais.

Durante a pesquisa, foram coletados os nomes das plantas e ervas presentes no quintal urbano de Dona Luiza, além da identificação das finalidades de uso das espécies e investigação sobre como a moradora aprendeu a técnica de cuidar do quintal. Na sequência as espécies foram classificadas pela utilidade e divididas em categorias, a saber ornamentais, frutíferas,

alimentícias e medicinais. Para esse estudo, atermo-nos apenas à categoria alimentícia. O levantamento das plantas demonstra a importância dos quintais para a família, comunidade e região e a promoção da sustentabilidade. Obtivemos um total de 23 plantas frutíferas, apresentadas na tabela a seguir (Ver Tabela 1), que foi adaptada para esse texto, a partir da pesquisa desenvolvida pelos autores em 2020 (SOUZA; CUNHA JÚNIOR, 2020)

	Espécies	Utilidade	Parte Utilizada	Para quais usos	Produto final
01	Abacate	Comest./Medic.	Fruto- Folha	Alimento Rins	In natura-Chá
02	Abacaxi	Comest./Medic.	Fruto- Casca	Alimento Rins	In natura - Chá
03	Acerola	Comestível	Fruto	Alimento Vitamina	In natura - Suco
04	Amora	Comest.-medic.	Fruto- Folhas	Alimento Menopausa	In natura - Chá
05	Banana	Comestível	Fruto	Alimento	In natura - Doce
06	Banana São Tomé	Comest.-medic.	Fruto/Umbigo	Alimento Hemorróida	In natura - Preparo especial
07	Carambola	Comestível	Fruto	Alimento	In natura - Doce, suco
08	Cajá-manga	Comestível	Fruto	Alimento	In natura - Doce, suco
09	Coco	Comest./Medic.	Fruto/Água de coco	Alimento Coqueluche/ Diarréia	In natura - Doce
10	Goiaba	Comest.-medic.	Fruto- Folhas	Alimento Diarréia	In natura - Chá
11	Graviola	Comest./Medic.	Fruto-Folha	Alimento Diabetes	In natura - Chá
12	Jabuticaba	Comestível	Fruto	Alimento	In natura - Licor, vinho, geleia
13	Laranja	Comest./Medic.	Fruto- Folhas	Alimento Resfriado	In natura - Chá
14	Laranja Lima	Comest./Medic.	Fruto- Folhas	Alimento Pressão	In natura - Chá
15	Laranja campista	Comest.-medic.	Fruto/folha	Alimento Tétano	In natura - Preparo especial
16	Lima	Comest./Medic.	Fruto	Alimento Pressão	Chá
17	Limão	Comest./Medic.	Fruto-Gotas	Alimento Emagrecer	In natura - Limonada
18	Mamão	Comest.-medic.	Fruto-Flores	Alimento Diabetes	Comp. Xarope
19	Mexericica	Comest./Medic.	Fruto-Folhas	Alimento Gripe	In natura - Comp. Xarope
20	Noni	Comest.-Medic.	Fruto	Alimento Imunidade baixa-Anemia	In natura - Suco
21	Pinha	Comest./Medic.	Fruto-Folhas	Alimento Rins	In natura - Chá
22	Romã	Comest./Medic.	Fruto- Casca	Alimento Gastrite- Garganta	In natura - Xarope- Gargarejo
23	Uva	Comestível	Fruto	Alimento	In natura - Suco

Tabela 1: Frutas do quintal da Dona Luiza. Fonte: Adaptado pelos autores, 2023.

Entre as 23 espécies frutíferas encontradas no quintal, a maioria são utilizadas para consumo diário para complementar a dieta alimentar. Entre essas, as partes mais consumidas são os frutos, que normalmente são ingeridos in natura. Mas também são utilizadas para o preparo de chás, doces, compotas e sucos, além de geleias, vinho e licor, como é o caso da jabuticaba (ver Figura 1). Ainda conforme a tabela acima, também é significativa a utilização de parte de certas espécies frutíferas no preparo de receitas medicinais, ou seja, apresentam dupla utilização.



Figura 1: **Dona Luiza colhendo jabuticabas.** Fonte: Acervo dos autores, 2023.

Segundo Pasa (2004, p. 85) a produção frutífera dos quintais “fornecem boa parte das necessidades calóricas à dieta dos moradores locais”. Cultrera (2008, p.75) destaca a importância das árvores frutíferas nos quintais, devido às “enormes copas, que são mantidas tanto pelas frutas que produzem, como também pelo conforto térmico que oferecem pela sua sombra”. Na tabela 2 vemos outra parte das plantas comestíveis encontradas no quintal de Dona Luiza, também adaptada a partir do trabalho que desenvolvemos em 2020 (SOUZA; CUNHA JUNIOR, 2020).

	Espécies	Utilidade	Parte Utilizada	Para quais usos	Produto final
01	Abóbora	Comest./Medic.	Fruto-Broto-Flor	Alimento Dor de ouvido	Alimento/ Refogada
02	Alfavaca	Comestível	Folhas	Tempero Gripe	Tempero/ Comp xarope
03	Araruta	Comest./Medic.	Raiz	Alimento Diarréia	Mingaus-Polvilho
04	Batata doce	Comestível	Raiz/Folha	Alimento	Doce- Refogada
05	Cana-de-açúcar	Comestível	Caule	Alimento	In Natura
06	Cebolinha	Comestível	Folhas	Alimento	Tempero
07	Couve	Comestível	Folhas	Alimento	Refogado
	Couve roxa	Comestível	Folhas e talos	Alimento Úlcera Gastrite	Refogada Suco
08	Hortelã-pimenta	Comestível	Folhas	Alimento	Tempero
09	Jurubeba	Comestível	Fruto	Alimento	Refogado Conserva
10	Mandioca	Comest./Medic.	Raiz	Alimento Furúnculo	Bolo, Farinha, refogada; Emprasto
11	Manjeriçõ	Comestível	Folhas	Alimento	Tempero
12	Maxixe	Comestível	Fruto	Alimento	Refogado e salada
13	Quiabo	Comestível	Fruto- Folhas novas	Alimento	Refogados
14	Salsa	Comest./Medic.	Folhas-Raiz	Alimento Infecções uterinas	Tempero Chá
15	Serralha	Comest./Medic.	Folhas	Alimento Mancha pele	Sumo

Tabela 2: **Plantas comestíveis do quintal da Dona Luiza.** Fonte: Adaptada pelos autores, 2023.

Dona Luiza afirma que as verduras, os caules, temperos, raízes e ramas encontrados em seu quintal são importantes fontes de alimento. E ela tem a tranquilidade de poder optar sobre qual consumir, não precisa recorrer aos supermercados para manter uma alimentação rica e equilibrada todos os dias. Também não recorre com frequência à padaria pois substitui pão por receitas utilizando produtos do quintal, por exemplo, a família consome alimentos naturais como batata doce e mandioca, melado e café, cana-de-açúcar no desjejum e café da tarde.

Ela mesma prepara a farinha de mandioca para a dieta da família. Arranca a raiz de mandioca (ver Figura 2), descasca, lava, pica, rala em um ralo de alumínio, coloca a massa obtida em um tecido apropriado e espreme. A parte que fica dentro do tecido, depois de torcido, ela coloca em uma peneira para secar e depois em outro dia leva ao fogo, uma fornalha no quintal, para torrar (Ver Figura 3). Depois de torrada, quando a farinha está pronta ela coloca em uma grande bacia para esfriar (Ver Figura 4), na sequência, coloca em vidros grandes para utilização pela sua grande família.



Figura 2: **Dona Luiza arrancando mandioca.** Fonte: Acervo dos autores, 2020.



Figura 3: **Dona Luiza torrando a farinha de mandioca.** Fonte: Acervo dos autores, 2023.



Figura 4: **Dona Luiza mostrando a farinha de mandioca pronta.** Fonte: Acervo dos autores, 2020.

Além da economia, cuidam da saúde evitando o excesso de consumo de açúcares, gorduras e produtos industrializados. Devido ao fácil acesso, qualidade e quantidade dos produtos encontrados no quintal, a dieta da família sempre foi equilibrada, o que certamente contribuiu para que D. Luiza, atualmente com 86 anos e Sr. Bernardo com 94 anos não tenham problemas de saúde, eles desconhecem gastrite, diabetes, hipertensão, obesidade entre outros males decorrentes principalmente, de inadequado consumo de determinados alimentos. Conforme discute Angelis (2003), que afirma que há recomendações por parte das evidências epidemiológicas para que as pessoas aumentem o consumo de verduras e frutas como forma de prevenir e reduzir riscos de doenças degenerativas. Também Anjo, (2004) discute que o hábito de consumir frutas e verduras resultam em uma redução do risco de doenças coronarianas e de câncer. Ainda nessa mesma direção, Barros *et al.*, (2011) advertem que o consumo de produtos industrializados concorrem para desencadear riscos à saúde.

Entende-se que o quintal estudado é um patrimônio cultural, um exemplo de educação ambiental que precisa ser conhecido e divulgado para servir de estímulo a outras pessoas que cultivam e/ou possam vir a cultivar em seus quintais, também para que esse legado não se perca com a renovação das gerações.

Considerações Finais

As cidades são produzidas por um número imenso de fatores e de formas que possuem na sua cristalização íntima ligação com o ambiente. As populações negras na mudança entre a vida rural e a cidade conservaram conhecimentos diversos, parte da africanidade e afrodescendência que se transformam nas realidades brasileiras e que compõem um amplo repertório cultural, nos quais essas populações participam na formação da cidade. Os quintais são formas específicas de cultura e os seus usos, formas e funções são diversas. Nesse artigo foi apresentado o quintal da família Souza, que é uma recriação do quintal da vida rural e contém conhecimentos botânicos importantes da cultura afrodescendente. Traduz-se em uma Educação Ambiental que é passada de geração a geração e contém grande valor histórico e social na formação da identidade da família e das pessoas que convivem com ela. A pesquisa realizada em torno desse quintal revela o amplo conhecimento de D. Luiza sobre as plantas, tanto no sentido do plantio como do cultivo e também das propriedades culinárias e medicinais. Revela formação pela tradição e pela experiência de uma especialista em Educação Ambiental. Trata-se do registro de uma das formas de Educação Ambiental da população negra na cidade de Natividade, interior do estado do Rio de Janeiro.

Referências

AMARAL, Cleomara Nunes do; GUARIM NETO, Germano. Os quintais como espaços de conservação e cultivo de alimentos: um estudo na cidade de Rosário Oeste (Mato Grosso, Brasil). **Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi Cienc. Hum.**, Belém, v. 3, n. 3, p. 329-341, dez. 2008. Disponível em <http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-81222008000300004&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 04 jun. 2023.

ANGELIS, Rebeca. Carlota de. **Riscos e prevenção da obesidade: fundamentos fisiológicos e nutricionais para tratamento.** São Paulo: Atheneu, 2003.

ANJO, Douglas Faria Corrêa. Alimentos funcionais em angiologia e cirurgia vascular. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 3, n. 2, p. 145- 154, 2004.

BARROS, Marilisa Berti Azevedo *et al.* Tendências das desigualdades sociais e demográficas na prevalência de doenças crônicas no Brasil, PNAD: 2003- 2008. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.16, n.9, p.3755-3768, 2011.

BUKER, Peter. **O que é história cultural?** Rio de Janeiro: Jorge ZAHAR, 2005.

CULTRERA, Mirella. **Estudo etnobotânico de plantas alimentares cultivadas por moradores da periferia de Santo Antonio de Leverger, MT.** 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista-Botucatu, 2008.

CUNHA JÚNIOR, Henrique. Metodologia da Afrodescendência: uma discussão para finalizar as leituras. In: **Ações afirmativas da população negra: o contexto da educação brasileira.** BIÉ, Estanislau Ferreira; CUNHA JÚNIOR, Henrique; SILVA, Maria Saraiva (Orgs). Fazer Educativo, n.15. INESP: Fortaleza, 2018.

CUNHA JUNIOR, Henrique. A espacialidade urbana das populações negras: conceitos para o patrimônio cultural. In: **Afro patrimônio cultural.** SANTOS, Marlene Pereira dos; CUNHA JUNIOR, Henrique (Orgs.). Fortaleza-CE: Editora Via Dourada, 2019. p. 49-100.

CUNHA JUNIOR, Henrique. Quilombo: patrimônio histórico e cultural. **Revista Espaço Acadêmico**, n. 129, 2012.

PASA, Maria Corette. **Etnobiologia de uma comunidade ribeirinha no alto da bacia do rio Aricá-Açú, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil,** 2004. 174 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlo-SP, 2004.

SANTOS, Marlene Pereira; CUNHA JUNIOR, Henrique. A farmácia em casa: ancestralidade e conhecimento em botânica em Horizonte. In: **Afro patrimônio cultural.** SANTOS, Marlene Pereira dos; CUNHA JUNIOR, Henrique (Orgs.). Fortaleza-CE: Editora Via Dourada, 2019. p. 169-187.

SOUZA, Luiza Maria de; SOUZA, Márcia Aparecida de; CUNHA JUNIOR, Henrique. Quintal de Dona Luiza Souza como parte da inserção da população negra na cidade. **Revista ABPN**, v. 12, p. 238-259, 2020.

SOUZA, Márcia Aparecida de; CUNHA JUNIOR, Henrique. Festa de família negra tradicional do interior do Rio de Janeiro: memória, história e patrimônio cultural da população negra. In: **Afro patrimônio cultural.** SANTOS, Marlene Pereira dos e CUNHA JÚNIOR Henrique. Fortaleza, CE: Editora Via Dourada, 2019. p. 233-265.

YADE, Juliana de Souza Mavoungou. **Vozes e territorialidades no pós-abolição: histórias de famílias e resistência identitária-** O caso do Cururuquara. 2015. 252 f. Tese (Doutorado em Educação)- Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-graduação em Educação Brasileira, Fortaleza (CE), 2015.

SILVA, Maria do Socorro Pimentel da. **Territorialidades negras e parentesco:** uma realidade afrorreferenciada em Alagoa Grande-PB.2022. 213 f. Tese (Doutorado em Educação)- Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-graduação em Educação Brasileira, Fortaleza (CE), 2022.

ANÁLISE DE VIABILIDADE DISCIPLINAR NAS UNIVERSIDADES VOLTADA À SUSTENTABILIDADE E PRÁTICAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

¹José Armando de Caldas Dos Santos, ²Cicero Joelson Vieira Silva

¹Instituto Federal da Paraíba-IFPB, e-mail: armandocaldas6@gmail.com; ²Instituto Federal da Paraíba-IFPB, e-mail: cjoelson@ymail.com

Palavras-chave: Sustentabilidade; Instituição de ensino; Matrizes curriculares

Resumo

A crescente conscientização sobre o impacto ambiental da infraestrutura impulsionou a demanda por engenheiros civis capazes de projetar e construir estruturas sustentáveis. Nesse contexto, a inclusão de disciplinas de sustentabilidade nos programas de educação em engenharia civil tornou-se essencial. Este artigo analisa a importância dessas disciplinas, destacando os benefícios para os estudantes e a indústria da construção civil. A pesquisa realizada é de natureza qualitativa, com o objetivo de compreender de forma aprofundada os fenômenos relacionados à sustentabilidade na construção civil. A abordagem é descritiva e indutiva, buscando explorar esses fenômenos de maneira subjetiva e compreender as explicações por trás deles, considerando nuances não quantificáveis. O estudo tem caráter básico, visando gerar conhecimento científico sem aplicação prática imediata, e é fundamentado em revisão bibliográfica. Foram utilizadas diversas plataformas, como SCIELO, Portal da Capes e repositórios de universidades, para obter uma variedade de perspectivas sobre sustentabilidade na construção civil. Exemplos relevantes, atualizados e de autores renomados foram selecionados. O percurso metodológico incluiu a elaboração de fichamentos para organizar as informações encontradas, a análise das ementas e matrizes curriculares de instituições de ensino na Paraíba que oferecem o curso de Engenharia Civil. A pesquisa permitiu uma compreensão abrangente sobre a abordagem da sustentabilidade nessas instituições, identificando as disciplinas relacionadas e sua relevância para uma formação alinhada com os princípios de sustentabilidade e responsabilidade ambiental. No entanto, apesar da importância indiscutível, 56% das instituições de engenharia civil estudadas não oferecem disciplinas de sustentabilidade em suas matrizes curriculares. Isso pode limitar as oportunidades educacionais dos alunos, produzir graduados menos qualificados para atuar nessa área e prejudicar a reputação da instituição. Para enfrentar esse desafio, é fundamental que as instituições de ensino revisem suas matrizes curriculares e incluam disciplinas de sustentabilidade. A conscientização sobre a importância da sustentabilidade e a adaptação das matrizes curriculares são passos cruciais para fortalecer a formação dos estudantes e promover uma indústria da construção civil mais sustentável e responsável.

Introdução

O mercado da construção civil é reconhecido como um setor vital para o desenvolvimento econômico e social de um país. Esse mercado abrange uma ampla gama de atividades relacionadas à construção, incluindo infraestrutura, edificações residenciais e comerciais, obras públicas, entre outras. Ao longo dos anos, o mercado da construção civil tem sido impactado por transformações significativas, influenciadas por fatores econômicos, sociais e tecnológicos (JOHNSON *et al.*, 2021).

Segundo Tucker (2018), esse mercado é importante para muitos países, pois é um dos maiores empregadores, proporcionando trabalho direto e indireto para uma vasta cadeia de profissionais e setores. No entanto, apesar da sua importância, a construção civil também enfrenta desafios significativos. Para Smith *et al.* (2021), os altos custos, prazos atrasados e problemas de qualidade destacados no projeto de construção podem ser atribuídos a uma série de fatores, como falta de planejamento adequado, falta de coordenação entre os envolvidos no projeto e a natureza complexa das atividades de construção.

A construção civil é uma das indústrias que mais impacta o meio ambiente, pois é responsável por grandes consumos de energia e recursos naturais, além da geração de resíduos sólidos e emissão de gases poluentes. De acordo com a Organização das Nações Unidas – ONU (2016), a construção é responsável por 39% das emissões globais de dióxido de carbono, portanto é essencial adotar medidas para mitigar seu impacto negativo, para isso a sustentabilidade tem se tornado um tema central no mercado da construção civil.

A construção sustentável é uma abordagem que visa reduzir o impacto ambiental e aumentar a eficiência energética na construção e operação de edifícios, impulsionando a adoção de práticas e materiais mais sustentáveis, como o uso de energias renováveis, materiais reciclados e a minimização do desperdício de recursos. O objetivo é criar espaços construídos que sejam ambientalmente responsáveis, economicamente viáveis e socialmente benéficos, considerando também a saúde e o bem-estar dos ocupantes dos edifícios (LEE *et al.*, 2021).

De acordo com Silva *et al.* (2021), para atender às demandas do mercado e enfrentar os problemas ambientais relacionados à construção civil, é essencial contar com profissionais capacitados e qualificados, com conhecimento sólido em práticas e técnicas de construção sustentável, eficiência energética, gestão de resíduos, materiais sustentáveis e

certificações ambientais. É fundamental que eles estejam atualizados com as últimas tendências e inovações no setor, a fim de aplicar soluções sustentáveis e minimizar o impacto ambiental das construções, desempenhando um papel importante na conscientização e na promoção de uma cultura de construção sustentável.

Com o crescimento do setor, há uma crescente demanda por engenheiros civis em todo o mundo, esses profissionais desempenham um papel fundamental em diversas etapas do processo de construção, desde a concepção do projeto até a supervisão da obra. De acordo com um relatório da consultoria McKinsey (2017), a demanda por engenheiros civis deve aumentar cerca de 70% até 2025.

No Brasil, a demanda por engenheiros civis também é alta, impulsionada por grandes projetos de infraestrutura, como obras de transporte, energia e saneamento básico. De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia Civil – ABENC (2021), a demanda por engenheiros civis deve crescer cerca de 6,5% ao ano até 2025. Além disso, a busca por soluções sustentáveis na construção civil tem levado a uma demanda crescente por engenheiros civis com conhecimentos em tal área.

O aumento da demanda por engenheiros civis, tem levado ao crescimento dos cursos de engenharia civil em todo o mundo. Segundo o relatório "Engineering by the Numbers" da American Society for Engineering Education – ASEE (2020), o número de alunos matriculados em cursos de engenharia civil nos Estados Unidos aumentou cerca de 7,3% em 2019.

De acordo com o Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira – INEP (2021), no Brasil, o número de cursos de engenharia civil registrados no país cresceu de 668 em 2009 para 887 em 2019. Além disso, o número de matrículas em cursos de engenharia civil também tem aumentado nos últimos anos, passando de cerca de 155 mil em 2009 para 282 mil em 2019. Segundo a Revista Construção (2021), a busca por soluções sustentáveis na construção civil tem impulsionado o surgimento de cursos de engenharia civil com ênfase em eficiência energética, materiais sustentáveis e construções verdes. A revista ressalta que a formação em engenharia civil precisa acompanhar as mudanças na sociedade e no mercado, uma vez que a demanda por profissionais com habilidades em sustentabilidade tem crescido significativamente.

A falta de disciplinas de sustentabilidade nos cursos de engenharia civil pode ser um dos fatores que contribuem para a perpetuação dos problemas ambientais na construção civil. Muitos cursos ainda enfatizam o uso de técnicas e materiais tradicionais, sem levar em consideração as questões ambientais e sociais relacionadas à construção de edifícios (SANTOS, 2022). Com base nas análises de um estudo realizado por Costa *et al.* (2016), apenas 21% dos cursos de engenharia civil brasileiros apresentam disciplinas específicas de sustentabilidade em sua grade curricular. Além disso, a maioria dos cursos ainda não possui uma abordagem interdisciplinar em suas disciplinas, o que dificulta a integração dos aspectos ambientais, sociais e econômicos na formação dos futuros profissionais.

A ausência de abordagem sobre questões ambientais na formação dos engenheiros civis pode dificultar a adoção de práticas sustentáveis na construção civil, uma vez que esses profissionais são responsáveis pela concepção e execução dos projetos. É importante que as instituições de ensino promovam a inclusão de disciplinas específicas de sustentabilidade e uma abordagem interdisciplinar em suas grades curriculares, para que os futuros engenheiros possam ter uma formação mais completa e integrada (GARCIA *et al.*, 2023).

Destarte, a pesquisa tem o objetivo de analisar as matrizes curriculares das instituições de ensino do estado da Paraíba que oferecem cursos de Bacharelado em Engenharia Civil, com o intuito de identificar a abordagem dada às questões ambientais e à sustentabilidade.

Fundamentação teórica

Permeando diversos setores da sociedade, a sustentabilidade tem se tornado uma preocupação cada vez mais presente na atualidade, incluindo as instituições de ensino. A sustentabilidade deixou de ser um tema restrito a movimentos ambientalistas e ganhou espaço nas agendas políticas, empresariais e educacionais, em resposta aos desafios socioambientais do século XXI (MORIN, 2011).

Conceito

A sustentabilidade é um conceito amplamente discutido e aplicado em diversas áreas, incluindo a construção civil. Esse setor desempenha um papel significativo na economia global e no meio ambiente, sendo responsável por uma parcela considerável do consumo de recursos naturais e pela geração de resíduos. Portanto, a incorporação de princípios ecológicos na construção civil é fundamental para minimizar seu impacto ambiental e promover a sustentabilidade a longo prazo (LOVINS, A. 2011).

De acordo com o Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), a difusão sustentável refere-se à capacidade de atender às necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades. É um conceito fundamental na busca por um futuro sustentável, no qual os impactos negativos sobre o meio ambiente sejam minimizados e os recursos sejam utilizados de forma eficiente e responsável. Conforme expresso nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas - ODS (2015), a sustentabilidade é caracterizada pelo equilíbrio entre as dimensões econômica, social e ambiental, assegurando a qualidade de vida das gerações atuais e futuras.

Sustentabilidade x construção civil

Segundo o Conselho de Construção Sustentável dos Estados Unidos - USGBC (2021), a indústria da construção civil desempenha um papel fundamental na promoção da sustentabilidade. Com foco no desenvolvimento de edifícios energeticamente eficientes, na utilização responsável de recursos naturais e na minimização do impacto ambiental, a construção sustentável é uma abordagem que busca aplicar práticas de projeto, construção e operação que sejam ambientalmente responsáveis e eficientes em termos de recursos ao longo do ciclo de vida da edificação. A indústria da construção é incentivada a adotar estratégias que considerem não apenas a eficiência energética, mas também a qualidade ambiental interna, a seleção de materiais sustentáveis e a gestão adequada de resíduos, a fim de criar edifícios mais saudáveis, eficientes e com menor impacto ambiental.

Os princípios da sustentabilidade na construção civil abrangem a eficiência energética, a utilização de materiais de baixo impacto ambiental, a gestão adequada de resíduos, a preservação dos recursos hídricos, a qualidade do ambiente interno e a consideração dos aspectos sociais e econômicos, de acordo com o Centro de Tecnologia de Edificações - CTE (2022). Conforme afirma o Conselho Mundial de Construções Verdes (2019), os pilares fundamentais da sustentabilidade na construção civil incluem a redução do consumo de energia, o uso de materiais sustentáveis e a minimização dos resíduos de construção e demolição.

Implantação de disciplinas de sustentabilidade em cursos de bacharelado em engenharia civil

A implantação de disciplinas de sustentabilidade em cursos de bacharelado em Engenharia Civil tem se tornado uma prática cada vez mais relevante e necessária. Ao longo do tempo, houve uma mudança de paradigma na área da engenharia civil, impulsionada por uma crescente conscientização sobre os desafios ambientais e sociais enfrentados pela sociedade contemporânea (TORRES-MACHÍ, C. 2018).

A inclusão de disciplinas de sustentabilidade nos currículos de Engenharia Civil é uma resposta à demanda por profissionais capacitados a projetar e construir infraestruturas de forma mais sustentável e com menor impacto ambiental (SCOTT, A. 2019). Essa mudança reflete a necessidade de formar engenheiros que possuam um olhar crítico e responsável em relação ao meio ambiente, considerando a conservação dos recursos naturais, a redução de emissões de gases de efeito estufa e a promoção de práticas construtivas mais sustentáveis.

Ao longo dos anos, diversas instituições de ensino têm incorporado disciplinas relacionadas à sustentabilidade em seus programas de graduação em Engenharia Civil. Essas disciplinas abordam conceitos e práticas relacionados à construção sustentável, eficiência energética, uso de materiais *eco-friendly*, gestão de resíduos, reutilização de água, entre outros. A inclusão de disciplinas de sustentabilidade nos cursos de Engenharia Civil é fundamental para preparar os futuros engenheiros para enfrentar os desafios socioambientais do século XXI e promover a transição para um modelo de desenvolvimento mais sustentável (LOVINS, A. 2016).

Materiais e métodos

A pesquisa realizada é de natureza qualitativa, focada na compreensão aprofundada e na exploração de fenômenos de forma subjetiva. Essa abordagem descritiva e indutiva visa entender as explicações por trás dos fenômenos estudados, considerando nuances não quantificáveis. O estudo também é de cunho básico, com o objetivo de gerar conhecimentos científicos sem uma aplicação prática imediata, sendo fundamentado em revisão bibliográfica. Além disso possui caráter exploratório, permitindo uma maior familiaridade com o problema estudado (COELHO, 2019).

O percurso metodológico utilizado na pesquisa consistiu em uma revisão bibliográfica, elaboração de fichamentos, pesquisa das instituições de ensino, análise das informações e tratamento de dados.

Revisão bibliográfica

Acerca da pesquisa bibliográfica, foram utilizadas diversas plataformas de pesquisas como Biblioteca Eletrônica Científica Online - SCIELO, Portal da Capes, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações – BDTD, Science.gov, repositório de universidades e institutos federais, etc. A partir de palavras-chave foram obtidas revistas nacionais e internacionais, manuais, monografias, artigos científicos, dissertações, teses, que se adentram na temática proposta no estudo.

Foram considerados na escolha dos exemplares, a atualidade, já que foram priorizadas literaturas mais recentes, para garantir a inclusão de informações atualizadas e considerar possíveis avanços e mudanças ocorridas no mercado da construção civil. Autoridade, reputação e relevância, uma vez que foram consideradas bibliografias de autores renomados e instituições de pesquisa reconhecidas, garantindo a qualidade e a credibilidade das informações obtidas. E por fim, a variedade de perspectivas, buscando exemplares que apresentassem diferentes abordagens teóricas e visões, permitindo uma análise mais abrangente e a compreensão das divergências e convergências entre os autores.

Elaboração de fichamentos

Durante a pesquisa bibliográfica, foram feitos fichamentos para organizar as informações relevantes encontradas nos exemplares selecionados. Essa técnica foi utilizada pois auxilia na sistematização do conhecimento adquirido, facilitando a posterior elaboração do resumo, relatório ou artigo científico, e na identificação de fontes e referências para a correta citação dos

autores consultados. Os fichamentos foram elaborados de forma estruturada, incluindo a identificação completa da fonte, seguida de um resumo das principais informações e argumentos apresentados pelo autor, bem como citações relevantes para a pesquisa.

No processo de elaboração dos fichamentos, foram levados em consideração para sua construção textual os seguintes aspectos: a leitura atenta dos exemplares, buscando compreender o conteúdo em sua totalidade e identificar informações relevantes; também foram destacados pontos-chave, como conceitos, teorias, argumentos e evidências apresentados pelos autores, que contribuíram para a compreensão do mercado da construção civil; resumo e síntese das informações mais relevantes de cada exemplar com o objetivo de facilitar a posterior consulta e a organização das informações; por fim, o registro de citações utilizadas pelos autores, bem como as referências bibliográficas completas, para garantir a sua escrita correta.

Pesquisa das instituições de ensino

Diretamente realizada em seus sites oficiais, conforme Quadro 1, a pesquisa para identificar as instituições de ensino na Paraíba que oferecem disciplinas voltadas para a sustentabilidade no curso de Bacharelado Engenharia Civil envolveu uma abordagem sistemática baseada na análise de suas ementas e matrizes curriculares.

Instituição	Site
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)	https://www.ufpb.br/
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)	http://www.uepb.edu.br/
Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ)	https://unipe.edu.br/
Centro Universitário de Patos (UNIFIPMoc)	https://unifip.edu.br
Centro Universitário de Campina Grande (UNESC)	https://www.unescfaculdades.com.br/
Faculdade de Ciências Médicas da Paraíba (FCMPB)	http://www.fcm.pb.gov.br/
Faculdade de Tecnologia da Paraíba (FATECPB)	http://www.fatecpb.com.br/
Faculdade Internacional da Paraíba (FPB)	https://www.fpb.edu.br/
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB)	https://www.ifpb.edu.br/

Quadro 1: Sites oficiais das instituições.

Análise das informações

Através dos documentos obtidos foi feita uma pré-análise por meio de uma leitura flutuante, buscando identificar informações relevantes relacionadas à temática de sustentabilidade. Para isso, foram utilizadas técnicas de investigação, como a aplicação de palavras-chave relacionadas à sustentabilidade em engenharia civil.

A pesquisa incluiu também uma etapa de análise aprofundada dos documentos obtidos, onde foi realizada uma leitura cuidadosa das ementas e matrizes curriculares, buscando compreender os conteúdos programáticos, os objetivos e as abordagens das disciplinas relacionadas à desenvolvimento sustentável. Foram identificadas as disciplinas que mencionavam explicitamente a temática da sustentabilidade ou que apresentavam conteúdos relacionados, como construções sustentáveis, gestão ambiental e tecnologias ambientais.

Após essa identificação inicial, foi feita uma investigação mais aprofundada dos materiais disponíveis. Utilizando palavras-chave específicas relacionadas às práticas sustentáveis em engenharia civil, foram feitas pesquisas complementares em cada disciplina identificada. Essa investigação envolveu a análise de planos de aula, bibliografias recomendadas e atividades práticas relacionadas à preservação ambiental.

Essa fase de permitiu compreender e identificar as ênfases dadas em cada disciplina, os tópicos específicos abordados e as metodologias de ensino utilizadas. Essas informações são fundamentais para os estudantes interessados em cursar Engenharia Civil e que buscam uma formação alinhada com os princípios de sustentabilidade e responsabilidade ambiental. A interpretação dos dados coletados na pesquisa, foi realizada por meio da compreensão dos dados obtidos e da aplicação de fundamentação teórica e dados empíricos relevantes.

Tratamento de dados

Após a coleta das ementas e matrizes curriculares, os dados foram tratados com o auxílio de técnicas de organização e síntese, utilizando tabelas, quadros e gráficos, quando aplicáveis. Esses recursos visuais foram utilizados para apresentar de forma clara e objetiva as informações obtidas, permitindo uma melhor compreensão e análise dos resultados. A interpretação dos dados ocorreu com base em conhecimentos teóricos, bem como na contextualização dos dados empíricos coletados nas ementas e matrizes curriculares.

É importante destacar que a interpretação dos dados não se restringiu apenas à identificação das disciplinas relacionadas à sustentabilidade, mas também envolveu a análise das cargas horárias, dos conteúdos programáticos e das descrições das disciplinas. Isso proporcionou uma compreensão mais profunda sobre como a sustentabilidade é abordada nos cursos de Engenharia Civil oferecidos pelas instituições na Paraíba.

Resultados e discussões

Ao todo foram consultadas as ementas e matrizes curriculares de nove instituições de ensino conforme o Quadro 2.

Instituição	Localização
1. Universidade Federal da Paraíba (UFPB); 2. Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ); 3. Faculdade de Ciências Médicas da Paraíba (FCM-PB); 4. Faculdade de Tecnologia da Paraíba (FATECPB); 5. Faculdade Internacional da Paraíba (FPB) e 6. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB).	João Pessoa
7. Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e 8. Centro Universitário de Campina Grande (UNESC).	Campina Grande
9. Centro Universitário de Patos (UNIFIPMoc)	Patos

Quadro 2: Levantamento institucional.

Das instituições analisadas 44% oferecem disciplinas voltadas para a sustentabilidade na matriz curricular do curso Bacharelado em Engenharia Civil e 56% não ofertam, conforme Gráfico 1.

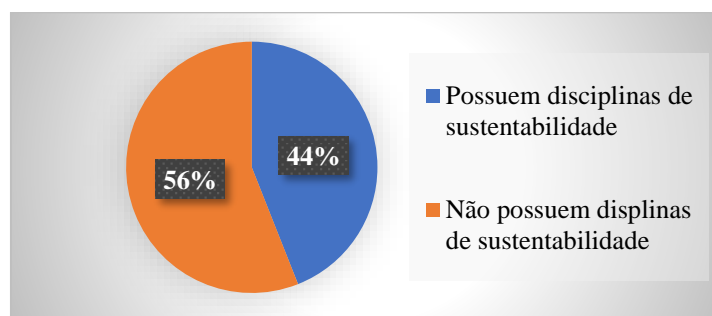


Gráfico 1: Oferta de disciplinas com base sustentável.

A oferta de disciplinas voltadas para a sustentabilidade na grade curricular do curso de Engenharia Civil é algo positivo e valorizado atualmente. Essas disciplinas fornecem aos estudantes uma base de conhecimento sobre práticas sustentáveis na construção civil, promovendo uma abordagem mais consciente e responsável em relação ao meio ambiente. Os alunos que têm acesso a essas disciplinas têm a oportunidade de aprender sobre tecnologias ambientais, gestão ambiental em obras civis, construções sustentáveis e outros temas relevantes para a sustentabilidade na engenharia.

No entanto, é importante ressaltar que as instituições que não oferecem disciplinas voltadas para a sustentabilidade na grade curricular do curso de Engenharia Civil podem estar perdendo uma oportunidade de promover uma formação mais abrangente e atualizada para os estudantes. Ao não incluir essas disciplinas, essas instituições podem deixar de fornecer aos alunos uma base sólida de conhecimentos e habilidades relacionadas à sustentabilidade na construção civil. Portanto, oferecer disciplinas voltadas para a sustentabilidade pode ser um diferencial importante para as instituições de ensino, garantindo que os alunos estejam preparados para os desafios e demandas atuais da indústria.

Dentre as instituições de ensino que oferecem as disciplinas relacionadas a sustentabilidade, destaca-se a UFPB e a UNIPÊ por oferecerem um número maior de componentes curriculares dentre as disciplinas específicas ofertadas, 5 e 3, respectivamente, conforme o Quadro 3.

Instituição	Disciplina
UFPB	Sustentabilidade em Engenharia Civil; Construções Sustentáveis; Gestão Ambiental em Obras Civis; Tecnologias Ambientais em Engenharia Civil; Ecologia Aplicada à Engenharia Civil.
UNIPÊ	Sustentabilidade em Engenharia Civil; Construções Sustentáveis; Materiais Sustentáveis para Construção Civil.
FATECPB	Sustentabilidade em Engenharia Civil.
UNESC	Análise de Ciclo de Vida de Edificações.

Quadro 3: Total de disciplinas com temática sustentável por instituição.

Na UFPB, Sustentabilidade na Engenharia Civil, Tecnologias Ambientais na Engenharia Civil, Gestão Ambiental em Obras Civis, Ecologia Aplicada à Engenharia Civil e Edificações Sustentáveis são disciplinas obrigatórias. Abrangem uma ampla gama de tópicos relacionados à sustentabilidade na engenharia civil, incluindo avaliação de impacto ambiental, análise do ciclo de vida, materiais sustentáveis e projeto de construção sustentável. Na UNIPÊ, Sustentabilidade na Engenharia Civil e Edificações Sustentáveis também são disciplinas obrigatórias. Essas disciplinas abordam temas semelhantes aos cursos oferecidos na UFPB, mas focam mais especificamente no projeto e construção de edifícios sustentáveis.

Na UNESCO, a Análise do Ciclo de Vida de Edifícios é disciplina obrigatória. Este curso ensina os alunos a usar a avaliação do ciclo de vida para avaliar o impacto ambiental dos edifícios. Na FATECPB, Sustentabilidade na Engenharia Civil é disciplina obrigatória. Nessa temática, aborda-se os fundamentos da sustentabilidade na engenharia civil, incluindo os princípios do desenvolvimento sustentável e as diferentes formas de incorporar a sustentabilidade nos projetos de engenharia civil.

Os cursos supracitados não são apenas teóricos. Todos eles incluem alguns componentes práticos, como estudos de caso, projetos de design e viagens de campo. No entanto, a componente teórica continua a ser muito importante. Os alunos precisam entender os princípios subjacentes da sustentabilidade para poder aplicá-los na prática. A forma como esses assuntos são abordados varia de universidade para universidade. Algumas universidades se concentram mais nos aspectos teóricos, enquanto outras se concentram mais nos aspectos práticos. Acredito que um equilíbrio entre conhecimento teórico e prático é extremamente.

Na UFPB, o curso Sustentabilidade na Engenharia Civil inclui palestras, tutoriais e um projeto de design. As palestras cobrem os princípios básicos da sustentabilidade, como avaliação de impacto ambiental e análise do ciclo de vida. Os tutoriais fornecem aos alunos a oportunidade de praticar suas habilidades nessas áreas. O projeto de design permite que os alunos apliquem os princípios da sustentabilidade a um projeto do mundo real.

Na UNIPÊ, o curso Construções Sustentáveis inclui palestras, tutoriais e uma saída de campo. As palestras cobrem os princípios do projeto de construção sustentável, como eficiência energética e conservação de água. Os tutoriais fornecem aos alunos a oportunidade de praticar suas habilidades nessas áreas. A viagem de campo permite que os alunos vejam edifícios sustentáveis em ação. Na UNESCO, o curso Análise do Ciclo de Vida de Edifícios inclui palestras, tutoriais e um estudo de caso. As palestras cobrem os princípios da avaliação do ciclo de vida, como quantificar o impacto ambiental dos edifícios. Os tutoriais fornecem aos alunos a oportunidade de praticar suas habilidades na avaliação do ciclo de vida. O estudo de caso permite que os alunos apliquem os princípios da avaliação do ciclo de vida a um projeto de construção do mundo real.

É de se concordar com a forma como estes assuntos são abordados. Eles fornecem aos alunos o conhecimento e as habilidades necessárias para trabalhar em projetos sustentáveis de engenharia civil. A componente teórica dá aos alunos uma base nos princípios da sustentabilidade, e a componente prática dá-lhes a oportunidade de aplicar esses conhecimentos em contextos do mundo real. Além dos cursos mencionados, existem várias outras maneiras de aprender sobre sustentabilidade na engenharia civil. Existem muitos cursos e recursos online disponíveis, e também várias organizações profissionais que oferecem programas de treinamento e certificação.

A UFPB, UNIPÊ, UNESCO e FATECPB oferecem disciplinas voltadas a sustentabilidade conforme o Quadro 2.

Disciplina	Ementa	Instituição
Sustentabilidade em Engenharia Civil	Definição de sustentabilidade. Dimensões da sustentabilidade. Métodos de avaliação de sustentabilidade de edifícios. Variáveis atreladas à sustentabilidade de edifícios (critérios). Métodos para avaliação ambiental de sistemas. Avaliação do Ciclo de Vida.	UFPB, UNIPÊ, FATECPB
Construções Sustentáveis	Introdução ao conceito de Sustentabilidade e de Edificações Sustentáveis. Métodos de avaliação da sustentabilidade de Edificações. O impacto da construção de edificações no Meio Ambiente. A importância da produção dos Projetos de Arquitetura.	UFPB, UNIPÊ
Gestão Ambiental em Obras Civis	Licitações e Contratos Administrativos; Planejamento e Programação da Construção; Noções de Segurança no Canteiro de obras; Mecanismos de acompanhamento no Canteiro de obras; Apropriação e Controle na Construção; Equipamentos na obra; Sustentabilidade e Certificação de Obras.	UFPB
Tecnologias Ambientais em Engenharia Civil	Apresentar e discutir a aplicação de tecnologias consolidadas e emergentes para a proteção do meio ambiente visando mitigar os impactos nocivos de materiais poluentes, como foco em processos sustentáveis e inovadores, aliando menor custo, elevada eficiência e possibilidade de recuperação de subprodutos.	UFPB

Ecologia Aplicada à Engenharia Civil	Engenharia Civil e a questão ambiental. Análise de impactos resultantes de obras civis. Avaliação de impactos ambientais resultantes de ações de engenharia civil no território.	UFPB
Materiais Sustentáveis para Construção Civil	Requisitos de materiais de construção Conceitos principais relativos às propriedades de interesse para o semestre Desenvolvimento de produtos para a construção civil Pesquisa de mercado Gestão de negócios.	UNIPÊ
Análise de Ciclo de Vida de Edificações	Introdução ao ACV e a metodologia do ACV; História, protocolos relevantes, pensamento de ciclo de vida Objetivo, escopo e unidade funcional Coleta de dados Metodologia de AICV Interpretação dos resultados Tópicos específicos de ACV; Modelagem de fim de vida e reciclagem; ACVA e ACVC Uso de ACV na prática; Protocolos e sistemas relevantes (ISO 14025:2006, EN 15508), EPD e PEF; Desenvolvimento de ACV de edifícios.	UNESC

Quadro 2: Total de disciplinas com temática sustentável por instituição.

Dentre as instituições que oferecem disciplinas de sustentabilidade destaca-se a UFPB por oferecer um maior número de disciplinas, um total de 5.

A presença de um maior número de disciplinas voltadas para a sustentabilidade na grade curricular do curso de Engenharia Civil pode trazer benefícios significativos para a formação dos estudantes. Essas disciplinas fornecem uma base sólida de conhecimentos e habilidades específicas relacionadas à sustentabilidade, preparando os futuros profissionais para enfrentar os desafios e demandas da indústria da construção civil de maneira mais ecológica.

A inclusão de disciplinas adicionais voltadas para a sustentabilidade pode proporcionar aos estudantes uma compreensão mais aprofundada dos princípios e práticas sustentáveis aplicados à engenharia civil. Isso inclui não apenas conceitos teóricos, mas também a aplicação prática de técnicas e metodologias que visam reduzir o impacto ambiental, promover a eficiência energética, gerenciar os recursos naturais e adotar práticas de construção sustentáveis.

Além disso, as disciplinas voltadas para a sustentabilidade podem desenvolver habilidades importantes nos estudantes, como pensamento crítico, resolução de problemas, capacidade de análise de ciclo de vida, avaliação de impacto ambiental e conhecimento sobre regulamentações ambientais. Essas habilidades são cada vez mais valorizadas no mercado de trabalho e podem diferenciar os profissionais na indústria da construção civil.

A formação mais abrangente em sustentabilidade proporcionada por uma maior quantidade de disciplinas pode capacitar os estudantes a se tornarem agentes de mudança na área, promovendo práticas sustentáveis, desenvolvendo projetos ecoeficientes, gerenciando de forma responsável os recursos naturais e participando ativamente na construção de um futuro mais sustentável.

A integração de disciplinas voltadas para a sustentabilidade na grade curricular do curso de Engenharia Civil pode ter um impacto significativo na formação dos estudantes. Essas disciplinas proporcionam uma consciência ambiental e social mais abrangente, preparando os futuros engenheiros para lidar com os desafios do desenvolvimento sustentável na indústria da construção civil.

Embora as instituições FATECPB e UNESC ofereçam apenas uma disciplina de sustentabilidade, é importante ressaltar que essas disciplinas são obrigatórias. Isso significa que todos os alunos dessas universidades receberão alguma educação em sustentabilidade na engenharia civil. Este é um bom começo e é provável que essas universidades ofereçam mais disciplinas de sustentabilidade no futuro.

No entanto, também é importante observar que uma disciplina de sustentabilidade não é suficiente para preparar os alunos para uma carreira em engenharia civil sustentável. Os alunos precisarão aprender sobre uma ampla gama de tópicos relacionados à sustentabilidade, incluindo avaliação de impacto ambiental, análise do ciclo de vida, materiais sustentáveis e projeto de construção sustentável. Eles também precisarão ganhar experiência prática nessas áreas. Se a FATECPB e a UNESC quiserem formar graduados bem qualificados para trabalhar em engenharia civil sustentável, elas precisarão oferecer mais disciplinas de sustentabilidade e proporcionar aos alunos mais oportunidades de ganhar experiência prática.

Com isso, faz-se contudente ofertar algumas sugestões específicas de como a FATECPB e a UNESC poderiam melhorar seus programas de educação para a sustentabilidade:

- oferecer mais assuntos de sustentabilidade, como Avaliação de Impacto Ambiental, Análise do Ciclo de Vida, Materiais Sustentáveis e Projeto de Construção Sustentável.
- ofertar aos alunos mais oportunidades de adquirir experiência prática em sustentabilidade, como por meio de estágios, projetos de design e viagens de campo.
- fazer parcerias com outras organizações, como empresas de construção e agências ambientais, para fornecer aos alunos uma experiência real em sustentabilidade.

Com esses passos, a FATECPB e a UNESCO podem formar graduados bem qualificados para trabalhar em engenharia civil sustentável e ajudar a construir um futuro mais sustentável.

A importância da sustentabilidade na engenharia civil é inegável. À medida que o mundo se torna mais consciente do impacto ambiental de nossa infraestrutura, há uma demanda crescente por engenheiros civis que possam projetar e construir estruturas sustentáveis. No entanto, nem todas as instituições de engenharia civil oferecem disciplinas de sustentabilidade, o que pode limitar as oportunidades educacionais para os alunos, produzir graduados menos qualificados para empregos nessa área e prejudicar a reputação da instituição.

Há uma série de medidas que as instituições podem adotar para lidar com essa questão, como oferecer mais disciplinas de sustentabilidade, oferecer mais oportunidades de experiência prática e fazer parcerias com outras organizações. Ao tomar essas medidas, as instituições podem garantir que seus graduados sejam bem qualificados para trabalhar em engenharia civil sustentável e ajudar a construir um futuro mais sustentável. Além do exposto, sustentabilidade não é apenas proteger o meio ambiente. Trata-se também de garantir que nossa infraestrutura seja resiliente aos efeitos das mudanças climáticas, criando empregos e crescimento econômico e melhorando a qualidade de vida das pessoas em todo o mundo.

A sustentabilidade está se tornando cada vez mais importante na indústria de engenharia civil, e as instituições que não oferecem disciplinas de sustentabilidade estarão em desvantagem neste mercado competitivo. Ao tomar medidas para resolver esse problema, as instituições podem garantir que seus graduados sejam bem qualificados para trabalhar em engenharia civil sustentável e ajudar a construir um futuro mais sustentável.

Aumentar a conscientização sobre a importância da sustentabilidade: As instituições precisam garantir que seus professores e alunos estejam cientes da importância da sustentabilidade na engenharia civil. Isso pode ser feito por meio de workshops, seminários e outras atividades educacionais.

Revisão das matrizes curriculares: As instituições precisam revisar suas matrizes curriculares para garantir que incluam disciplinas de sustentabilidade. Isso pode exigir a adição de novos cursos, a modificação de cursos existentes ou a criação de novos programas de graduação.

Oferecer mais oportunidades de experiência prática: As instituições precisam oferecer mais oportunidades para os alunos adquirirem experiência prática em sustentabilidade. Isso pode ser feito por meio de estágios, projetos de design e viagens de campo.

Ao tomar essas medidas, as instituições podem garantir que seus graduados sejam bem qualificados para trabalhar em engenharia civil sustentável e ajudar a construir um futuro mais sustentável.

Comentários Finais

A inclusão de disciplinas voltadas para a sustentabilidade na grade curricular do curso de Engenharia Civil desempenha um papel crucial na formação de profissionais preparados para enfrentar os desafios ambientais e sociais da indústria da construção civil. Embora algumas instituições tenham adotado essa abordagem e ofereçam disciplinas nesse campo, ainda há uma lacuna significativa em outras instituições que não abordam adequadamente a sustentabilidade em seus programas educacionais.

A falta de disciplinas de sustentabilidade nessas instituições pode limitar as oportunidades educacionais dos estudantes, deixando-os despreparados para lidar com as demandas de uma indústria em constante evolução, na qual a sustentabilidade se tornou uma prioridade global. Essa falta de preparo pode resultar em graduados menos qualificados para ocupar posições que requerem conhecimentos e habilidades relacionados à construção sustentável, impactando negativamente tanto os profissionais quanto a reputação da instituição.

Além disso, é fundamental reconhecer que a sustentabilidade não se limita apenas à proteção do meio ambiente, mas também envolve aspectos econômicos e sociais. A infraestrutura sustentável não apenas reduz o impacto ambiental, mas também promove o desenvolvimento econômico, a criação de empregos e o aprimoramento da qualidade de vida das comunidades.

Para abordar essa questão, as instituições de ensino devem adotar medidas concretas, como revisar suas matrizes curriculares para incluir disciplinas de sustentabilidade. Além disso, é fundamental oferecer aos alunos oportunidades de adquirir experiência prática por meio de estágios, projetos de design e parcerias com empresas da indústria.

Ao fazer essas mudanças, as instituições não apenas capacitam seus alunos a se tornarem profissionais qualificados e preparados para enfrentar os desafios da engenharia civil sustentável, mas também contribuem para um futuro mais sustentável e resiliente. A sustentabilidade é uma necessidade urgente e a engenharia civil desempenha um papel fundamental na transformação de nosso ambiente construído em um espaço que seja ecologicamente responsável, socialmente inclusivo e economicamente viável. Portanto, é essencial que as instituições de ensino adotem uma abordagem crítica e proativa para integrar a sustentabilidade em seus programas educacionais, preparando-os assim os futuros engenheiros civis para serem agentes de mudança na indústria, conduzindo a uma construção mais sustentável e um futuro melhor para todos.

Referências bibliográficas

American Society for Engineering Education (ASEE). (2021). **Engineering by the Numbers**. Disponível: <https://www.asee.org/surveys/Engineering-by-Numbers-Data>. Acesso em 22 abri. 2023.

Associação Brasileira de Engenharia Civil (ABENC). (2021). **Mercado de trabalho para engenheiros civis**. Disponível: <https://www.abenc.org.br/portal/mercado-de-trabalho-para-engenheiros-civis/>. Acesso em: 22 abril 2023.

Centro de Tecnologia de Edificações (CTE). (2022). **Princípios da sustentabilidade na construção civil: eficiência energética, materiais de baixo impacto, gestão de resíduos, recursos hídricos, qualidade do ambiente interno e aspectos sociais e econômicos**. Disponível: <https://www.cte.com.br/>. Acesso 05 maio 2023.

Centro Universitário de Campina Grande (UNESC). Disponível: <https://www.unescfaculdades.com.br/>. Acesso em: 21 abril 2023.

Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). Disponível: <https://unipe.edu.br/>. Acesso em 21 de abril 2023.

Centro Universitário de Patos (UNIFIPMoc). Disponível: <https://unifip.edu.br/>. Acesso em 21 abril 2023.

COSTA, *et al.*, (2016). **Análise da abordagem da sustentabilidade nos cursos de engenharia civil no Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade, 3(2), 45-62

COELHO. (2019). Pesquisa qualitativa. Revista de Metodologia de Pesquisa em Ciências Sociais, 12(3), 45-62.

Faculdade de Ciências Médicas da Paraíba (FCM-PB). Disponível: <http://www.fcm.pb.gov.br/>. Acesso em 21 abril 2023.

Faculdade de Tecnologia da Paraíba (FATECPB). Disponível: <http://www.fatecpb.com.br/>. Acesso em 21 abril 2023.

Faculdade Internacional da Paraíba (FPB). Disponível: <https://www.fpb.edu.br/>. Acesso em 21 abril 2023.

GARCIA, *et al.*, (2023). **A importância da inclusão de disciplinas de sustentabilidade na formação de engenheiros civis: uma abordagem interdisciplinar**. Revista de Engenharia e Sustentabilidade, 10(1), 78-94.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB). Disponível: <https://www.ifpb.edu.br/>. Acesso em 21 abril 2023.

Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). (2021). **Censo da Educação Superior 2019**. Disponível: http://download.inep.gov.br/educacao_superior/censo_superior/documentos/2019/dados/2019_censo_da_educacao_superior/. Acesso em: 6 jun. 2023.

JOHNSON, *et al.*, (2021). **O mercado da construção civil como setor vital para o desenvolvimento econômico e social**. Revista de Economia e Desenvolvimento, 15(2), 45-62.

LEE, *et al.*, (2021). **Construção sustentável: abordagens para redução do impacto ambiental e aumento da eficiência energética na construção de edifícios**. Revista de Arquitetura Sustentável, 12(1), 28-42.

LIMA, A. M. S.; CAVALCANTI, E. L. Sustentabilidade na construção civil: a visão dos engenheiros civis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 9-23, jan./mar. 2015.

LOPES, J. C.; CHAVES, R. H. F. O ensino de sustentabilidade nos cursos de engenharia civil no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 63-77, jul./set. 2016.

LOVINS, A. (2011). **Sustainability in the Construction Industry: Incorporating Ecological Principles for Long-Term Environmental Impact**. Journal of Sustainable Development, 4(2), 45-58.

MCKINSEY & COMPANY. (2016). **The World at Work: Jobs, Pay, and Skills for 3.5 Billion People**. Disponível: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/employment-and-growth/the-world-at-work-jobs-pay-and-skills-for-35-billion-people>. Acesso em: 21 abril 2023.

MORIN, EDGAR (2011). **A Via para o Futuro da Humanidade**. Lisboa, Bertrand Editora, 2011.

Nações Unidas. (2015). **Transformando Nosso Mundo: Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Disponível: <https://www.un.org/pt/development/desa/publications/agenda-2030-para-o-desenvolvimento.html>. Acesso em: 13 maio 2023.

Organização das Nações Unidas (ONU). (2021). **Global Status Report for Buildings and Construction 2021**. Disponível: <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-2021>. Acesso em: 24 abri. 2023.

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). (2021). **Relatório sobre difusão sustentável**: garantindo o bem-estar das gerações presentes e futuras. Disponível: www.ipcc.int. Acesso em: 26 jun. 2023.

PACKER, Abel Laerte et al. SciELO: uma metodologia para publicação eletrônica. **Ciência da informação**, v. 27, p. nd-nd, 1998.

Revista Construção. (2021). **Cursos de Engenharia Civil com ênfase em sustentabilidade ganham espaço**. Disponível: <https://www.revistaconstrucao.com.br/noticias/cursos-de-engenharia-civil-com-enfase-em-sustentabilidade-ganham-espaco/>. Acesso em: 02 jun. 2023.

SANTOS, J., SILVA, A., & OLIVEIRA, P. (2022). A importância da inclusão de disciplinas de sustentabilidade nos cursos de engenharia civil. **Revista de Engenharia Sustentável**, 10(2), 45-60.

SCOTT, A. (2019). **A importância da inclusão de disciplinas de sustentabilidade nos currículos de Engenharia Civil**. *Revista de Engenharia Sustentável*, 6(1), 45-58.

SILVA, *et al.*, (2021). Sustentabilidade na construção civil: desafios e oportunidades. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 59-75, out./dez. 2015.

SMITH, *et al.*, (2021). **Desafios na execução de projetos de construção**: uma análise dos problemas de custos, prazos e qualidade. *Revista de Engenharia Civil e Arquitetura*, 10(3), 75-92.

TORRES-MACHÍ, C. (2018). A importância da inclusão de disciplinas de sustentabilidade nos cursos de Engenharia Civil. **Revista de Engenharia e Sustentabilidade**, 5(2), 60-75.

TUCKER, R. L. (2018). **Construction Technology**. Pearson.

U.S. Green Building Council (USGBC). (2021). **Construção sustentável**: promovendo edifícios ambientalmente responsáveis e eficientes. Disponível: <https://www.usgbc.org/>. Acesso em: 23 abri. 2023.

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Disponível: <http://www.uepb.edu.br/>. Acesso em: 21 abri. 2023.

Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Disponível: <https://www.ufpb.br/>. Acesso em: 21 abri. 2023.

World Green Building Council (WGBC). (2019). **Pilares fundamentais da sustentabilidade na construção civil: redução do consumo de energia, uso de materiais sustentáveis e minimização dos resíduos de construção e demolição**. Disponível: <https://www.worldgbc.org/>. Acesso em 11 jun. 2023.

CAMPANHA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL APLICADA NA EMPRESA EMBACAPS

1Laura Lahiguera Cesa, 2Pedro Ivo Villetti, 3Kathleen Farias, 4Teresinha Guerra

1Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: laura.lahiguera.c@gmail.com; 2Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: pedro@henpro.com.br; 3Universidade do Vale do Rio dos Sinos, e-mail: kathleen.farias@embacaps.com.br; 4Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: tg@ufrgs.br

Palavras-chave: Educação ambiental; campanha; empresa

Resumo

A Educação Ambiental é um pilar fundamental para a sociedade e compreende os conhecimentos e atividades voltadas ao desenvolvimento de uma vida coerente com a sustentabilidade em seus três pilares: social, econômico e ambiental. Por isso, ela deve ser continuamente fomentada em diferentes ambientes, como por exemplo, dentro das empresas.

A empresa Embacaps, do ramo químico e farmacêutico localizada na cidade de Porto Alegre (RS), elucidou a necessidade de proporcionar aos seus funcionários uma Campanha de Educação Ambiental a fim de desenvolver práticas e reflexões ecológicas para sanar as dúvidas e interesses dos trabalhadores. Com o auxílio da empresa ILV Assessoria Técnica Ambiental, também localizada em Porto Alegre (RS), foi desenvolvida e aplicada a Campanha de Educação Ambiental.

A Campanha trabalhou com três temas principais: Resíduos Sólidos, Água e Energia; e contemplava 5 etapas: questionário inicial, palestras, práticas, questionário final e encerramento. O questionário inicial (Questionário 1) tinha como objetivo compreender os interesses dos participantes. As palestras e práticas buscavam esclarecer os assuntos e, por meio do contato com os colaboradores, compreender as necessidades da empresa para um futuro mais sustentável. O questionário final (Questionário 2) visava coletar os feedbacks dos participantes, além de possíveis dúvidas. No encerramento, as dúvidas foram sanadas e uma dinâmica em grupo foi realizada através de um Quiz.

Com a execução da Campanha, foi possível perceber uma grande interação e participação dos funcionários em todos as etapas e, a curto prazo, notou-se mudanças positivas nos pensamentos e atitudes dos trabalhadores. Por fim, esta proposta também expressa a necessidade de continuar com atividades de cunho ecológico a fim de manter a cultura ambiental na empresa e na rotina dos funcionários a médio e longo prazo.

Introdução

O final do século XX se caracterizou pelo esgotamento de um modo de desenvolvimento ecologicamente predatório (ZIBETTI, 2006), o que faz surgir, parafraseando Guimarães (2006, p.332), a necessidade de ressignificação da Educação, onde a Educação Crítica detém de um caráter revolucionário no processo de aprendizagem. Assim, como bem pondera CARDOSO (2014), a Educação Crítica permitiu promover essa reestruturação educacional aliada na multidisciplinaridade e na transversalidade. Foi nesse momento, em 1965, que o termo “educação ambiental” foi criado na Conferência de Educação da Universidade de Keele, na Grã-Bretanha e referendado pela Conferência Intergovernamental de Tbilisi organizada pela UNESCO e o programa de meio ambiente da Organização das Nações Unidas em 1977.

A Educação Ambiental (EA) pode apresentar múltiplas definições, tendo sua base, no Brasil, na Lei Federal 9.795, de 27 de abril de 1999, na qual diz: “Entende-se por educação ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade. A educação ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal.”

Deste modo, tem-se que a educação ambiental, em seu sentido mais amplo, visa promover a responsabilidade ambiental nos indivíduos a fim de que a sociedade evolua sustentavelmente. Seguindo este pensamento, a empresa Embacaps elucidou o desenvolvimento de uma Campanha de Educação Ambiental para seus funcionários.

A Embacaps, desde 1986, trabalha na indústria química nos segmentos de cosméticos, atuando no mercado de Personal Care e Household a fim de proporcionar soluções químicas inovadoras conectado diretamente com os valores corporativos que promovem excelência, transparência, flexibilidade, inovação e atendimento próximo ao cliente. Com quase quatro décadas de experiência no mercado brasileiro, se torna referência na distribuição de matérias-primas através de fornecedores reconhecidos globalmente, que prezam pela alta qualidade de produtos e eficiência operacional.

Desta maneira, a ILV Assessoria Técnica Ambiental, empresa com sede em Porto Alegre (RS) e expertise de mercado na área ambiental, a qual busca otimizar recursos e reduzir impactos negativos por meio de serviços ambientais, ficou responsável pelo desenvolvimento e acompanhamento da Campanha de Educação Ambiental na Embacaps.

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver e aplicar uma Campanha de Educação Ambiental que viesse ao encontro das necessidades sentidas pela empresa e seus colaboradores, sendo realizada através de palestras, questionários e atividades práticas que abrangiam três temas principais: Resíduos Sólidos, Água e Energia.

Material e Método

Inicialmente, alinhou-se, com o setor de Recursos Humanos da Embacaps, as necessidades da empresa, para organizar um plano de trabalho com as atividades a serem desenvolvidas. A divulgação do cronograma da Campanha foi realizada para os funcionários no formato de e-mails e mensagens nos grupos de trabalho. No cronograma foram apresentadas as datas de cada atividade que seria promovida.

A estrutura de trabalho se baseou em três temas principais: Resíduos Sólidos, Água e Energia, contando com palestras, práticas, questionários e encerramento.

A empresa, quando a Campanha foi iniciada em 2021, contava com 8 setores em sua Matriz, 1 setor no Centro de Distribuição Santa Catarina e 2 setores na sua Filial São Paulo, totalizando 50 funcionários, sendo eles: comercial, compras, diretoria, financeiro, laboratório, logística, marketing, recursos humanos.

Foram previamente organizadas 5 turmas mescladas, isto é, com pessoas de diferentes setores, sendo 4 turmas no formato presencial (com realizações na matriz da empresa, em Porto Alegre) e 1 turma no formato online, contemplando os funcionários de Santa Catarina e São Paulo.

Com o intuito de entender melhor os interesses, conhecimentos e dúvidas dos trabalhadores da Embacaps, realizou-se um questionário inicial (Questionário 1) por meio do Formulário Google. Neste foi apresentada uma breve descrição da Campanha, o objetivo do questionário e, em seguida, as perguntas. Ressalta-se que as respostas eram anônimas e que 41 pessoas responderam ao Questionário 1.

A primeira seção tinha a intenção de entender o setor em que a pessoa trabalhava e as experiências anteriores com campanhas de educação ambiental. Neste, 70,7% das pessoas nunca haviam participado de qualquer campanha, 24,4% já haviam participado e acharam proveitosa e 4,9% já haviam participado e não acharam proveitosa.

Dentre a minoria, que já havia participado de alguma campanha, buscou-se entender os pontos positivos e negativos de suas experiências, considerando que entre os assuntos tratados em campanhas anteriores, foram destacados pelos funcionários: “questões superficiais sobre coleta seletiva”, “os 5R’s: Reciclar, Reutilizar, Reduzir, Recusar e Repensar”, “de como cuidar do meio ambiente”, “conhecimento sobre como as ações diárias podem ajudar”, entre outros. Alguns apontaram que foi bom por “levarem o conhecimento para casa” e “aprenderam muito”. Por outro lado, houve, também, experiências “não proveitosas por ser abordado de maneira simples e pouca profunda”.

Tendo em vista o tema de Resíduos Sólidos, a opinião dos funcionários sobre o grau de sustentabilidade da Embacaps, de 0 a 5, mostrou que a maioria considerava que a empresa estava no nível 3 (36,6%), seguido pelo nível 2 (22%). A respeito das próprias ações, a maioria dos funcionários (53,7%) acreditava que as suas ações na Embacaps se classificam no nível 4 de sustentabilidade.

Outra questão abordada foi sobre o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), o qual, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) toda empresa geradora de resíduos deve se responsabilizar por elaborar e seguir um PGRS, e a Embacaps se enquadra nisso. Todavia, mais da metade dos trabalhadores (58,6%) não sabiam sobre o PGRS ou não entendiam muito bem o conceito do PGRS e seu objetivo.

Com relação às práticas fora do ambiente de trabalho, notou-se que vários trabalhadores separavam seus resíduos, mas 14,6% de pessoas não praticavam nenhuma separação (Figura 1).

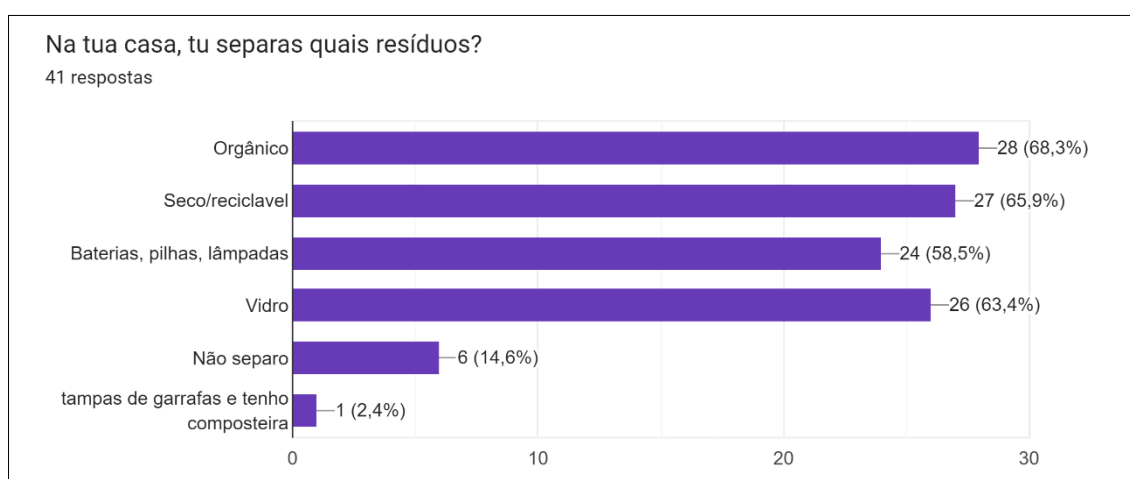


Figura 1: Respostas à pergunta sobre separação de resíduos.

Não obstante, 51,2% das pessoas acreditavam que tinham nível 3 de conhecimento sobre separação de resíduos, mas nenhuma consideravam que tinha conhecimento nível 5 a respeito do processo/caminho dos resíduos após o descarte. Felizmente, respectivamente 85,4% e 56,1% acreditavam que esses assuntos tinham muita importância.

31,3% das pessoas que levavam seus resíduos para fora de casa, ou seja, não moravam em locais com funcionários responsáveis por isso, não sabiam os dias da coleta seletiva no seu bairro/rua e, ainda 3,1% habitavam em locais sem coleta seletiva.

A segunda seção abordava perguntas relacionadas ao tema Água. De maneira geral, verificou-se que 9,8% demoravam mais de 20 min no banho e 21,9% não fechavam ou fechavam às vezes a torneira ao escovar os dentes ou lavar a louça.

Neste questionário, foram elencados temas referentes as crises hídricas, distribuição irregular de água, gastos de água com atividades rotineiras (água invisível), dentre outros. Notavelmente, 73,2% dos trabalhadores tinham muita vontade de gastar menos água e 80,5% acreditavam que a questão de distribuição de água tinha alta significância.

Na terceira seção, com o tema de Energia, buscou-se avaliar o entendimento dos funcionários sobre as fontes geradoras de energia e de energia elétrica no Brasil. Sobre a fonte de geração de energia predominante no Brasil, a energia hídrica foi a mais pontuada. Sobre o grau de sustentabilidade das fontes geradoras, a solar, seguida da eólica, foram as mais votadas.

A maioria dos funcionários que responderam ao questionário afirmaram não saber muito sobre a geração de energia. Além disso, a grande maioria considerava que a geração de energia tem influência muito significativa no meio ambiente e no efeito estufa.

Na última seção, buscou-se entender o quanto, de 0 a 10, a Embacaps poderia evoluir no quesito sustentabilidade. O nível 10 foi o mais votado (29,3%), seguido do nível 8 (26,8%). Por fim, ao questionar o quanto os funcionários estariam dispostos a mudar alguns hábitos para tornar o dia a dia da empresa mais sustentável, a grande parte (63,4%) atestou no nível 10.

Ressalta-se que foram levantadas dúvidas ou interesses específicos para serem tratados ao longo da campanha. Sobre Resíduos Sólidos, foram elencados: lavagem de embalagens, descarte na área de fracionamento da empresa, queima de resíduos, descarte após coleta e separação de resíduos. Sobre Água, alguns pontos foram: custos e formas de tratamento, distribuição de água no Nordeste e água da chuva. Elencou-se, sobre Energia: formas e processos de obtenção e diferença entre eles.

A palestra sobre o tema Resíduos Sólidos abordou os seguintes assuntos:

- Norma Brasileira NBR 10.004 (critérios para classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde do homem);
- Como funcionam as coletas seletiva e comum;
- Quais os tipos de resíduos;
- Divulgação do site do Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU);
- Métodos de tratamento de resíduos: físicos, térmicos e bioquímicos;
- Dados de Porto Alegre e do cenário nacional;
- Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2012);
- Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS);
- Consequências do descarte incorreto de resíduos;
- Novos hábitos para a rotina e curiosidades;
- Divulgação de conceitos para uma menstruação sustentável;

A palestra permitiu o debate de várias questões frente a realidade de cada pessoa e possibilitou que todos sanassem possíveis dúvidas.

O momento da Prática foi desenvolvido pensando na rotina da empresa, abrangendo todos os setores para conversar com os funcionários a fim de entender e mapear a necessidade de alocar mais lixeiras. Assim, foi possível fazer um levantamento dos tipos, quantidades e locais das lixeiras. Também foi apontado pelos funcionários a questão do descarte de eletrônicos, cartuchos e toners. Desta forma, foram apresentadas soluções para a coleta e transporte, além de pontos de descarte na região. Ademais, os trabalhadores pontuaram a dificuldade de compreender a separação dos resíduos e, por isso foi desenvolvido e disponibilizado um resumo sobre o assunto, no formato digital.

Na palestra sobre o tema Água, os tópicos principais foram:

- Ciclo da água;
- Rios aéreos;
- Dados atuais da seca no Brasil;
- Arco do desmatamento;
- Principais causas da seca;
- Dados sobre o desmatamento;
- Dados sobre o efeito estufa;
- Dados e explicação sobre a La Niña;
- Crise hídrica;
- Tipos de poluição da água;
- Qualidade da água;
- Saneamento básico e saúde pública;
- Fontes de água para consumo;
- Dados da rede de esgoto (coleta e tratamento) em Porto Alegre e São Paulo;
- Dados sobre doenças por falta de saneamento e desigualdade;
- Água invisível;
- Novos hábitos para a rotina e curiosidades.

A palestra abrangeu discussões variadas. A Prática, além de sanar dúvidas, contou com a divulgação e colagem de adesivos na empresa frente a conscientização do uso e economia da água (Figura 2).

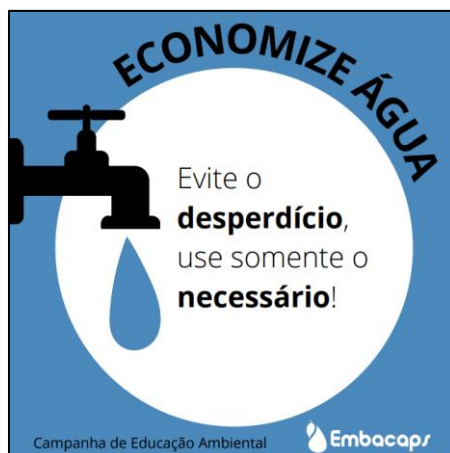


Figura 2: Adesivo sobre uso e economia de água.

Na palestra sobre o tema Energia, apresentaram-se assuntos relacionados a:

- Fontes geradoras de energia: fontes “renováveis” e “não renováveis”;
- Explicação do funcionamento das fontes, seus impactos e a realidade no Brasil: hidráulica, combustíveis fósseis, nuclear, ventos, solar e biomassa;
- Efeito estufa e aquecimento global;
- Diferença entre energia e eletricidade;
- Matriz energética e matriz elétrica do mundo e do Brasil;
- O funcionamento de um circuito elétrico;
- Dados sobre perdas de energia no sistema;
- Sistema Interligado Nacional (SIN);
- Crise energética no Brasil, motivos e medidas tomadas;
- Novos hábitos para a rotina e curiosidades.

A Prática foi baseada na conversa com os funcionários de cada setor e na divulgação e colagem de adesivos sobre a conscientização do uso e economia de energia (Figura 3).



Figura 3: Adesivo sobre uso e economia de energia.

Resultados e Discussões

As palestras possibilitaram a integração dos funcionários através de comentários e perguntas que geraram discussões pertinentes, principalmente nas turmas presenciais. Percebeu-se, em sequência, uma maior atenção dos funcionários para com as questões ambientais trazidas nas atividades, como por exemplo a diminuição do uso de copos plásticos dentro da empresa.

O Questionário 2 buscava reunir os feedbacks dos participantes e compreender o quanto a Campanha e os assuntos tratados até o momento tinham sido esclarecedores. No questionário 2 foram obtidas 28 respostas anônimas.

Sobre Resíduos Sólidos, Água e Energia, respectivamente 67,9%, 77,3%, 71,6% dos funcionários acreditaram que os conteúdos ficaram muito claros.

Para compreender a opinião dos funcionários, questionou-se sobre os assuntos mais interessantes apresentados na Campanha. Alguns dos comentários foram: “quantidade de lixo gerado pelo ser humano”, “ideias de aplicação no dia a dia”, “geração de energia”, “percurso realizado para o descarte de resíduos e valores gastos com isso”, “explicação da crise hídrica e as ramificações de suas consequências”, “a falta de planejamento, de políticas públicas e campanhas para evitar prejuízos num futuro”, “crise hídrica”, “luz solar” etc.

Destacam-se, para campanhas futuras, pontos negativos e/ou construtivos elencados pelos colaboradores, como por exemplo: “participar do treinamento a distância”, “poderíamos ter aprofundado os tópicos”, “trazer mais temas específicos da empresa” etc. Além de alguns assuntos que, segundo os participantes, não haviam ficado claros ou que poderiam ter sido abordados, mas não foram: “como reduzir desperdício em impressões”, “selo verde”, “mais ideias de forma prática de melhorias que possamos fazer dentro da empresa”, “mercado de créditos de carbono e a transição energética”, “separação de resíduos”, “lixo industrial” etc.

Por fim, o Questionário 2 abordou perguntas voltadas às mudanças de atitude, as quais podem ser visualizadas nas Figura 4, Figura 5, Figura 6 e Figura 7. A Campanha gerou resultados positivos no pensamento e na atitude de várias pessoas, mas, mesmo assim, ainda existem conceitos e práticas a serem mais desenvolvidas dentro e fora da empresa.

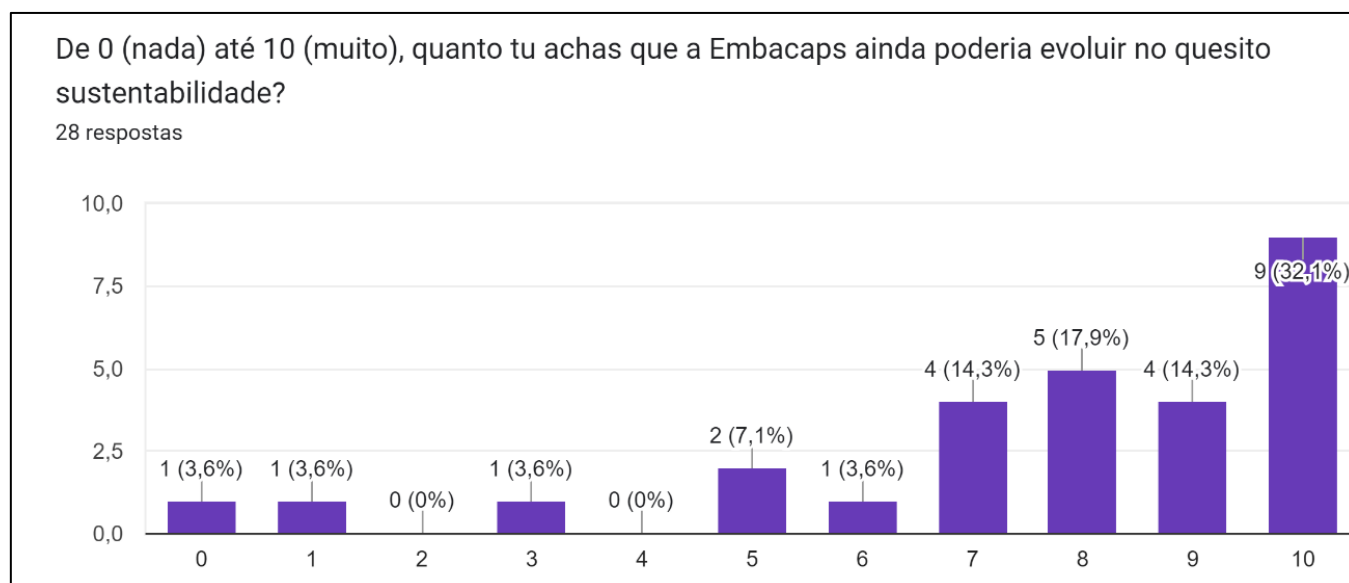


Figura 4: Respostas à pergunta sobre sustentabilidade da empresa.

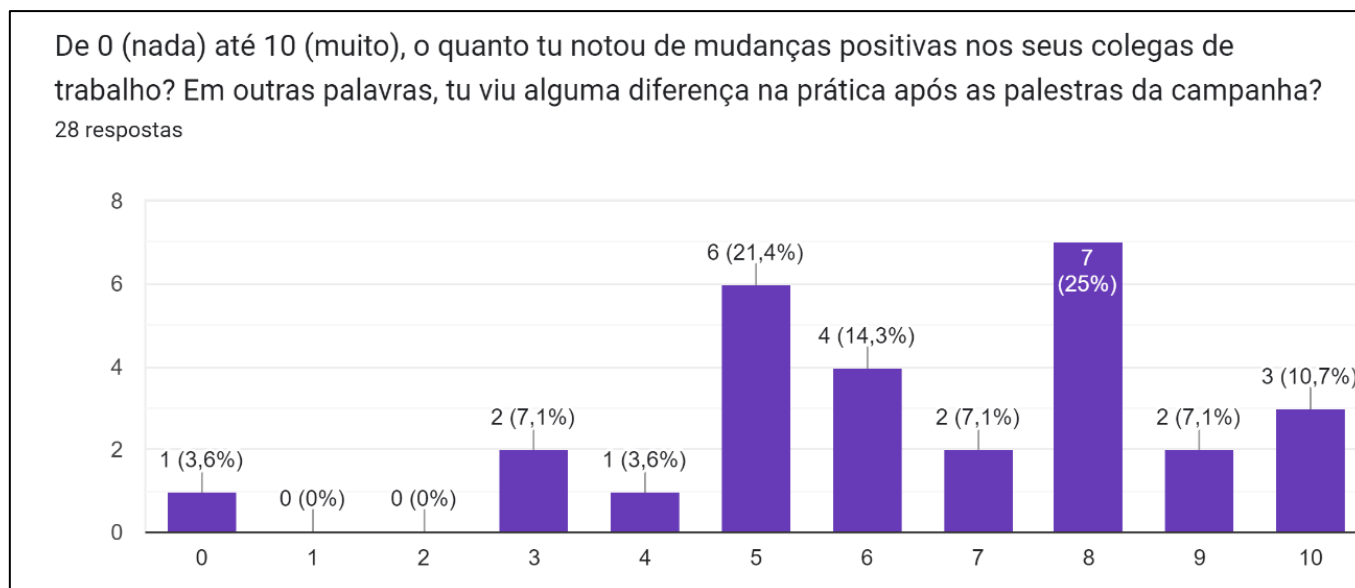


Figura 5: Respostas à pergunta sobre mudanças no trabalho.

De 0 (nada) até 10 (muito), o quanto tu ainda estarias disposto a mudar alguns hábitos para tornar teu dia a dia e o da Embacaps mais sustentável?

28 respostas

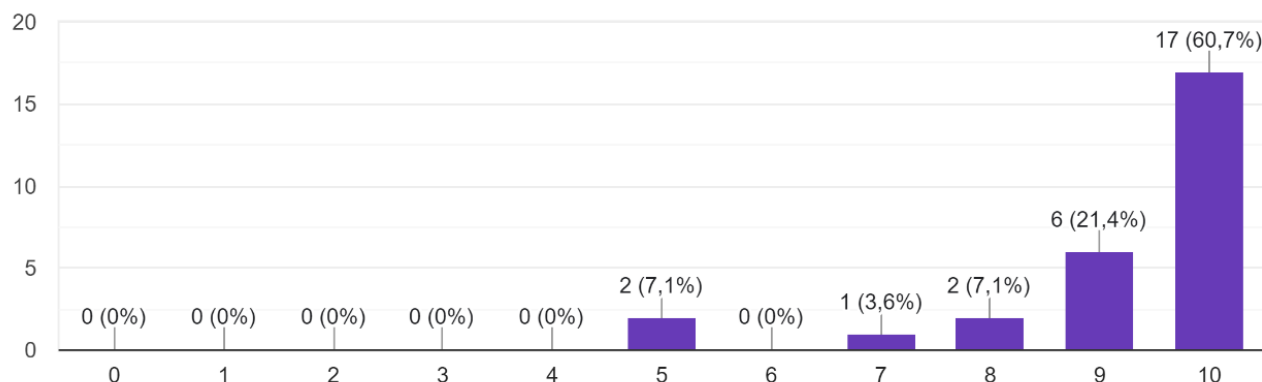


Figura 6 Respostas à pergunta sobre mudança de hábitos.

De 0 (nada) até 10 (muito), o quanto tu acreditas que a campanha de educação ambiental tenha te motivado a repensar determinadas atitudes?

28 respostas

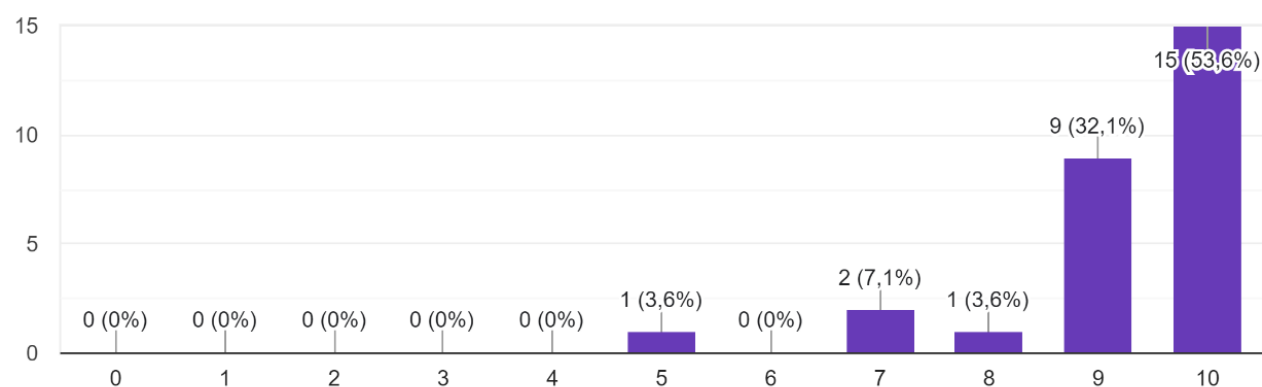


Figura 7: Respostas à pergunta sobre repensar atitudes.

O evento de encerramento contou com uma apresentação que retomou as atividades e práticas desenvolvidas ao longo da Campanha de Educação Ambiental. Neste momento, também foram expostos os adesivos para a distinção das lixeiras, a fim de auxiliar na separação correta dos resíduos tanto nas salas de trabalho (orgânico e seco) como na cozinha (orgânico, plástico, vidro e papel). Por fim, foram repassadas algumas sugestões de documentários e livros pertinentes à questão ambiental.

Ao fim da Campanha de Educação Ambiental, foi desenvolvida uma dinâmica com um Quiz, pela plataforma Kahoot. Organizou-se 4 turmas (3 presenciais e 1 online) com funcionários de diversos setores.

O Quiz abordou 20 questões sobre Resíduos Sólidos, Água e Energia com perguntas de múltipla escolha e verdadeiro ou falso. A ideia era que o jogo fosse individual, mas também foram feitas algumas duplas para que todos tivessem um aparelho conectado à internet para participar. Os três primeiros participantes que mais fizeram pontos do Quiz tinham direitos a brindes ecológicos: esponja ecológica de rede de pesca reciclada, sabão sólido de óleo de cozinha reciclado e filtro de café de pano. O primeiro lugar escolhia seu brinde primeiro e assim, sucessivamente. Na Figura 8 tem-se uma foto tirada com os vencedores de uma das turmas presenciais.



Figura 8: Foto da entrega dos brindes no Quiz.

Destaca-se que, infelizmente, ocorreram alguns problemas de conexão, gerando erros em questões que, porventura, não aconteceriam, principalmente com a turma online. Os resultados de acertos e erros estão dispostos na Tabela 1.

Turma	Acertos	Erros
Online	27,00%	73,00%
Presencial 1	54,58%	45,42%
Presencial 2	44,00%	56,00%
Presencial 3	46,82%	53,18%

Tabela 1: Resultados das perguntas no Quiz.

No Quiz foi possível perceber a grande interação das participantes com o momento, buscando responder todas as perguntas e competir pelos brindes sustentáveis. A atividade foi muito proveitosa pois, independente dos erros e acertos, todas as questões foram debatidas logo após a finalização, com o intuito de elucidar as respostas e, ainda, sanar dúvidas.

Comentários Finais

A Campanha de Educação Ambiental na Embacaps buscou desenvolver os temas de Resíduos Sólidos, Água e Energia de forma simples e prática, conectando com a rotina na empresa e dos seus colaboradores, bem como estimular a sustentabilidade em seus três pilares: social, econômico e ambiental.

A Campanha abrangeu diferentes atividades: organização do plano de trabalho e respectivo cronograma, questionário inicial, palestras e práticas sobre os temas, questionário final e encerramento com dinâmica do Quiz. Com isso, foi possível estabelecer uma troca de conhecimentos e experiências com os colaboradores, além de proporcionar à empresa uma atividade de acordo com suas necessidades.

O Questionário 1 obteve o maior número de respostas, o que pode ser explicado pelo fato de que o Questionário 2 foi passado próximo ao período do recesso. Também, elenca-se a possibilidade de menor engajamento dos funcionários ao final da Campanha.

Percebe-se que o formato online não foi tão efetivo quanto o presencial, visto as interações ao longo das palestras, a impossibilidade de desenvolver as atividades práticas, o resultado do Quiz e alguns feedbacks. Não obstante, foi de suma importância o desenvolvimento de uma turma online para que todos os funcionários tivessem acesso a Campanha.

Conclui-se, pelo retorno da empresa e de seus funcionários, que a Campanha possibilitou uma mudança de pensamentos e atitudes a curto prazo, com efeito na rotina das pessoas. Porém, nada se pode afirmar sobre os resultados a médio e longo prazo, visto que isso requer, muitas vezes, mudanças de hábitos mais profundos. Desde modo, aponta-se para continuação de atividades vinculadas com a sustentabilidade a fim de possibilitar maiores avanços no pensamento ambiental dentro e fora da empresa.

A interação com todas as pessoas foi muito importante e permitiu a construção de uma Campanha diversa e coerente com os interesses da empresa. Verificou-se que a experiência foi benéfica para os funcionários, tendo em vista os feedbacks e as respostas advindas no Questionário 2 e do Quiz. Também, ressalta-se para a importância de momentos como esse a serem desenvolvidos em outras empresas e ambientes, com o intuito de aprimorar a educação ambiental em seus diversos sentidos.

Agradecimentos

Agradeço o trabalho solícito do profissional Pedro Ivo Villetti (ILV Assessoria Técnica Ambiental) e da profissional Kathleen Farias (Embacaps), bem como de toda empresa e funcionários da Embacaps. Também agradeço o auxílio da professora Teresinha Guerra.

Referências Bibliográficas

Constituição Brasileira. 1999. Lei nº 9.795. Brasil.

Constituição Brasileira. 2010. Lei nº 12.305. Brasil.

Cardoso, D. M. 2014. Educação para sustentabilidade: uma abordagem multidisciplinar. Pará.

Guimarães. M. 2006. Relações entre educação ambiental e educação em ciências na complementaridade dos espaços formais e não formais de educação. Curitiba.

Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. Conceitos de Educação Ambiental. Mato Grosso. Disponível em: <<https://www.imasul.ms.gov.br/conceitos-de-educacao-ambiental/>>.

Rodrigues, L. H. P. 2015. A educação ambiental crítica e problematizadora – não é uma opção, é a única saída para dar eficácia ao dispositivo constitucional. Revista Digital Simonsen, Rio de Janeiro.

Zibetti, D. W. 2006. Seguro agrícola e desenvolvimento sustentável. Curitiba.

AVALIAÇÃO DA INSERÇÃO DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM ESCOLAS BÁSICAS DO MUNICÍPIO DE SUMÉ, PB

Dalvana Genai Lopes de Oliveira Souza¹, Fabrícia Torreão Araújo de Alcântara², Jorismar de Oliveira Sena³, Hugo Morais de Alcântara⁴

¹Universidade Federal de Campina Grande, mestranda do ProfÁgua-UGCG, E-mail: dalvana.genai@estudante.ufcg.edu.br;

²Universidade Federal de Campina Grande, mestranda do ProfÁgua-UFCG, E-mail: fabricia.torreao.@estudante.ufcg.edu.br

³Universidade Federal de Campina Grande, mestrando do ProfÁgua-UFCG, E-mail: jorismar.oliveira.@estudante.ufcg.edu.br

⁴Universidade Federal de Campina Grande, docente do ProfÁgua-UFCG, E-mail: hugo.morais@professor.ufcg.edu.br

Palavras-chave: Educação Ambiental; Escolas; Sustentabilidade

Resumo

A Educação Ambiental deve ser considerada como prioritária para implantação nos ambientes escolares e quando se trata de escolas do campo, pois entende-se ser este o ambiente propício para uso de estratégias e implantação de metodologias que possam contribuir positivamente para o desenvolvimento e conservação do meio ambiente, bem como na redução do êxodo rural. A implantação da Educação Ambiental em escolas deve ter como objetivo principal promover a sensibilização de diversos atores sociais sobre os problemas ambientais e a compreensão da necessidade de conservação dos ecossistemas naturais. É importante ressaltar que a inserção da Educação Ambiental ao currículo escolar deve ocorrer de forma transversal e interdisciplinar, abrangendo diferentes disciplinas e áreas de conhecimento. O objetivo deste trabalho é compreender como a Educação Ambiental pode influenciar no cotidiano e comportamento dos discentes e de seus familiares, incluindo as formas de atuação, discussão e implementação nas escolas do campo, localizadas no município de Sumé, PB. Este trabalho foi desenvolvido com base em pesquisa bibliográfica e documental, consulta aos sites institucionais da Prefeitura Municipal de Sumé, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e em periódicos científicos que evidenciaram o tema da Educação Ambiental e sua associação com o desenvolvimento sustentável. Foram realizadas visitas à Secretaria de Educação e em escolas do município de Sumé, com objetivo de identificar ações inseridas na formação dos discentes, em escolas do meio rural. Existem três escolas situadas na zona rural, consideradas como nucleadas, localizadas no sítio Conceição, UMEIEF João de Souza, código INEP – 25050125, no sítio Poço da Pedra, UMEIEF Manoel Inácio, código INEP – 25050222 e na escola localizada no Distrito de Pio X, denominada UMEIEF José Bonifácio Barbosa de Andrade, código INEP – 25050370, que possuem 203 alunos, vinculados a Educação Infantil e Fundamental II. As localizações destas escolas foram consideradas, pelos gestores locais, como sendo estratégicas, haja vista que recebem discentes de diferentes comunidades rurais do município. A partir de diagnóstico preliminar, realizado pelos docentes do município, em parceria com discentes e docentes vinculados aos cursos de graduação e de Pós-Graduação do Campus de Sumé da Universidade Federal de Campina Grande, foi possível identificar a inserção dos conceitos de meio ambiente, sustentabilidade, ecossistemas, conservação de recursos naturais, reciclagem, reaproveitamento e reutilização de produtos derivados de plásticos, PETs, PVCs, papelão, borracha, etc., nas turmas do Ensino Fundamental II, que ocorreram após realização de aulas práticas, palestras, oficinas e gincanas educativas escolas do campo, evidenciando a valorização de práticas produtivas orgânicas, da conservação ambiental, da produção de mudas, recuperação de áreas degradadas, do consumo consciente dos recursos naturais do bioma Caatinga, bem como dos escassos recursos hídricos nas regiões do Cariri e Semiárido, no estado da Paraíba. De acordo com os resultados obtidos foi possível identificar que a gestão do município de Sumé, PB, tem implantado ações para atender, em logo prazo, os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS), vinculados a Agenda 2030. A inserção de técnicas e práticas da Educação Ambiental ocorreu principalmente nas escolas do campo, localizadas no distrito de Pio X, nas comunidades sítios Conceição e Poço da Pedra, mas há intenção de implantar essas ações nas escolas localizadas no meio urbano do município de Sumé, PB. Desenvolver habilidades por meio de técnicas da Educação Ambiental, de forma prática nos ambientes escolares, facilitará a sensibilização da comunidade escolar e de seu entorno, valorizando práticas agroecológicas, com objetivo de favorecer a construção de comunidades resilientes e sustentáveis.

Introdução

A Educação Ambiental deve ser considerada como prioritária para implantação nos ambientes escolares e quando se trata de escolas do campo, entende-se ser este o ambiente propício para uso de estratégias e implantação de metodologias que possam contribuir positivamente para o desenvolvimento e conservação do meio ambiente, bem como na redução do êxodo rural. Em 1999, foi instituída a Política Nacional de Educação Ambiental, após promulgação da Lei Federal nº 9.795, de 27 de abril de 1999, considerada por especialistas como uma norma que permite dirimir dúvidas pedagógicas sobre a natureza da Educação Ambiental (Brasil, 1999, p.7).

Entre as finalidades da utilização de técnicas de Educação Ambiental, a promoção da implantação de ações vinculadas em nível global permanentes, onde comunidades tomam consciência da realidade global, dos tipos de relacionamento que as

peças mantêm entre si e a natureza, além dos problemas que surgem decorrentes dessas relações, torna-se relevante para disseminar ideias e práticas efetivas na busca pelo desenvolvimento sustentável. Desta forma, a Educação Ambiental deve ser utilizada como uma expansão do desenvolvimento educativo, em que acontece a participação ativa da escola no processo de um novo paradigma, que preza pelas aspirações da população, como a qualidade da vida, a melhoria de aspectos socioeconômicos, bem como a conservação do meio ambiente (Unesco, 2005).

No Brasil, a Constituição Federal de 1998, dedicou um capítulo que faz referência a necessidade de formação baseada em valores e atitudes que promovam soluções emergenciais que contribuam para reverter a situação ambiental em que o planeta se encontra, o que pode ser usado para fomentar a inclusão da Educação Ambiental nas escolas.

Ao definir e elaborar a proposta pedagógica da escola deve-se apresentar as diretrizes e objetivos educacionais específicos para atender às necessidades dos estudantes e da comunidade, sendo necessário considerar as características sociais, econômicas, culturais e ambientais, valorizando a vivência e os saberes locais. A Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, dispõe sobre a Educação Ambiental, instituiu a Política Nacional de Educação Ambiental e deu outras providências. Em seu Art. 1º, define-se a Educação Ambiental como sendo composta de “processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a preservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial a sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade” (Brasil 1999).

A implantação da Educação Ambiental em escolas deve ter como objetivo principal promover a sensibilização de diversos atores sociais sobre os problemas ambientais e a compreensão da necessidade de conservação dos ecossistemas naturais. As escolas são locais onde os aprendizes têm a oportunidade de assimilar de forma prática e imersiva, dentro e fora do ambiente tradicional da sala de aula. Esse tipo de conteúdo interdisciplinar pode ser implementado de várias maneiras, dependendo dos recursos disponíveis e dos objetivos específicos de cada ambiente escolar. No entanto, deve-se estimular o uso de atividades práticas, pois desempenham um papel fundamental para um efetivo aprendizado, onde as experiências fora da sala de aula que aproveitam o espaço externo das escolas, permitem que os discentes vivenciem os conceitos estudados na escola e desenvolvam suas habilidades.

As escolas do campo podem favorecer a implantação de técnicas da Educação Ambiental associadas a vivência e cultura local, aproveitando casos de sucesso de manutenção dos camponeses no meio rural, considerando aspectos da conservação ambiental, respeitando a capacidade de suporte de uso dos recursos naturais para a manutenção das atividades produtivas e permanência do homem no seu local de origem, gerando renda e permitindo a sustentabilidade ambiental, social e econômica. É importante que os sujeitos do campo tenham direito a uma educação pensada, desde o seu lugar e com a sua participação, vinculada à sua cultura e suas necessidades humanas e sociais (Caldart, 2002). Dentro dessa proposta, é importante estabelecer uma educação que promova a liberdade, a produção e disseminação de conhecimento, a conservação ambiental e a geração de renda. Isso pode ser alcançado por intermédio de métodos pedagógicos que valorizam as habilidades práticas e a formação integral dos estudantes, estimulando a participação ativa em atividades produtivas relacionadas à agricultura, pecuária ou outras áreas relevantes para a comunidade local.

Segundo Molina (2015), o curso de graduação em Licenciatura em Educação do Campo tem como alvo a escola de Educação Básica, com destaque na Construção da Organização Escolar e do Trabalho Pedagógico para os anos finais do Ensino Fundamental e do Ensino Médio. Nesta perspectiva o município de Sumé, PB, abriu vagas em concurso público para seleção de docentes, exclusivas para profissionais formados nesta área, no intuito de promover nas escolas do campo de sua rede de ensino, uma aprendizagem focada na sustentabilidade e valorização do meio rural, trabalhando com ferramentas metodológicas que incluem técnicas de Educação Ambiental, visando a permanência dos camponeses na zona rural, contribuindo assim, com a integração dos conteúdos tradicionais abordados em sala de aula, associados a conservação da fauna e flora do bioma Caatinga, que apresenta distintos níveis de degradação na região semiárida do estado da Paraíba.

A proposta pedagógica da escola do campo também deve enfatizar a importância da construção de saberes locais. Isso significa valorizar os conhecimentos tradicionais e as práticas culturais da comunidade, integrando-os ao currículo escolar. Essa abordagem contribui para o fortalecimento da identidade e da autoestima dos discentes, além de promover a preservação da cultura e do patrimônio local. É fundamental que a proposta pedagógica seja construída de forma participativa, envolvendo a comunidade escolar, discentes, docentes, gestão, familiares e outros atores da localidade. Dessa forma, ela poderá representar de maneira autônoma as necessidades e aspirações da escola do campo, promovendo uma educação de qualidade, relevante e significativa para os estudantes e para o desenvolvimento sustentável em nível de comunidade.

A inserção da Educação Ambiental em escolas do campo deve usar uma abordagem educacional a qual, promova a sensibilização da comunidade escolar sobre os problemas ambientais e suas consequências, bem como promover a compreensão da importância da conservação dos ecossistemas naturais. O papel dos professores como mediadores da problemática ambiental é fundamental, eles devem se envolver e criar um ambiente de aprendizagem estimulante, onde os discentes possam explorar, questionar e refletir sobre o meio ambiente, incentivando a curiosidade, o pensamento crítico, o engajamento do alunado para que possam se tornar agentes de mudança e a adotem comportamentos que favoreçam a busca da sustentabilidade (Sorrentino & Trajeri, 2007). É importante ressaltar que a Educação Ambiental nas escolas deve ser integrada ao currículo escolar de forma transversal e interdisciplinar, ou seja, abrangendo diferentes disciplinas e áreas de conhecimento. (Jacobi 2003, p. 193) entende que “A Educação Ambiental é condição necessária para mudar a situação em que a deterioração socioambiental diminuiu”. A formação e o engajamento dos educadores são fundamentais para implementar técnicas de Educação Ambiental, bem como a existência de parcerias com instituições, especialistas locais que favoreça e enriqueça a troca de experiências entre os envolvidos.

O objetivo deste trabalho é compreender como a Educação Ambiental pode influenciar no cotidiano e comportamento dos discentes e de seus familiares, incluindo as formas de atuação, discussão e implementação nas escolas do campo, localizadas no município de Sumé, PB.

Material e métodos

Este trabalho foi desenvolvido com base em pesquisa bibliográfica e documental, consulta aos sites institucionais da Prefeitura Municipal de Sumé, PB, do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, o campus de Sumé da Universidade Federal de Campina Grande e em periódicos científicos que evidenciaram o tema da Educação Ambiental e sua associação com o desenvolvimento sustentável, a sustentabilidade ambiental, econômica e social, buscando correlacioná-los com as discussões atuais e locais sobre a implantação de técnicas da Educação Ambiental em ambientes escolares, incluindo as escolas do município de Sumé, PB, que possui escolas nos meios urbano e rural.

Foram realizadas visitas na Secretaria de Educação e em escolas do município de Sumé, com objetivo de identificar ações efetivamente inseridas na formação dos discentes, em escolas do Ensino Infantil e Fundamental. Existem três escolas situadas na zona rural, consideradas como nucleadas, localizadas uma, no sítio Conceição, denominada Unidade Municipal de Ensino Infantil e Ensino Fundamental – UMEIEF João de Souza, código INEP – 25050125, a outra escola, no sítio Poço da Pedra, denominada Unidade Municipal de Ensino Infantil e Ensino Fundamental – UMEIEF Manoel Inácio, código INEP – 25050222 e a escola localizada no Distrito de PIO X, denominada Unidade Municipal de Ensino Infantil e Ensino Fundamental – UMEIEF José Bonifácio Barbosa de Andrade, código INEP – 25050370, que possuem 203 alunos, vinculados a Educação Infantil e Fundamental II. Durante as visitas nas escolas houve reuniões com gestores escolares, docentes e discentes.

As localizações destas escolas foram consideradas, pelos gestores locais, como sendo estratégicas, haja vista que recebem discentes de diferentes comunidades rurais do município. O município de Sumé, PB, fica localizado na região do Cariri Ocidental, zona semiárida do estado da Paraíba, possui coordenadas geográficas (7° 40' 19" S, 36° 52' 48" W), área de 833.3 km², clima seco semiárido quente, pluviosidade média anual de 574,7 mm e temperatura média de 23,8 °C (Sumé, 2023).

A formação dos docentes contratados pelo município de Sumé, PB, egressos do curso de Licenciatura em Educação do Campo, para atuar nas escolas localizadas na zona urbana e rural, oportunizou maior número de docentes trabalhando nos ambientes escolares da zona rural do município, bem como favoreceu a inserção de princípios e técnicas de Educação Ambiental.

A partir de diagnóstico preliminar, realizado pelos docentes do município, em parceria com discentes e docentes vinculados aos cursos de graduação e de Pós-Graduação do Campus de Sumé da Universidade Federal de Campina Grande, foi possível identificar a inserção dos conceitos de meio ambiente, sustentabilidade, ecossistemas, conservação de recursos naturais, reciclagem, reaproveitamento e reutilização de produtos derivados de plásticos, PETs, PVCs, papelão, borracha, etc., nas turmas do Ensino Fundamental II, que ocorreram por meio de aulas práticas de campo, palestras, oficinas e gincanas educativas nas três escolas do campo, evidenciando a valorização de práticas produtivas orgânicas, da conservação ambiental, da produção de mudas, recuperação de áreas degradadas, do consumo consciente dos recursos naturais do bioma Caatinga, bem como dos escassos recursos hídricos das regiões do Cariri e Semiárido, no estado da Paraíba.

Durante as palestras foram abordados temas relevantes em todo planeta, como as mudanças do clima, coleta e destinação do lixo orgânico e não orgânico, a importância do fortalecimento da coleta seletiva do lixo, da necessidade de criação ou manutenção de cooperativa(s) de catadores de lixo, de usinas de compostagem, da existência de aterros sanitários nos municípios, da produção de alimentos orgânicos, da utilização dos princípios agroecológicos, da necessidade de redução de uso água na agricultura, com utilização de irrigação por gotejamento, do incentivo ao consumo consciente e necessidade de reutilização de produtos plásticos e PETs, para caracterização climática local e adaptação para o convívio com a semiaridez, incluindo a regeneração e recomposição vegetal do bioma Caatinga.

As oficinas realizadas com a participação de docentes, discentes e gestores das escolas do campo utilizaram técnicas de Educação Ambiental para sensibilizar toda a comunidade escolar e comunidades do entorno destes ambientes escolares, sobre a importância da conservação do meio ambiente, da manutenção de espécies nativas do bioma caatinga, do planejamento de uso da área das propriedades rurais, respeitando a sua capacidade de suporte produtivo, considerando o uso na agricultura, pecuária ou na agropecuária, bem como da necessidade de atendimento às normas da legislação ambiental brasileira, da necessidade da regularização fundiária, considerando a obtenção do cadastro ambiental rural e da escritura das propriedades rurais.

As gincanas educativas trabalharam o tema do consumo excessivo e o poder da mídia sobre a estimulação da compra de produtos derivados da tecnologia que geram impactos ambientais negativos sobre o meio ambiente, para sensibilizar a comunidade escolar sobre os riscos associados ao consumo desenfreado e sem planejamento.

O município de Sumé também está implantando ações que visam adequações para o cumprimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Agenda 2030, onde as escolas estão sendo beneficiadas.

Resultados e discussão

O desenvolvimento rápido da tecnologia favoreceu o acesso aos dispositivos móveis e com a chegada da internet na maior parte do Brasil, a educação formal no campo se torna cada dia mais complexa, mas necessária, pois nem sempre os governos municipais e estaduais dão o devido reconhecimento a essa formação básica, para que seja desenvolvida em escolas

localizadas no meio rural dos municípios brasileiros, principalmente por enfatizar no currículo práticas sustentáveis e que valorizam a realidade rural, haja vista que os alunos buscam reproduzir o que veem na mídia, desvalorizando as riquezas locais e os saberes adquiridos por meio da convivência com seus antepassados, que podem ser aprimorados com técnicas adequadas, respeitando os costumes, a cultura local e o meio ambiente.

A Secretaria de Educação do município de Sumé, estado da Paraíba, Nordeste do Brasil, por meio do programa Escola Sustentável, destina recursos financeiros às escolas públicas da educação básica, para fomentar a melhoria da qualidade do ensino e a promoção da sustentabilidade socioambiental nas unidades escolares, considerando as particularidades apresentadas pela gestão local, o currículo e o espaço físico. Uma das primeiras ações implantadas por esse projeto, nas escolas do município de Sumé, PB, foi o recolhimento de livros e revistas inservíveis, para serem reciclados e descartados de forma sustentável. A conclusão desta ação estava prevista para ocorrer no mês de fevereiro de 2023, mas tornou-se uma ação permanente e, até o momento, já foram recolhidos aproximadamente 7 Toneladas de papéis, revistas e livros, destinados à reciclagem.

O município de Sumé está engajado no desenvolvimento de ferramentas metodológicas e do uso de técnicas de Educação Ambiental para proteção ao meio ambiente associadas a Agenda 2030. Para esse fim criou uma comissão com participação de representantes de todas secretarias de governo, com objetivo de iniciar ações vinculadas aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) nas escolas (Sumé, 2023). A partir destas informações e após a realização das visitas aos ambientes escolares, foi possível identificar que a Secretaria de Educação está empenhada para realizar trabalhos direcionados na busca pela sustentabilidade, principalmente nas escolas do campo.

A inserção dos conteúdos, dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), nas escolas do município foi iniciada nas escolas do campo, por meio da aquisição e distribuição de álbuns de figurinhas, para que os docentes possam trabalhar de forma lúdica e interativa com os discentes, abordando inicialmente sobre a estrutura global que as Nações Unidas utilizam para orientar esforços junto às organizações governamentais e não governamentais, envolvendo diversos atores sociais, em torno de uma agenda global comum, além da importância da participação dos indivíduos, na promoção do desenvolvimento sustentável. Os ODS fornecem diretrizes para implementação de ações e políticas que promovem a cooperação e o engajamento de diferentes atores sociais para o enfrentamento de desafios sociais, econômicos, de saúde e ambientais.

O trabalho implantado nas escolas do campo por meio dos álbuns de figurinhas fomentaram a discussão de vários dos objetivos do desenvolvimento sustentável, mas com destaque para os ODS 4, 6, 11, 12 e 15, nas turmas que iniciaram essa experiência exitosa, pois ampliaram a discussão sobre a sustentabilidade. Segundo informações da Secretaria de Educação do município de Sumé, PB, existe intenção de expandir essa ação em todas as escolas públicas geridas pelo município.

No município de Sumé, PB, os professores têm a oportunidade de receber os conhecimentos científicos adequados para lecionar com eficiência nestas escolas, por meio da oferta de cursos de graduação e pós-graduação no Centro de Desenvolvimento do Semiárido, o campus de Sumé da Universidade Federal de Campina Grande, através da graduação no curso Interdisciplinar de Licenciatura em Educação do Campo e de cursos de especialização em Educação Contextualizada com o Semiárido, além dos Programas de Pós-Graduação, em nível de mestrado, na categoria profissional, em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua) e de Ciências Sociais (ProfSócio). A Licenciatura em Educação do Campo tem como objetivo, pela sua especificidade, formar professores(as) para atuar nas Escolas Básicas do Campo, preparando educadores para uma atuação que permite ir além da docência, oferecendo aspectos da gestão dos processos educativos que acontecem na Escola. Para tanto seu projeto pedagógico se caracteriza, para se desenvolver de modo que articule o ensino, a pesquisa e a extensão, habilitando professores para a docência multidisciplinar nos anos finais do Ensino Fundamental e Médio, por meio de um currículo organizado por áreas de conhecimentos (UFCG, 2023).

Das três escolas do campo que realizam atividades práticas, a escola José Bonifácio Barbosa de Andrade, situada no Distrito de Pio X, do município de Sumé, PB, possui um projeto que tem como premissa a produção de alimentos com manejo agroecológico, aproveitando técnicas já utilizadas pelos agricultores, envolvendo plantio diversificado e criação de aves, sem uso de defensivos agrícolas e/ou fertilizantes minerais. A produção de mudas ocorre em ambiente protegido, com a finalidade de minimizar os ataques de pragas, garantindo a eficiência no uso da água, aumentando a qualidade dos produtos e reduzindo as perdas. Foi implantada uma unidade denominada de Produção Agroecológica Integrada e Sustentável (PAIS), com cultivo protegido de mudas de frutíferas, espécies nativas da caatinga, hortaliças, plantas medicinais e ornamentais. O PAIS é uma tecnologia social implantada em parceria com o SEBRAE e Banco do Brasil, que promove inclusão social e geração de renda por meio do cultivo orgânico de diversas hortaliças, em canteiros circulares, integrado a produção de proteína, que neste caso se concebeu para ser realizado com a criação de galinhas, em função das características climáticas e da insegurança hídrica do Semiárido paraibano. Uma composteira auxilia na produção de substratos e húmus.

Um meliponário composto por 10 colmeias de abelhas nativas sem ferrão, da espécie *Melipona subnitida*, conhecida popularmente como “Jandaira”, considerada importante na região Nordeste do Brasil e de boa adaptação ao bioma Caatinga. Há envolvimento de diversos atores sociais que participam de associação de produtores rurais e residem no entorno da escola localizada no distrito do Pio X. Na área interna da escola foram instalados canteiros para a produção de hortaliças, por meio de um projeto denominado “Horta Pedagógica”, com consumo mínimo de água para irrigação, além de uma parceria firmada entre a escola e a Associação do Distrito de Pio X, onde os sócios cultivam na área pertencente a escola, milho e feijão, fortalecendo a integração entre escola e comunidade (Sumé 2022).

Na Figura 1 pode-se observar as instalações do Projeto PAIS, localizada na Escola Municipal de Ensino Infantil e Ensino Fundamental – UMEIEF José Bonifácio Barbosa de Andrade.



Figura 1 – Projeto PAIS instalado na UMEIEF José Bonifácio Barbosa de Andrade Fonte: Sumé (2022)

Na escola do campo, denominada Unidade Municipal de Ensino Infantil e Ensino Fundamental João de Sousa existe no ambiente escolar, o cultivo de hortaliças, que auxiliam no desenvolvimento de atividades práticas para a produção de alimentos orgânicos com aproveitamento na alimentação dos discentes.

Na Figura 2 pode-se observar parte do ambiente externo da escola do campo UMEIEF João de Sousa, localizada no Sítio Conceição.



Figura 2 – UMEIEF João de Sousa Fonte: Sumé (2023)

A escola rural localizada no Sítio Poço da Pedra, denominada de UMEIEF Manoel Inácio da Silva, foi ampliada recentemente, onde os alunos podem praticar técnicas de manejo e cultivo de hortaliças, verduras e plantas medicinais, em uma horta. Alguns produtos já são consumidos na escola, após introdução destes na alimentação escolar, o que de fato é importante quando se trata de educação ambiental, conforme os autores (Rizzolo; Recine; Fátima, 2005, p.3) “Os alimentos trazem significações culturais, comportamentais e afetivas singulares que jamais podem ser desprezadas. O alimento como fonte de prazer também é uma abordagem necessária para promoção da saúde”.

Na Figura 3 pode-se observar a imagem da escola do campo, localizada no Sítio Poço da Pedra, denominada UMEIEF Manoel Inácio da Silva.



Figura 3 – UMEIEF José Manoel Inácio da Silva Fonte: Sumé (2008)

As escolas do campo do município de Sumé, PB, possuem cultivo de hortaliças, que mesmo não suprimindo as necessidades alimentares da demanda escolar, promovem atividades práticas para a produção e aproveitamento na alimentação dos discentes, além de trabalhos com a coleta seletiva e descarte adequado de materiais, ressaltando que os alunos aprendem na escola e repassam seu aprendizado aos familiares e, conseqüentemente, para a comunidade em seu entorno, o que favorece práticas exitosas e sustentáveis, tendo o meio ambiente e a produção de alimentos orgânicos como prioridades.

Considerações finais

De acordo com os resultados obtidos foi possível identificar que a gestão do município de Sumé, PB, tem implantado ações para atender, em logo prazo, os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS), vinculados a Agenda 2030.

A inserção de técnicas e práticas da Educação Ambiental ocorreu principalmente nas escolas do campo, localizadas no Distrito de Pio X, nas comunidades sítios Conceição e Poço da Pedra, mas há intenção de implantar essas ações nas escolas localizadas no meio urbano do município de Sumé, PB.

A educação vai além da simples transmissão de informações e desempenha um papel fundamental na formação dos indivíduos e na promoção de valores. É um processo transformador que incide sobre a identidade e as posturas dos aprendizes em relação ao mundo. Ao integrar a Educação Ambiental no currículo escolar e nas práticas pedagógicas, foi possível desenvolver habilidades e valores, com sensibilização de toda comunidade escolar sobre a necessidade da conservação do meio ambiente e recuperação de áreas degradadas, desenvolvimento de habilidades e fortalecimentos de valores como a cooperação.

Inserir conteúdos vinculados a sustentabilidade em escolas básicas é essencial para sensibilização da comunidade escolar sobre a necessidade de associar o desenvolvimento social, econômico e a conservação dos ecossistemas naturais, promovendo a recuperação de áreas degradadas quando necessário.

Desenvolver habilidades por meio de técnicas da Educação Ambiental, de forma prática nos ambientes escolares, facilitará a sensibilização da comunidade escolar e de seu entorno, valorizando práticas agroecológicas, com objetivo de favorecer a construção de comunidades resilientes e sustentáveis.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências bibliográficas

BRASIL. Ministério de Educação e Cultura. LDB - Lei nº 9394/96, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Brasília - DF, de 20 de dezembro de 1996.

BRASIL. Lei nº 9.795 de 27 de abril de 1999, que dispõe sobre a Educação Ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Diário Oficial, Brasília, 1999

CALDART. Roseli Salet et al. (Org). Caminhos para transformação da Educação: Reflexões desde práticas da Licenciatura em Educação do Campo. São Paulo: Expressão Popular, 2002.

FARIA, D. R.; OLIVEIRA, S. Educação Ambiental na escola do Campo: uma forma de preservar o futuro. Monográfica (especialização), Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2015. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/38685/R%20DAGUIOMAR%20DO%20ROSARIO%20FARIA.pdf?sequencia=1&isAllowed=y>. Acesso em 28 de Jun. de 2023.

JACOBI, P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. [S.l.: s.n.], 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cp/n118/16834.pdf>. Acesso em 30 de jun de 2023

MOLINA, Monica Castagna. Expansão das Licenciaturas em Educação do Campo: desafios e potencialidades, UFPR, Curitiba; 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SUMÉ – Disponível em: <https://www.sume.pb.gov.br/sec-de-educacao/>. Acesso em 01 de jul de 2023

PREFEITURA MUNICIPAL DE SUMÉ - Campanha recolhe quase 6 toneladas de livros e revistas. Disponível em - <https://www.sume.pb.gov.br/2023/02/campanha-recolhe-quase-6-toneladas-de-livros-e-revistas/>. Acesso em 01 de jul de 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SUMÉ - Prefeito Édén Duarte entrega reforma e ampliação de escola rural na comunidade Poço da Pedra. Disponível em: <https://www.sume.pb.gov.br/2018/06/prefeito-eden-duarte-entrega-reforma-e-ampliacao-de-escola-rural-na-comunidade-poco-da-pedra/>. Acesso em 06 de jul de 2023

PREFEITURA MUNICIPAL DE SUMÉ – História. Disponível em: <https://www.sume.pb.gov.br/historia/> Acesso em 06 de jul de 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SUMÉ - Sumé concorre ao Prêmio Estratégia ODS Brasil 2022. Disponível em: <https://www.sume.pb.gov.br/2022/05/sume-concorre-ao-premio-estrategia-ods-brasil-2022/>. Acesso em 01 de jul de 2023

RIZZIOLO, Anelise; RECINE, Elisabete; FÁTIMA, Maria. O que é uma alimentação saudável? Considerações sobre o conceito, princípios e características: uma abordagem ampliada. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de assistência à Saúde. Departamento de atenção Básica. 2005.

SORRENTINO, M.; TRAJBER, R. Políticas de Educação Ambiental do órgão gestor. In: MELLO, S. S.; TRAJBER, R. (Coord.). Vamos cuidar do Brasil: conceitos e práticas em educação ambiental na escola. Brasília: UNESCO, 2007. cap. 2.

UNESCO. Década da Educação das Nações Unidas para um Desenvolvimento Sustentável, 2005-2014: documento final do esquema internacional de implementação, Brasília - DF, Brasil, 2005. 44 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – Disponível em: <https://portal.ufcg.edu.br/graduacao/cursos-graduacao/275-educacao-do-campo-cdsa-d.html>. Acesso em 30 de jun de 2023.

A INFLUÊNCIA DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA REDUÇÃO DO CONSUMO: UMA ABORDAGEM PRÁTICA PARA A SUSTENTABILIDADE

1 Jorismar de Oliveira Sena, 2 Hugo Morais de Alcântara, 3 Daisy Beserra Lucena, 4 Fabrícia Torreão Araújo de Alcântara, 5 Adriana Alves de Lima, 6 Érica Sílvia de Oliveira Silva, 7 Dalvana Genai Lopes de Oliveira Souza, 8 George Gérson Araújo da Silva

1 Universidade Federal de Campina Grande – UFCG - CDSA, e-mail: hugo.morais@professor.ufcg.edu.br; 2 Universidade Federal de Campina Grande – UFCG - CDSA, e-mail: jorismar.oliveira@estudante.ufcg.edu.br; 3 Universidade Federal da Paraíba – UFPB – João Pessoa, e-mail: daisy lucena@yahoo.com.br; 4 Universidade Federal de Campina Grande – UFCG - CDSA, e-mail: fabricia.torreo@estudante.ufcg.edu.br; 5 Universidade Federal de Campina Grande – UFCG - CDSA, e-mail: adriana.lima@estudante.ufcg.edu.br; 6 Universidade Federal de Campina Grande – UFCG - CDSA, e-mail: erica.silva@estudante.ufcg.edu.br; 7 Universidade Federal de Campina Grande – UFCG - CDSA, e-mail: dalvana.genai@estudante.ufcg.edu.br; 8 Universidade Federal de Campina Grande – UFCG - CDSA, e-mail: george.gerson@estudante.ufcg.edu.br

Palavras-chave: Educação; Desafios; Sensibilização.

Resumo

A Educação Ambiental destaca-se como um recurso para a transformação de atitudes, visando atingir a sustentabilidade por meio de ações, conceitos e alterações de comportamentos, buscando uma convivência mais equilibrada e o uso racional dos recursos naturais. Os objetivos deste trabalho são compreender a influência da Educação Ambiental no âmbito escolar, sua importância como instrumento para possível mudança de hábitos consumistas e contribuir para o uso racional dos recursos naturais. A problemática ambiental permite identificar que estamos submersos em um tempo de desequilíbrio e desarmonia, impulsionados por ações antrópicas, sendo necessário trabalhar para sensibilizar a população, em nível de comunidades, para o equilíbrio sustentável na relação entre homem-natureza, usando ferramentas que incentive a mudança de atitudes e hábitos consumistas. A sociedade atual é marcada pelo consumo excessivo, que causa danos ao meio ambiente, como degradação de habitats, a perda de biodiversidade, a poluição dos recursos hídricos e as mudanças climáticas. A inserção de técnicas de Educação Ambiental nos ambientes escolares é fundamental para esse fim. Como aspectos metodológicos foram inseridas técnicas de Educação Ambiental para avaliar como o consumo excessivo, proveniente de uma cultura de aquisição, que exerce pressão sobre os recursos hídricos, levando a sua contaminação e demandas crescentes por recursos naturais usados como matéria prima na produção de diversos produtos. Nesse contexto, durante a semana do meio ambiente, a Escola Rosa Pignataro, localizada no município de Nova Cruz, Rio Grande do Norte, promoveu ações direcionadas para implantação de técnicas de Educação Ambiental, consumo consciente e sustentabilidade. Os educandos participaram de palestras, assistiram documentário e responderam a uma pesquisa sobre seus hábitos de consumo. Além disso, houve uma gincana ecológica, envolvendo desafios práticos relacionados ao meio ambiente. Os estudantes responderam um questionário estruturado, que permitiu identificar os seus hábitos de consumo e os que poderiam fomentar a sustentabilidade. Observou-se que 48% dos educandos não tinham preocupação com o consumo consciente, no entanto, também foi evidente que eles estavam dispostos a mudar seus comportamentos para reduzir o impacto ambiental negativo sobre os recursos naturais. Os discentes serão os futuros líderes, tomadores de decisão e consumidores, sendo assim desempenham um papel fundamental nos processos de mobilização e sensibilização. Sendo assim, por meio da Educação Ambiental, eles podem aprender a valorizar práticas sustentáveis e fazer escolhas responsáveis dos produtos que irão consumir, optando por produtos que possuam uma cadeia produtiva sustentável, evitando desperdício de recursos, adotando a reutilização e o reaproveitamento como práticas rotineiras, bem como valorizar empresas que possuem práticas sustentáveis em seus processos. A vivência de momentos durante a semana do meio ambiente permitiu o compartilhamento de conceitos e técnicas de Educação Ambiental, entre docentes, discentes e gestores escolares, com ênfase no papel de cada cidadão pode assumir para fazer escolhas de consumo conscientes e sustentáveis, inspirar e motivar outros a fazerem o mesmo, fomentar a existência de um futuro sustentável, essencial para a sociedade. Essas ações visaram sensibilizar os alunos sobre a importância de práticas sustentáveis e conscientizá-los sobre os impactos negativos sobre o meio ambiente promovido pelo consumo excessivo e desnecessário. Foi possível identificar por meio dos resultados obtidos que os educandos demonstraram aceitação das técnicas de Educação Ambiental inseridas no ambiente escolar, com boa compreensão e interesse crescente pela temática ambiental.

Introdução

A Educação Ambiental tem sido amplamente reconhecida, particularmente no que diz respeito à sensibilização dos estudantes, onde a Escola é o ambiente ideal para estimular mudanças, capaz de contribuir para um futuro melhor e formar indivíduos críticos e conscientes, aptos a mitigar os impactos negativos sobre o meio ambiente. A temática deve ser

integrada no currículo escolar desde a infância até o ensino superior, uma vez que o incentivo e a promoção de ações nessa direção resultam em benefícios significativos para a construção de uma sociedade consciente de suas responsabilidades. Assim, desenvolvendo iniciativas pautadas nos princípios estabelecidos pela Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA) fomentam o desenvolvimento de indivíduos engajados e ciente de seus deveres. Para Dias (1992, p. 31): “A Educação Ambiental é a dimensão da educação formal que se orienta para a resolução dos problemas concretos do meio ambiente através de enfoques interdisciplinares, e de uma participação ativa e responsável de cada indivíduo e da coletividade”.

A Educação Ambiental desempenha um papel significativo no aprimoramento da conexão entre a sociedade e o ambiente. No entanto, é crucial que essa abordagem seja centrada na participação ativa dos envolvidos. A incorporação de reflexões sobre as interações humanas, o autoconhecimento e as relações entre indivíduos em todas as atividades pedagógicas é um componente vital para a realização da Educação Ambiental (VASCONCELLOS, 1997). A temática deve ir além da simples discussão dos problemas ambientais, visando formar cidadãos com responsabilidade social, dessa forma, a Educação Ambiental surge como ferramenta essencial para a mudança dos indivíduos. Conforme definido pela Política Nacional de Educação Ambiental, Lei Federal nº 9.795/99, como sendo “um conjunto de processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum e do povo, essencial à ótima qualidade de vida e sua sustentabilidade” (BRASIL, 1999, p.1).

A formação ambiental deve ser um componente constante das atividades curriculares, para isso, é necessário aderir aos princípios e metas estabelecidos pela Lei nº 9.795/1999, que estipula a Política Nacional de Educação Ambiental e fornece orientações sobre as metodologias adequadas para inserir questões ambientais no ambiente escolar. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) destacam que a educação é um elemento crucial para a transformação e sensibilização ambiental, e assim, novas atitudes e perspectivas devem ser adotadas (BRASIL, 1998).

É importante destacar que a formação ambiental não deve ser considerada apenas como um tópico escolar ou trabalhada em uma disciplina específica, mas deve ser tratada de maneira interdisciplinar e multidisciplinar, combinando diversas áreas de conhecimento, assim, os temas geradores ou transversais, quando desenvolvidos em forma de projetos, tendem a abranger diversos aspectos em uma ampla malha de conhecimentos, explorando elementos políticos, econômicos, culturais e científicos.

Vivemos em uma era marcada pela hegemonia do capitalismo, que promove o consumo desenfreado, uma característica profundamente enraizada na nossa sociedade, pois somos constantemente expostos a novos produtos que alimentam o nosso apetite consumista. A indústria, para atingir seus objetivos, emprega estratégias de marketing para persuadir os indivíduos a comprarem seus produtos. Atualmente, a internet se destaca como um dos principais veículos de disseminação de informações e construção de uma mentalidade capitalista. Quanto mais consumimos, mais estimulamos a produção de mais bens de consumo, reforçando um estilo de vida altamente capitalista e consumista, o que amplia a disparidade social e aumenta a demanda por recursos naturais.

A Educação Ambiental no âmbito escolar é um elemento imprescindível para a formação de uma sociedade ciente da sua responsabilidade em relação ao meio em que está inserido, assim, os educandos são estimulados a refletir sobre o impacto de suas ações cotidianas, especialmente em termos de consumo, sobre o planeta, incluir formação ecológica no currículo escolar não apenas expande o conhecimento dos estudantes sobre a natureza e os ecossistemas, mas também os ajuda a compreender a interdependência entre os seres humanos e a natureza. Desta forma, a escola desempenha um papel vital na sensibilização dos discentes sobre as consequências de seus hábitos de consumo e na promoção de práticas sustentáveis.

Ao explorar questões como as mudanças climáticas, a poluição dos recursos hídricos e do ar, a perda de biodiversidade e a redução dos recursos naturais, a Educação Ambiental oferece uma oportunidade única para os estudantes repensarem a forma como consomem e descartam produtos. Além disso, incentiva a adoção de comportamentos responsáveis, como reciclagem, compostagem, consumo consciente e uso eficiente de recursos. Dessa forma, a instrução ecológica em ambientes educacionais e uso de técnicas de Educação Ambiental se apresentam como ferramentas eficazes para moldar a postura e o comportamento dos cidadãos do futuro, encorajando-os a tomar decisões de consumo que sejam benéficas tanto para eles quanto para o planeta. Ela funciona como um alerta constante de que cada escolha de consumo tem um impacto positivo ou negativo e que todos nós temos a capacidade de contribuir positivamente para o meio ambiente por meio de ações cotidianas conscientes e ambientalmente justas.

Material e Métodos

Durante as comemorações da semana do Meio Ambiente a Escola Estadual de Ensino Médio e Profissional em Tempo Integral Rosa Pignataro, localizada no município de Nova Cruz, Estado do Rio Grande do Norte, se dedicou a explorar a temática da Educação Ambiental, consumo e sustentabilidade, para tentar sensibilizar os educandos sobre a importância de repensar suas atitudes e adotar práticas sustentáveis no cotidiano, com realização de diversas ações educativas. Na Figura 1 pode-se observar à área e uma das fachadas da E.E.T.I Rosa Pignataro, com a sua entrada principal.

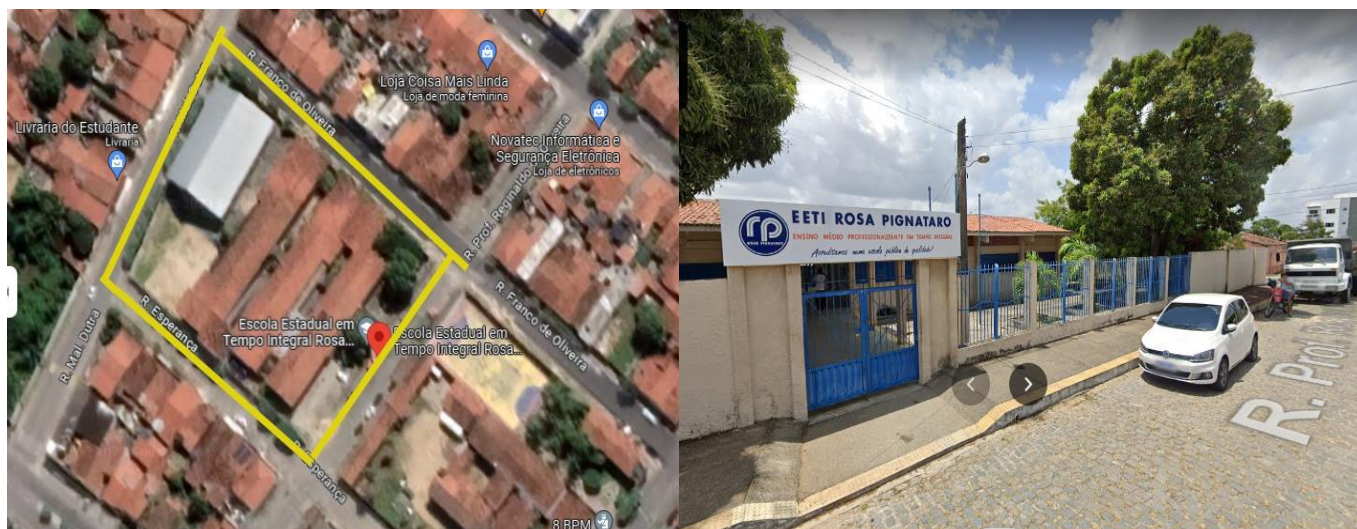


Figura 1: E.E.T.I. Rosa Pignataro
Fonte: Google, 2023

A primeira ação consistiu na organização de uma palestra abrangente, onde especialistas na área de Educação Ambiental compartilharam seus conhecimentos com os estudantes. Durante essa palestra, foram abordados temas como a crise climática, o consumismo, a importância da reciclagem e a preservação dos recursos hídricos. Em seguida tiveram a oportunidade de assistir ao documentário “Direto ao Assunto” da Netflix, que aborda como o plástico transformou nosso modo de viver, mas o seu preço é astronômico. Segundo esse documentário de 1955 a 2015 o mundo produziu 7,8 bilhões de toneladas de resíduos gerando um grande impacto ao ambiente.

Depois que as informações foram repassadas, os educandos responderam uma pesquisa com uso de questionário estruturado sobre seus hábitos de consumo, quais suas impressões e preocupações no momento de escolha para adquirir um produto. Uma ótima oportunidade de ampliar seus conhecimentos e esclarecer dúvidas, despertando um maior interesse pela temática. Na Figura 2 pode-se observar alguns dos temas trabalhados durante a palestra.



Figura 2: Slides da apresentação
Fonte: Autor, 2023

Além da palestra, a escola promoveu uma gincana ecológica, que se tornou um momento divertido e educativo para os discentes. Divididos em equipes, os estudantes participaram de desafios práticos relacionados à temática ambiental. Esses desafios envolveram atividades como coleta seletiva, identificação de espécies de plantas, criação de projetos sustentáveis e ações de sensibilização para a comunidade escolar. Ao longo da semana os educandos tiveram a oportunidade de refletir sobre suas próprias práticas de consumo e como suas escolhas podem afetar o meio ambiente. Eles foram incentivados a repensar seus hábitos de consumo e buscar alternativas sustentáveis. Através das atividades propostas, os estudantes puderam entender a importância de reduzir, reutilizar e reciclar, bem como adotar atitudes responsáveis em relação ao uso de recursos naturais.

Nas Figura 3 e 4 pode-se observar momentos da palestra inicial e da palestra sobre reciclagem ocorridas durante a semana do meio ambiente da E.E.T.I Rosa Pignataro, no ano de 2023.



Figura 3: Palestra
Fonte: Autor, 2023



Figura 4: Palestra sobre reciclagem de embalagens
Fonte: Autor, 2023

Ao abordar essa temática de maneira abrangente e através de atividades práticas, buscou-se despertar a sensibilização ambiental nos estudantes e incentivá-los a se tornarem agentes de mudança em suas comunidades. Ao final da semana os resultados foram notáveis, 72% afirmaram que estariam dispostos a modificar seus hábitos, demonstrando uma maior compreensão sobre os impactos do consumo desenfreado no meio ambiente e a importância de adotar práticas sustentáveis. Essa experiência proporcionou uma base sólida para que se tornem cidadãos conscientes e atuantes na construção de um futuro que possa conservar os recursos naturais.

Resultados e Discussão

Durante a semana do meio ambiente foram realizadas diversas ações educativas com envolvimento dos estudantes na causa ambiental, incluindo palestras, documentários e gincana ecológica. Os resultados e discussões destas ações permitiram identificar uma reação positiva e reflexiva da comunidade escolar. A realização das palestras proporcionou aos discentes uma compreensão profunda das questões ambientais atuais. Os palestrantes destacaram a importância da conservação ambiental, o impacto das ações humanas sobre a natureza e as possíveis soluções para minimizar os danos. A participação ativa dos educandos, com questionamentos relevantes e discussões produtivas, permitiu identificar o interesse gerado pelos temas tratados. Durante a semana realizaram-se reflexões a partir das respostas dos questionários pelos educandos, onde foi possível identificar que 48% dos educandos não possuíam nenhuma ou pequena preocupação em relação ao consumo e a sustentabilidade.

No entanto, observou-se que os estudantes estariam dispostos a mudar seus hábitos de consumo pensando em reduzir o impacto ambiental negativo sobre o meio ambiente, haja vista que a sociedade atual se caracteriza pelo consumo excessivo de diversos tipos de produtos, com demanda crescente de recursos naturais para a produção de bens e serviços, com graves repercussões sobre o meio ambiente, incluindo a degradação do habitat, a perda da biodiversidade, a poluição dos recursos hídricos e as mudanças climáticas. Para contrariar essas tendências é fundamental que possamos incentivar a mudança do padrão de consumo para buscar a sustentabilidade ambiental, sendo necessário que cada um de nós possa repensar e alterar hábitos de consumo.

Os discentes serão os futuros líderes, tomadores de decisão e consumidores, sendo assim desempenham um papel fundamental nos processos de mobilização e sensibilização. Sendo assim, por meio da Educação Ambiental, eles podem aprender a valorizar práticas sustentáveis e fazer escolhas responsáveis dos produtos que irão consumir, optando por produtos que possuam uma cadeia produtiva sustentável, evitando desperdício de recursos, adotando a reutilização e o reaproveitamento como práticas rotineiras, bem como valorizar empresas que possuem práticas sustentáveis em seus processos.

A vivência de momentos durante a semana do meio ambiente permitiu o compartilhamento de conceitos e técnicas de Educação Ambiental, entre docentes, discentes e gestores escolares, com ênfase no papel de cada cidadão pode assumir para fazer escolhas de consumo conscientes e sustentáveis, inspirar e motivar outros a fazerem o mesmo, fomentar a existência de um futuro sustentável, essencial para a sociedade.

O documentário exibido mostrou-se uma ferramenta eficaz, pois conseguiu capturar a atenção dos discentes, por meio de imagens impactantes e de uma narrativa envolvente, provocando uma forte reação e questionamentos profundos sobre as questões ambientais, principalmente sobre os impactos ambientais negativos das ações antrópicas.

A gincana ecológica ofereceu aos educandos a oportunidade de aprender, de maneira divertida e envolvente, ações vinculadas a coleta seletiva do lixo, o plantio de árvores, a criação de projetos de reciclagem, a reutilização de diversos tipos de materiais, a importância dos catadores de lixo e das cooperativas de reciclagem, bem como da separação dos resíduos orgânicos e não orgânicos, bem como a diferença entre que ações individuais e coletivas podem fazer sobre o meio ambiente. Os trabalhos em equipe e colaborativos passaram a ser valorizados e a percepção da necessidade de implementação de soluções ambientais eficazes e sustentáveis.

O conjunto de ações e de técnicas aplicadas por meio da Educação Ambiental permitiram maior envolvimento dos estudantes com questões ambientais, melhorou a compreensão dos desafios enfrentados no planeta Terra e fomentou a disposição para buscar ações que minimizem o consumo e favoreçam a sustentabilidade ambiental.

A combinação de educação formal por meio de palestras, aprendizado visual através de documentário e uso de técnicas de Educação Ambiental, por meio de gincana ecológica, permitiu identificar eficiência e eficácia das abordagens integrativas e interdisciplinares, com envolvimento dos discentes, docentes e gestão escolar, bem como os inspirou a se tornarem defensores do meio ambiente.

Considerações Finais

Por meio dos resultados obtidos foi possível identificar que a Educação Ambiental fortalece o processo de ensino e aprendizagem, integra o ambiente escolar e fomenta a gestão sustentável de recursos naturais.

Ao considerar a Educação Ambiental como ferramenta que favorece reflexões e sensibilização sobre a necessidade da preservação do meio ambiente, se faz necessário promover alterações no planejamento escolar, incluindo ações educativas teóricas e práticas, que fomentem a formação de cidadãos conscientes da necessidade da redução do consumo excessivo e busca da sustentabilidade ambiental.

A instituição educacional tem papel fundamental para despertar o entendimento de que suas ações exercem um impacto significativo sobre o meio ambiente. O processo de sensibilização, por meio do processo educativo, utilizando técnicas de Educação Ambiental deve ser implementada de maneira efetiva, envolvendo toda comunidade escolar, contribuindo para mudanças de hábitos de consumo consciente, reduzindo a geração de resíduos e sobre os recursos naturais, cobrando das autoridades constituídas a implementação das políticas ambiental e de resíduos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015 e ao Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, o campus de Sumé da Universidade Federal de Campina Grande, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

Borges, E. A.; Oliveira, M. A.; 2011. Educação Ambiental com Ênfase no Consumo Consciente e o Descarte de Resíduos – Uma Experiência da Educação Formal. Simpósio de Educação Ambiental e Transdisciplinaridade UFG / IESA / NUPEAT – Goiânia.

Brasil, 1998. Ministério da Educação e Cultura. Secretaria da Educação Fundamental. Parâmetros curriculares nacionais: meio ambiente e saúde. Brasília, DF, (Temas transversais, 9).

Brasil. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Política Nacional de Educação Ambiental. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 28 de abril de 1999. Seção I. p. 1-3. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/civil/03/leis/19795.htm>>.

Dias, G. F.; 1992. Educação Ambiental: princípios e práticas. São Paulo: Editora Gaia, p. 31.

Roos, A.; Becker, E. L.S.; 2012. Educação Ambiental e Sustentabilidade - Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental.

Sousa, M. K. S.; ALVES, M. S.; Menezes, E. A. O.; 2023. Educação Ambiental, interdisciplinaridade e consumo consciente: possíveis encontros - Revista Educação Pública.

Vasconcellos, H. S. R.; 1997. A pesquisa-ação em projetos de Educação Ambiental. In: PEDRINI, A. G. (Org.) Educação Ambiental: reflexões e práticas contemporâneas. Petrópolis: Vozes.



ARTIGOS COMPLETOS

ÁREA TEMÁTICA
Energias Renováveis

CONGLOMERADOS, COMPONENTES PRINCIPAIS E MODELO HIERÁRQUICO MULTINÍVEL – APRENDIZADO DE MÁQUINA A SERVIÇO DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR

1 Roberto Vinícius de Oliveira Rodrigues, 2 Francisco Lledo dos Santos

1Universidade de São Paulo – USP - PECEGE, e-mail: robertovinicius28@gmail.com; 2Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT - ProfÁgua, e-mail: franciscolledo@uenmat.br

Palavras-chave: Energia Renovável; Mudanças Climáticas; Ciências de Dados

Resumo

A geração de energia solar no mundo pode ser colocada em grau de relevância, principalmente devido a sua natureza limpa e renovável, contribuindo para a sustentabilidade ambiental, reduzindo a dependência de fontes de energia fóssil e mitigando os impactos das mudanças climáticas. Além disso, a energia solar está amplamente disponível globalmente, impulsiona o desenvolvimento econômico, cria empregos, promove a autossuficiência energética e reduz os custos a longo prazo. Realizar um levantamento mundial das fontes geradoras de energia, incluindo a energia solar, é relevante, principalmente para embasar o planejamento energético, avaliar o progresso em relação a metas estabelecidas, identificar oportunidades de investimento, promover a troca de melhores práticas e estimar o potencial solar em todo o mundo. Essas informações são cruciais para impulsionar a transição para um futuro energético mais sustentável e resiliente. Sendo assim, o presente trabalho tem o objetivo de construir um modelo baseado em técnicas de aprendizado de máquina (*Machine Learning*), para comparar geração de energia solar por meio de painéis fotovoltaicos entre 70 (setenta) países. Para contemplar o uso de dados sobre a produção de energia solar nos últimos anos, em associação a variáveis econômicas, temporais, geográficas e tecnológicas, propôs-se um modelo hierárquico linear multinível. A adoção inicial de três níveis para a análise, exigiu a classificação dos países em conglomerados (*clusters*) para que se somasse um terceiro nível de análise às perspectivas temporal (primeiro nível) e a dos países (segundo nível). A fim de viabilizar, tecnicamente, a formação dos clusters, houve redução na dimensionalidade dos dados, por meio da técnica não supervisionada - PCA (Análise de Componentes Principais). Na sequência, com os agrupamentos definidos, foi possível implementar o modelo multinível para que a investigação sobre o comportamento da variável dependente - geração de energia solar em cada país - levasse em consideração não apenas as heterogeneidades de cada um dos 70 países (como na abordagem linear tradicional), mas também os efeitos aleatórios entre os diferentes níveis de análise. O modelo multinível evidenciou um grupo de 21 variáveis estatisticamente correlacionadas com a geração da energia solar, o qual serviu de *input* a uma segunda análise de componentes principais, por meio da qual se obteve um índice de energia solar que viabilizou um ranking entre os países. Esse ranking dos países com base na capacidade de geração de energia solar poderá então ser utilizado de diversas maneiras. Permite identificar líderes no setor solar e aprender com as estratégias adotadas por eles. Também ajuda a identificar oportunidades de investimento em países com baixa classificação. Além disso, o ranking pode estimular uma competição saudável entre os países e impulsionar o desenvolvimento da energia solar globalmente. A partir dessas informações, é possível promover políticas e medidas favoráveis à energia solar e acelerar a transição para fontes de energia mais limpas e sustentáveis em todo o mundo.

Introdução

Pesquisas com utilização de *Data Science e Analytics* podem e devem ajudar as organizações e a sociedade a entender ambientes, analisar problemas existentes e revelar oportunidades que a princípio parecem ocultas. As organizações, em última análise, procuram *Data Science* pelo mesmo motivo: descobrir soluções ótimas para problemas existentes. (PROVOST AND FAWCETT, 2013).

O problema enfrentado ao longo deste trabalho está relacionado ao conceito de desenvolvimento sustentável, o qual se traduz como atendimento às necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de futuras gerações em atender as suas próprias necessidades (BRUNDTLAND, 1987) – clara expressão de uma preocupação com o futuro da sociedade humana.

Para merecer o carimbo de sustentável, a gestão precisa atingir resultados nas 3 (três) dimensões: social, ambiental e econômica. No âmbito dos Estados Nacionais, discussões sobre uma matriz energética mais limpa têm o condão de interferir de forma direta na interseção do *triple bottom line* e, portanto, atender ao requisito de resultado tríplice.

Entender quais variáveis econômicas, tecnológicas, geográficas, impactam os países líderes em adoção de energia solar pode ajudar a contextualizar e a nortear o incremento na geração de energia limpa em países com aproveitamento inferior ao potencial (DUPONT, 2015).

Neste diapasão, este trabalho reúne 2 achados:

- Uma análise multinível das 54 variáveis explicativas de 70 países que foram estatisticamente correlacionadas com a geração de energia solar durante um período de 8 anos;
- Um índice de comparação entre o desempenho de países em termos de produção de energia fotovoltaica abrangendo as essas variáveis explicativas

Material e Métodos

O presente trabalho respeita métodos científicos e pode ser caracterizado, segundo GIL (2007) e TRUJILLO FERRARI (1982):

- Quanto à finalidade: pesquisa aplicada (tem como motivação básica a solução de problemas concretos, práticos e operacionais);
- Quanto ao método e forma de abordagem: estudo quantitativo (emprego de instrumentos estatísticos, tanto na coleta como no tratamento dos dados e tem como finalidade identificar possíveis relações entre as variáveis);
- Quanto ao objetivo: pesquisa descritiva (tem o objetivo de descrever com exatidão os fatos e fenômenos de determinada realidade);
- Quanto aos procedimentos adotados na coleta de dados: pesquisa bibliográfica, documental e de campo (se utiliza de fontes documentais, isto é, fontes de dados secundários. Os dados documentais, de natureza quantitativa, puderam ser extraídos de informações fornecidas pela empresa).

O CRISP-DM (*Cross Industry Standard Process for Data Mining*) é uma metodologia que resultou do esforço em estabelecer padrões para a área de mineração de dados e serviu de referência para o desenvolvimento deste estudo. Consiste em estruturar o ciclo de vida de um projeto, dividindo-o em seis etapas. Em resumo: I - questão de pesquisa; II - definição dos dados necessários e coleta; III - pré-processamento e limpeza; IV - exploração dos dados e construção de modelos; V - validação e; VI-elaboração de elementos visuais para comunicar os achados (Figura 1) (BERRY,1997; WIRTH, 2000).



Figura 1: Fases do atual modelo de processo CRISP-DM (modificada segundo o ciclo de Berry and Linoff (1997)).

A primeira etapa esboça a intenção do projeto e sustenta as demais fases. No caso específico, a relação entre a energia limpa (solar) e o desenvolvimento sustentável delinea o contexto de onde surgem as questões chaves como a identificação de quais variáveis impactam na produção de energia solar, qual a posição relativa de cada país em termos de produção e quanto distante se está de uma hipotética autonomia elétrica de energias não limpas.

A segunda etapa cuida da identificação dos dados necessários à solução do problema levantado na etapa anterior, bem como dos problemas relativos à aquisição desses dados. O resultado da análise de dados depende, de forma direta, da qualidade do dado usado e isso impõe a necessidade de exames apurado de consistência e validade dos dados (FÁVERO - 2021).

Os bancos de dados utilizados para a análise vieram de duas fontes: BP, *antiga British Petroleum* e Banco Mundial (*World Bank*). O *BP Statistical Review of World Energy* é um levantamento anual sobre a produção e consumo de energia do mundo — cuja publicação ocorre desde 1952. Trata-se de um relatório detalhado — lista as quantidades de energia gerada e consumida, bem como os meios de geração, para quase todos os países e regiões do mundo. Já os bancos de dados do Banco Mundial são ferramentas essenciais para apoiar tomada de decisões e fornecer informações estatísticas para as atividades operacionais do Banco Mundial e para o setor financeiro ao redor do globo. A aplicação de padrões e normas internacionalmente aceitas resulta em uma fonte de informação consistente e confiável.

Uma vez que dados de qualidade verificada são extraídos e tornados disponíveis à pesquisa, passa-se a uma terceira fase, onde há a necessidade de tratamento desses *datasets*, seja para expurgar eventuais inconsistências (erros, irrelevâncias, duplicidades) ou para organizar as informações de forma a favorecer a análise. Essa etapa se denomina “preparação de dados” no framework CRIPS-DM. É a fase de realizar checagem da integridade, consistência, validade para assegurar que os atributos relevantes dos dados foram retidos e o *dataset* pronto para uso.

Neste estudo, o pré-processamento consistiu em tratamento de *missing values*, *typos*, transformação do *dataset* de formato *wide* para *long*, criação de variável chave primária para fins de fusão dos dois bancos de dados, com uso de Python, R e SQL. No que diz respeito à montagem do *dataset* para fins de clusterização, (e, posteriormente, modelagem multinível e análise fatorial dos componentes principais para fins de ranking), foi necessário padronizar os dados (procedimento *Zscores*), a fim de que as diferentes amplitudes das unidades de medida fossem eliminadas, de modo que cada variável tivesse a mesma contribuição sobre a medida de distância considerada.

Para explorar os dados e desenvolver um entendimento preliminar de possíveis tendências escondidas nos *datasets*, houve exportação dos dados para o Power Bi e a subsequente geração de gráficos e imagens para ajudar na assimilação da estrutura dos dados.

Resultados e Discussão

A proposta da quarta etapa do CRISP-DM, “analisar e construir modelos”, consiste em criar informações úteis e significativas, por meio da revelação de padrões e estrutura nos dados, de modo a facilitar a emergência de insights e a produção de novo conhecimento significativo e útil. (BERRY AND LINOFF, 1997).

A análise preliminar deu-se em relação a duas dimensões (correspondentes aos dois primeiros níveis da HLM3): dimensão temporal e a dimensão territorial. No que diz respeito ao painel de dados disponíveis para a última década, constatou-se mudanças na matriz energética mundial conforme abaixo: - o carvão permanece com a maior fatia (37,5%) no que diz respeito às matrizes energéticas, porém a participação sofreu decréscimo (4%) ao longo de uma década. Ou seja, em 2021, o carvão permanece a principal fonte de energia elétrica, assim como a maior fonte de emissões de CO₂. Além do mais, os preços globais do carvão dispararam para um recorde de US\$ 435 em agosto de 2022, vindo de um patamar de US\$ 50 por tonelada em maio de 2020.

As fontes eólicas (com 5%) e a solar (com 3,4%) obtiveram acréscimo na participação em energia elétrica. A produção de energia solar, em particular, saltou 916% nos últimos 10 anos. Em 2021, a energia eólica e solar somadas atingiram uma participação de 10,2% da energia total gerada. Foi a primeira vez na série histórica em que a energia eólica e solar forneceram mais de 10% da energia global, superando a contribuição da energia nuclear.

No que diz respeito à exploração dos dados focalizados no nível país, os dois maiores países do mundo, no quesito geração energética, foram responsáveis por 47% do total de energia solar produzida no planeta, mas mantiveram participação acentuada de fontes de energia não renováveis no cômputo geral.

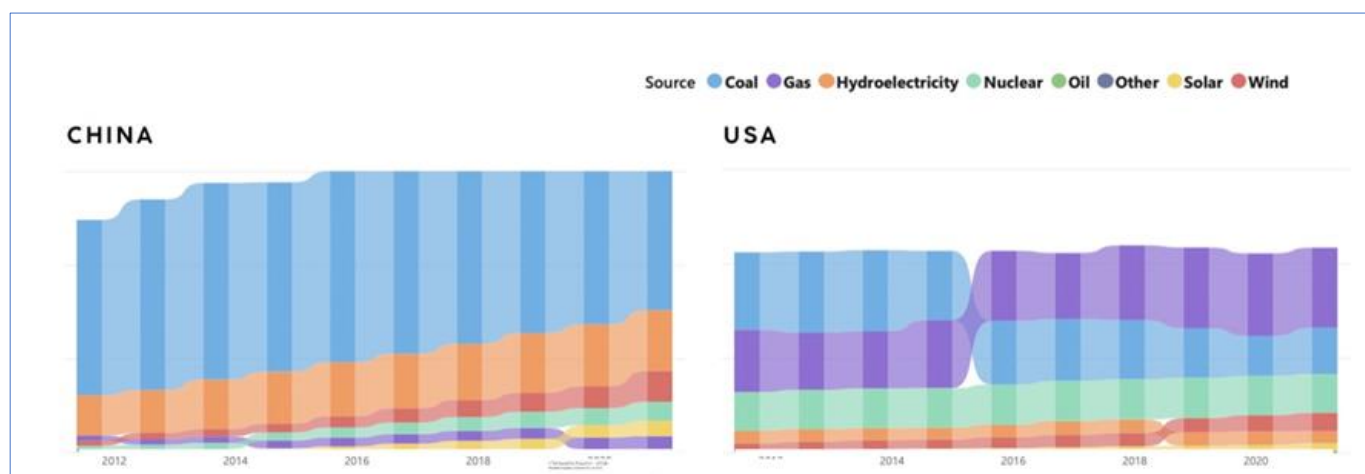


Figura 2: Variação no consumo de energia comparando diferentes matrizes energéticas.

Ao longo dos anos sob análise, a China funcionou como principal impulsionador do crescimento da capacidade solar. No ano de 2021, respondeu por cerca de 36% da adição na capacidade global em comparação com o ano anterior, 2020.

Mede-se esse potencial teórico de geração de energia solar em termos de irradiância solar (GHI), quantidade de radiação solar recebida por unidade de área em uma superfície horizontal (compreende irradiância normal direta, corrigida para o ângulo de incidência na superfície). Além das coordenadas geográficas, o GHI é modulado pela temperatura do ar local, vento e neve, poluição atmosférica, poeira e alguns outros fatores geográficos, e é levado em consideração ao se decidir pela instalação de um painel solar.

Na figura 3, abaixo, o eixo das abscissas representa o potencial teórico de geração de energia, enquanto o eixo das ordenadas, em escala logarítmica, a capacidade instalada para geração fotovoltaica, per capita. O tamanho dos pontos está proporcional à população total do país, ao passo que as cores de cada ponto se alteram de acordo com o tamanho do território de cada país.

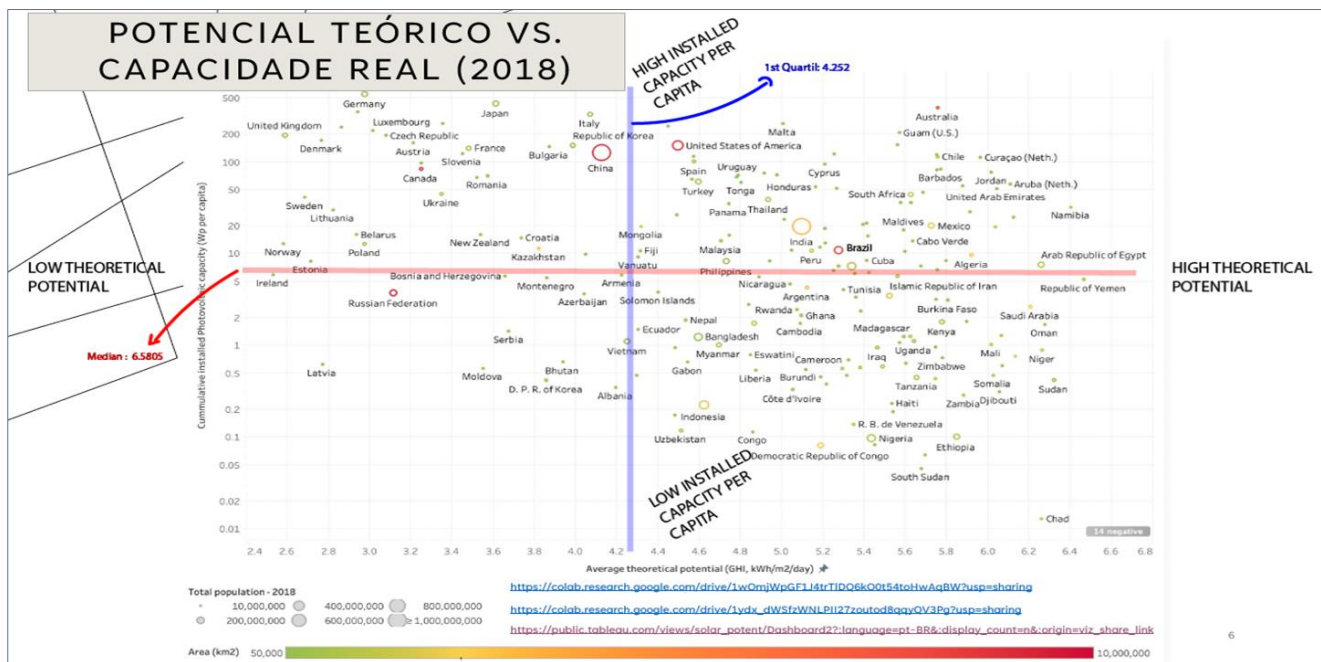


Figura 3: Resultados da Pesquisa.

Percebeu-se, pela figura 3, a variedade de características entre os países objeto de estudo, em termos de população, potencial teórico, capacidade instalada per capita, área geográfica disponível. E isso motivou a exploração de uma segunda base de dados, oriunda de um corte de 54 variáveis de análise para cada país, provenientes de *datasets* do Banco Mundial, os quais se submetem a padrões e normas internacionalmente aceitas e resultam em uma fonte de informação consistente e confiável.

Nessa fase, o aprofundamento da análise ocorreu via organização dos países em conglomerados, a fim de se extrair possíveis *insights* e revelar *outliers*. Segundo FAVERO (2021), a análise de conglomerados, ou de clusters, tem por objetivo principal a alocação de observações em uma quantidade relativamente pequena de agrupamentos homogêneos internamente e heterogêneos entre si e que venham a representar o comportamento conjunto das observações a partir de determinadas variáveis.

Para viabilizar os cálculos para composição dos conglomerados, fez-se necessário uma prévia análise fatorial, Análise de Componentes Principais (PCA), a qual funciona com base na identificação matemática de correlações entre variáveis originais a fim de criar fatores que representem essas variáveis. Ou seja, o objetivo é reduzir o número de atributos necessários para explicar determinado fenômeno. No caso deste estudo, a aplicação da PCA redundou em **6 fatores** (frente às 54 variáveis iniciais) e conseguiu capturar mais de **71,5% da informação original** (Figura 4).

Sobre especificidades técnicas da análise, a adequação global da análise fatorial foi confirmada pelo resultado do teste de esfericidade de *Bartlett*. Como critério de escolha da quantidade de fatores, levou-se em consideração os fatores com *eigenvalues* maiores que 1 (critério da raiz latente ou critério de Kaiser).

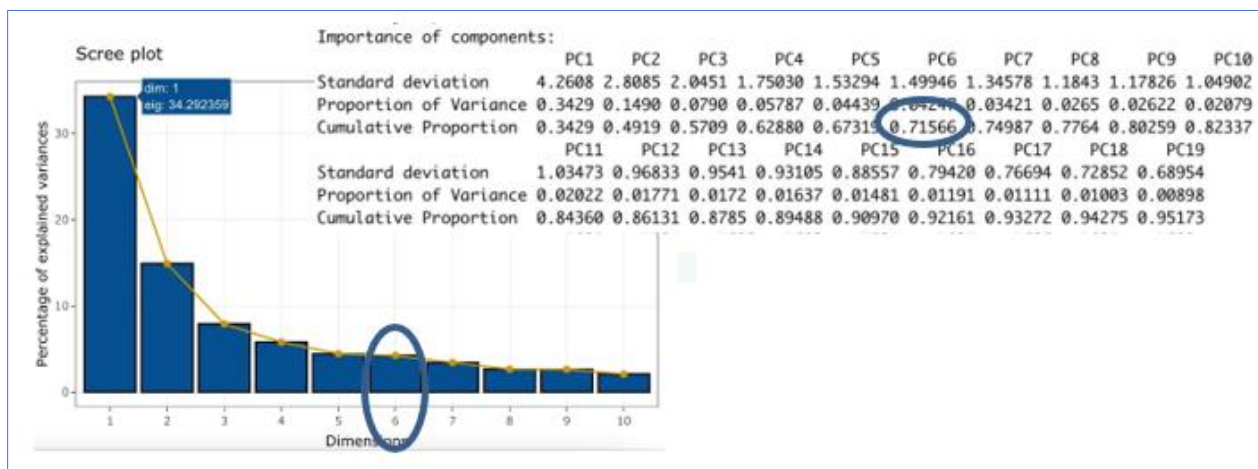


Figura 4: PCA - Resumo.

No caso, a análise fatorial permitiu, com base na relação de interdependência entre variáveis quantitativas que apresentaram intensidade de correlação, gerar fatores (também variáveis quantitativas), de modo que os outputs da análise fatorial puderam servir de inputs para a análise de conglomerados (clusterização).

Clusters

A literatura trata de inúmeras combinações entre diferentes medidas de distância ou de semelhança e métodos de aglomeração, as quais podem resultar em classificações diferentes para o mesmo conjunto de dados (FAVERO, 2021), como ilustra os conglomerados distintos nas figuras a seguir (definidos a partir de critérios I - geopolíticos, II - capacidade de geração solar per capita versus potencial teórico e III – algoritmo).

Para fins de modelagem, adotou-se o critério do algoritmo, cujos outputs têm natureza qualitativa e serviram de inputs para prosseguimento da análise via modelo multinível. Utilizou-se a plataforma de inteligência de negócio Graphext para definir os conglomerados, cuja ilustração segue ao lado (Figura 5).

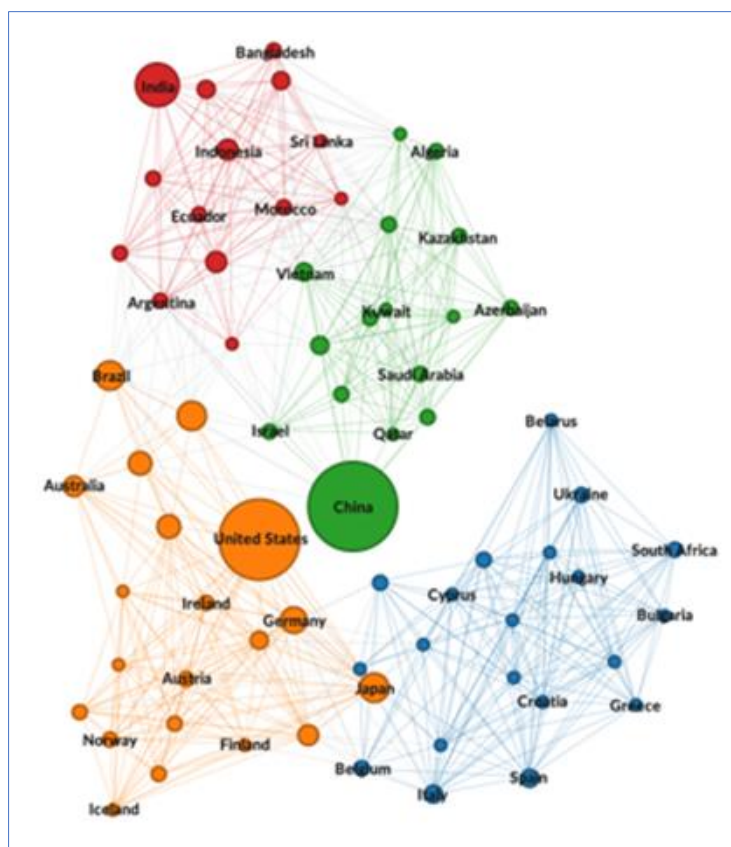


Figura 5: Conglomerados analisados.

Modelo Hierárquico Multinível

Explorar os dados forneceu subsídios para um aprofundamento da análise via construção de um modelo para identificação de relacionamentos não explícitos. Na prática, a discrepância na evolução temporal na geração da energia solar e a variabilidade das características dos países, apontou o uso modelo multinível como um caminho promissor para o prosseguimento desta análise.

A modelagem multinível representa um conjunto de técnicas que, além de estimar os parâmetros do modelo, permitem verificar, de fato, se ocorrem efeitos aleatórios nos interceptos e nas inclinações decorrentes da presença de níveis mais altos na análise, além de alcançar qual o impacto que uma observação particular causa na definição dos parâmetros. (FAVERO, 2021).

No caso do modelo HLM3 escolhido para este trabalho, as medidas repetidas, tomadas ao longo da janela de recorte alvo da análise – de 2012 a 2019, se agrupam em torno do primeiro nível de análise e possibilitam a consideração dos efeitos temporais no comportamento da variável dependente (geração de energia solar em cada país).

Optou-se por elaborar a estratégia de análise multinível proposta por Raudenbush e Bryk (2002) e Snijders e Bosker (2011) e constante em Fávero (2017), ou seja, primeiro decompor a variância a partir da definição de um modelo nulo (modelo não condicional) para, na sequência, a partir de uma possível sinalização positiva, partir para a construção de modelo com interceptos aleatórios e, depois, modelo com interceptos e inclinações aleatórias. Por fim, a partir da checagem do caráter de aleatoriedade dos termos de erro, construir o modelo completo com a inclusão das variáveis de nível 2 na análise. Procedimento chamado de *multilevel step-up strategy*.

A estrutura de dados com medidas repetidas em três níveis, com períodos (nível 1) aninhados em países (níveis 2), e estas em *clusters* (nível 3) obteve Correlação Intraclasse conforme Tabela 1 para o modelo nulo. A correlação intraclasse (ICC) pode ser interpretada como a fração da variância total que se deve à variação entre os grupos.

Components	Estimatives	Std_Err	z	p.value
1 Var(t00k)	2.384925e-05	0.002279476	0.0104626	0.992
2 Var(v0jk)	1.601794e+02	30.040390992	5.3321356	0.000
3 Var(e)	1.292930e+02	8.260223971	15.6524790	0.000

Tabela 01: Correlação Interclasse

O modelo nulo (modelo não condicional) permitiu compreender pela inexistência de variabilidade, estatisticamente significativa, no desempenho em termos de geração de energia solar entre países provenientes de um mesmo cluster e entre aqueles provenientes de *clusters* distintos. Isso indicou necessidade de ajuste no constructo proposto inicialmente e o recuo para a utilização de dois níveis para análise (*p.value* de $\text{Var}(t00k) > 0.05$).

Para o modelo HLM2, de dois níveis, o procedimento *multilevel step-up strategy* venceu as verificações, comprovando que abordagem com este número de níveis fez sentido neste bloco de dados. O modelo completo foi montado, tendo sido possível a investigação da decomposição da variância nos níveis temporal e no de países, com a inclusão de 54 variáveis explicativas e período de 8 anos (Figura 6), com componentes de efeitos fixos e com possibilidade de investigar eventuais relações entre essas variáveis e a variável dependente.

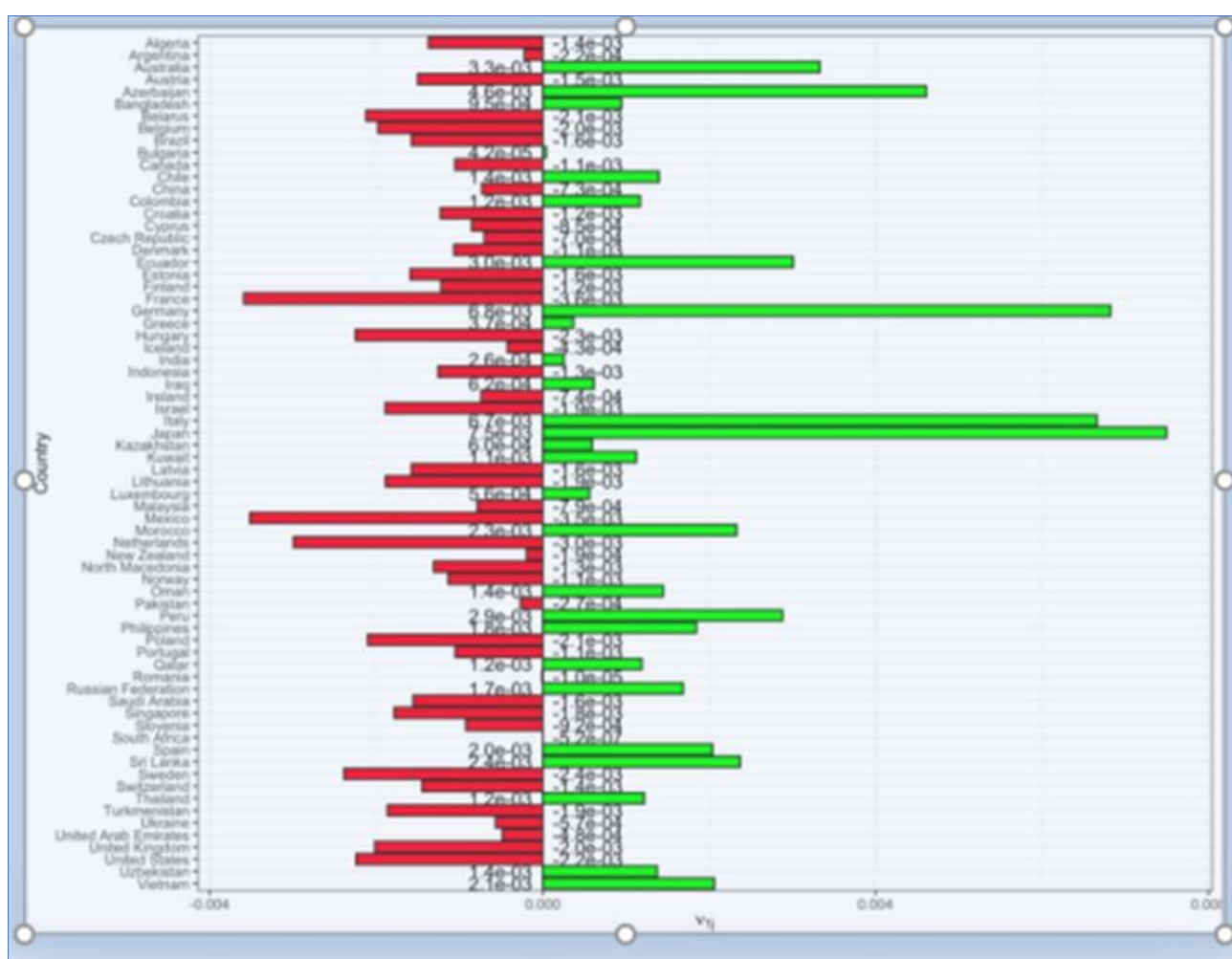


Figura 6: Variáveis explicativas possíveis.

A modelagem multinível permitiu verificar efeitos aleatórios de interceptos e de inclinações, além de medir o impacto de uma observação específica na definição dos parâmetros. Inicialmente, o modelo HLM3 foi escolhido, mas não apresentou variabilidade estatisticamente significativa entre os países e clusters. Isso levou a um ajuste no modelo, passando para o HLM2 de dois níveis.

A abordagem de dois níveis foi validada usando a estratégia *multilevel step-up*, e o modelo completo incluiu 54 variáveis explicativas, componentes de efeitos fixos e a possibilidade de investigar relações entre essas variáveis e a geração de energia solar. Foram identificadas 21 variáveis estatisticamente correlacionadas (com nível de significância de 5%) que ajudaram a explicar a geração de energia solar no período analisado.

Nessa configuração, as 21 variáveis estatisticamente correlacionadas (ao nível de significância de 5%), que ajudaram a explicar a geração de energia solar no período 2012-2019., seguem conforme tabela 2, abaixo.

	p-value
(Intercept)	0.0000
Year	0.0000
Access.to.clean.fuels.and.technologies.for.cooking...of.population.	0.0064
Access.to.electricity...of.population.	0.0000
Adolescent.fertility.rate..births.per.1.000.women.ages.15.19.	0.3338
Age.dependency.ratio...of.working.age.population.	0.5120
Air.transport..passengers.carried	0.4108
Armed.forces.personnel...of.total.labor.force.	0.2035
Birth.rate..crude..per.1.000.people.	0.0373
Compulsory.education..duration..years.	0.0032
Consumer.price.index..2010...100.	0.3466
Current.health.expenditure.per.capita..current.US..	0.1668
Death.rate..crude..per.1.000.people.	0.1041
Exports.of.goods.and.services..annual...growth.	0.9758
Fertility.rate..total..births.per.woman.	0.4159
Final.consumption.expenditure..current.US..	0.3780
Food.production.index..2014.2016...100.	0.0592
Foreign.direct.investment..net..BoP..current.US..	0.7411
Forest.area..sq..km.	0.0000
GDP..current.US..	0.0090
GDP.per.capita..current.US..	0.0596
General.government.final.consumption.expenditure..current.US..	0.0066
Gini.index	0.4641
Goods.exports..BoP..current.US..	0.0055
Gross.savings..current.US..	0.0003
High.technology.exports..current.US..	0.0005
Hospital.beds..per.1.000.people.	0.1786
Individuals.using.the.Internet...of.population.	0.0220
Inflation..consumer.prices..annual...	0.9453
Labor.force..total	0.0000
Land.area..sq..km.	0.1008
Life.expectancy.at.birth..total..years.	0.1375
Military.expenditure..current.USD.	0.0005
Mobile.cellular.subscriptions	0.0000
Net.trade.in.goods..BoP..current.US..	0.0431
New.businesses.registered..number.	0.0011
Patent.applications..nonresidents	0.9803
Patent.applications..residents	0.0000
People.practicing.open.defecation...of.population.	0.0000
People.using.at.least.basic.drinking.water.services...of.population.	0.9855
Population.in.urban.agglomerations.of.more.than.1.million	0.1078
Population..total	0.3055
Procedures.to.build.a.warehouse..number.	0.5612
Procedures.to.register.property..number.	0.1352
Renewable.energy.consumption...of.total.final.energy.consumption.	0.0428
Research.and.development.expenditure...of.GDP.	0.2696
Rural.population	0.1302
Sex.ratio.at.birth..male.births.per.female.births.	0.1845
Surface.area..sq..km.	0.2922
Time.required.to.get.electricity..days.	0.0006
Unemployment..total...of.total.labor.force...modeled.ILO.estimate.	0.7330
Unemployment..total...of.total.labor.force...national.estimate.	0.9238

Tabela 2: Variáveis que explicam a geração de energia solar no período 2012-2019.

De posse dessas 21 variáveis estatisticamente correlacionadas, partiu-se para outra utilização possível para a análise de componentes principais, a qual consiste na criação de indicadores de performance a partir do comportamento conjunto de variáveis e posterior arranjo dos elementos do grupo de análise em ranking de desempenho.

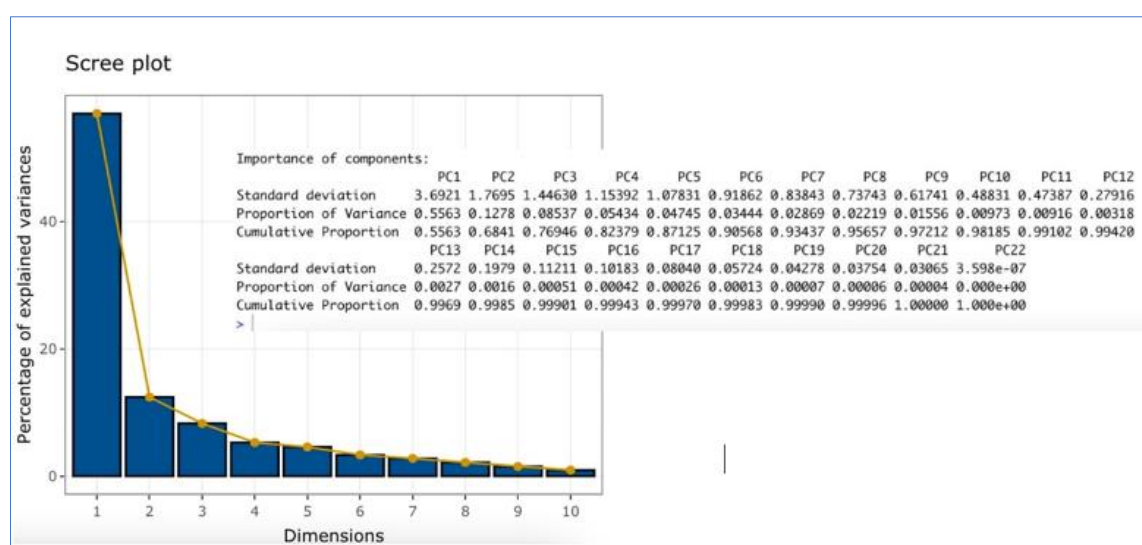


Figura 7: PC4 com 82,38 %de capacidade explicativa.

Desse modo, nesta fase do estudo, a aplicação da PCA redundou em 4 fatores (frente às 21 variáveis iniciais) e conseguiu capturar mais de 82% da informação original. Obteve-se êxito na construção de índice de geração solar, com as 21 variáveis do ano de 2021, com ranking final pretendido, conforme tabela 3.

	Fator1	Fator2	Fator3	Fator4	pontuacao
United States	4.4359943	6.3207779	2.1435245	1.0169457	3.5417058
China	6.2758712	-4.1585346	-2.0238705	0.4774822	2.9157800
India	1.3456370	-1.8187527	2.5030752	-0.1486192	0.7399460
Japan	1.2499688	0.4735683	-1.3726757	0.6723561	0.6925050
Germany	1.1049972	0.1007558	-1.9365686	0.0000287	0.4815424
France	0.4749377	0.6441329	-0.5854644	-1.0136651	0.2484768
United Kingdom	0.5186236	0.9535238	-0.0704856	-4.1669682	0.1879908
Italy	0.2521101	0.2973102	-0.9599467	0.0676469	0.1046006
Mexico	0.1584975	-0.1333043	0.1310707	-0.3457270	0.0663277
Pakistan	-0.2179462	-1.2179045	3.5247992	0.9155598	0.0647450
Canada	0.1438405	0.7247179	-0.6372704	-1.2613136	0.0525631
Brazil	0.3100054	-0.0623605	0.5240741	-3.2294322	0.0417875
Indonesia	0.0995845	-0.6704260	0.8684412	-0.2592076	0.0317093
Spain	0.0667516	0.5077099	-0.8140938	-0.2179287	0.0221502
Bangladesh	-0.1637723	-1.0380019	2.4342258	0.5811046	0.0100257
Philippines	-0.1636479	-0.6906591	1.6876912	0.6533583	-0.0047674
Vietnam	0.0329452	-0.3980833	0.4145461	-0.1985458	-0.0068072
Netherlands	0.0316401	0.2740246	-1.2204321	0.0814196	-0.0446764

Tabela 3: Ranking de Geração Solar.

Considerações Finais

Este estudo demonstrou a importância de se utilizar técnicas estatísticas avançadas, como o modelo hierárquico multinível, a clusterização e a análise de componentes principais (PCA), para investigar a complexidade das relações entre variáveis temporais, características dos países e a produção de energia elétrica proveniente de painéis fotovoltaicos. A aplicação dessas técnicas, em conjunto, permitiu uma melhor compreensão das dinâmicas e fatores que afetam a produção de energia solar e poderia apoiar a tomada de decisões informada e embasada em evidências.

Quanto à aplicação do PCA, na criação de um ranking de países produtores de energia elétrica proveniente de painéis fotovoltaicos, a mesma permitiu uma análise mais objetiva e simplificada dos dados, facilitando a compreensão das principais variáveis que influenciam a produção de energia solar e a identificação dos líderes e “retardatários” no setor.

As mudanças climáticas representam um dos desafios mais urgentes e complexos que a humanidade enfrenta atualmente. A crescente concentração de gases de efeito estufa na atmosfera tem levado ao aumento da temperatura média do planeta, resultando em eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, tempestades mais intensas e o derretimento das calotas polares. Para combater esses efeitos devastadores, é crucial promover a transição para um sistema energético mais limpo e sustentável.

Os resultados obtidos neste estudo podem servir como base para futuras pesquisas na área de energia solar, permitindo o aprofundamento das análises e a identificação de novas relações e padrões que possam ser relevantes para o desenvolvimento do setor. Ao expandir o conhecimento sobre os fatores que influenciam a geração de energia solar, é possível contribuir para a criação de soluções mais eficientes e sustentáveis, promovendo a transição para um futuro com maior uso de fontes de energia limpas e renováveis.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N° 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento. À coordenação do MBA em Data Science & Analytics da ESALQ-USP pelo ferramental essencial no desenvolvimento do presente estudo e incentivo à produção deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- ARCHER, D. 2012. Global Warming: Understanding the Forecast. ISBN 978-0-470-94341-0
- BERRY, M. J. A.; Linoff, G. 1997. Data Mining Techniques. For Marketing, Sales and Customer Support. Wiley Computer Publishing.
- BRUNDTLAND, Gro Harlem; COMUM, Nosso Futuro. Relatório Brundtland. Our Common Future: United Nations, 1987.
- BP, 2021. Statistical Review of World Energy 2021. Available at: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energyeconomics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf> Acesso em 25 Junho 2022.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA/ESALQ. Série de preços. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/acucar.aspx>. Acesso em: 06 fev. 2022a.
- DUPONT, F. H.; Grassi, F.; Romitti, L. 2015. Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 1, Ed. Especial, p. 70 – 81 Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFMS ISSN : 22361170.
- ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA Inc. The Britannica store. [Chicago]: EB, 2008. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/solar-energy>. Acesso em: 18 out. 2022.
- FÁVERO, L. P.; Belfiore, P. 2021. Manual de análise de dados. LTC. ISBN 978-85-352-7087-7
- GÉRON, A. 2021. Mãos à obra: Aprendizado de máquina com Scikit-Learn, Keras & TensorFlow. Editora Alta Books. 2. Ed. ISBN 978-85-5081-548-0.
- GIL, A. C.. Como elaborar projetos de pesquisa. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- The World Bank, 'World Development Report 2021' http://wdr2021.worldbank.org/sites/default/files/pdfs/WDR2021_Full_Text.pdf Acesso em 25 Junho 2022.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. 2007. Applied multivariate statistical analysis. 6. ed. Upper Saddle River: Pearson Education.
- PROVOST AND FAWCETT, Foster and Tom, Data Science for Business – What You Need to Know About Data Mining and Data-Analytic Thinking (2013)
- TRUJILLO FERRARI, Alonso. Metodologia da pesquisa científica. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.
- VERMA, D.; Midtgard, O.-M.; Satre, T. O. 2011. Review of photovoltaic status in a European (EU) perspective. In: 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). p. 3292-3297.
- VICINI, L; SOUZA, A. M. 2005. Análise multivariada da teoria à prática. Santa Maria. 215 f. Monografia (Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa) - Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria.
- WEST, B. T; WELCH, K. B.; GALECKI, A. T. 2015. Linear mixed models: a practical guide using statistical software. 2. ed. Boca Raton: Chapman & Hall / CRC Press.
- WIRTH, R; Hipp, J. 2000. CRISP-DM: Towards a Standard Process Model for Data Mining. Practical application of knowledge discovery and data mining, 29-40. ISBN:1902426088
- WORLD BANK. World Bank Open data. The World Bank, 2022. Disponível em <https://data.worldbank.org/>. Acesso em 18 out 2022.

CARACTERIZAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS MONOFACIAIS E BIFACIAIS EM DIFERENTES IRRADIÂNCIAS USANDO SIMULADOR SOLAR

Indhirha Deckmann, Júlia Hartmann Mozetic, Fernando Schuck de Oliveira, Andres Armando Mendiburu Zevallos, Fabiano Perin Gasparin

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: indhirha.deckmann@ufrgs.br; julia.mozetic@ufrgs.br; fernandoschuck@hotmail.com; andres.zevallos@ufrgs.br; fabiano.gasparin@ufrgs.br

Palavras-chave: Módulos Fotovoltaicos; Irradiância Solar; Curva Característica;

Resumo

A energia solar fotovoltaica é uma das principais alternativas de geração de energia renovável no mundo. Isso se deve a várias vantagens que essa tecnologia oferece. Os módulos fotovoltaicos podem ser do tipo monofacial, que converte em eletricidade apenas a radiação solar que atinge a sua parte frontal, ou bifacial, que utiliza, para esta conversão, a energia solar que recebe em ambos os lados. Com o crescimento significativo do uso da energia solar fotovoltaica, torna-se cada vez mais importante compreender os mecanismos de conversão dessa fonte de energia. A caracterização de módulos fotovoltaicos é um processo essencial na avaliação do desempenho elétrico dos dispositivos e está diretamente relacionado à potência máxima e eficiência que os módulos possuem. A caracterização se dá por meio das curvas corrente versus tensão (I-V) e potência versus tensão (P-V). Ainda é possível estudar o comportamento da variação da eficiência com a irradiância (η -G) e a variação do fator de forma com a irradiância (FF-G). Para os módulos bifaciais, existem dois fatores fundamentais neste processo de caracterização dos módulos, sendo eles o fator de bifacialidade e o ganho bifacial. Neste trabalho foi utilizado o método *indoor*, isto é, o uso de um simulador solar para se obter curvas I-V e P-V de dois módulos fotovoltaicos em condições controladas. Este trabalho consistiu em obter e analisar as curvas características de um módulo monofacial e outro bifacial, ambos de 455 W de potência, variando a irradiância e mantendo a temperatura constante a 25°C. Com estes ensaios, foram obtidas curvas I-V e P-V em diferentes irradiâncias, para os dois módulos. As relações de eficiência versus irradiância bem como o fator de forma versus irradiância são bem representadas por modelos simples. Também foi verificada a linearidade da potência e da corrente de curto-circuito e a relação logarítmica da tensão de circuito aberto em função da irradiância. Os resultados encontrados ficaram dentro do esperado, apresentando coeficientes de correlação próximos à unidade. Para o módulo bifacial ainda foram obtidos os fatores de bifacialidades para a potência máxima, a tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito, permitindo obter uma caracterização mais abrangente deste módulo. O trabalho realizado possibilitou o entendimento do comportamento do módulo bifacial em relação ao monofacial, por meio da caracterização utilizando o simulador solar. Em trabalhos futuros, para a melhor caracterização dos módulos, será necessário também, além da variar a irradiância, obter curvas características com diferentes temperaturas, possibilitando avaliar o comportamento do módulo bifacial em uma ampla faixa de operação.

Introdução

As fontes de energia renováveis estão cada vez mais inseridas na matriz energética global, devido em parte ao seu menor impacto ambiental. No Brasil o mercado de energia solar está crescendo em um ritmo acelerado, segundo a agência internacional de energias renováveis no ano passado o país produziu aproximadamente 24 GW, se tornando o oitavo país em produção de energia solar, pela primeira vez (IREMA, 2023). Esse crescimento pode ser explicado por uma série de fatores, dentre eles o preço dos equipamentos diminuíram e o avanço da tecnologia neste setor. Já a produção mundial de energia solar, teve um aumento de 22% (191 GW) no período entre 2021 e 2022 (IREMA, 2023).

O uso da conversão fotovoltaica da energia solar é uma das principais alternativas de geração de energia renovável no mundo, pois os sistemas fotovoltaicos são modulares e podem ser empregados em instalações residenciais, comerciais ou industriais em geração distribuída (o que permite a instalação de geradores próximos às cargas, sem necessidade de grandes redes de transmissão) (VERA, 2009) ou ainda em usinas centralizadas, com potências variando de dezenas de watts até milhares de megawatts. Além disso, a energia solar fotovoltaica tem o benefício adicional de ser uma fonte de energia limpa e silenciosa, sem emissão de poluentes durante a operação (SOUZA, 2012). Isso justifica o grande investimento em sua implementação e desenvolvimento tecnológico verificado nas últimas duas décadas, bem como o crescente interesse nos países em desenvolvimento. A tendência é que a produção de energia a partir de sistemas fotovoltaicos continue a crescer nos próximos anos, graças ao declínio constante dos custos de produção e aumento da eficiência dos módulos fotovoltaicos (IPEA, 2018). Além disso, o custo de instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos tem diminuído ao longo dos anos, tornando-se uma alternativa cada vez mais competitiva.

Os módulos fotovoltaicos podem ser do tipo monofacial, que converte em eletricidade somente a radiação solar que recebe na parte frontal. Já o módulo bifacial, que na atualidade vem ganhando mais mercado, pois converte em eletricidade a radiação solar recebida em ambos os lados. A radiação solar refletida pelo solo é essencial para o incremento esperado na

produção de energia obtida pela exposição da parte traseira (Chen et al., 2021; Soria et al., 2015; Ko et al., 2021; Kim et al., 2021; Muehleisen et al., 2021).

Com o crescimento significativo do uso da energia solar fotovoltaica, torna-se cada vez mais importante compreender os mecanismos de conversão dessa fonte de energia. A caracterização dos módulos fotovoltaicos é um processo essencial na avaliação do desempenho elétrico dos dispositivos. Este desempenho está diretamente relacionado à potência máxima que os módulos podem fornecer e à eficiência de conversão, que afetam, por consequência, a viabilidade econômica e a atratividade dos investimentos futuros em relação a uma aplicação específica. Além disso, é importante entender as diferentes tecnologias disponíveis no mercado, pois cada uma delas apresenta características e desempenhos específicos, além de diferentes níveis de eficiência e custo (PEROZA, 2015). A caracterização elétrica se dá por meio da determinação experimental das curvas I-V (corrente versus tensão) e P-V (potência versus tensão). A partir das curvas I-V é possível determinar, por exemplo, o comportamento da eficiência em função da irradiância solar (η -G) e o comportamento do Fator de Forma em função da irradiância (FF-G). A eficiência e o fator de forma são calculados segundo as equações 1 e 2, respectivamente.

$$\eta = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{A \cdot G} = \frac{P_m}{A \cdot G} \quad (1)$$

$$FF = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} = \frac{P_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (2)$$

sendo, I_{mp} a corrente na potência máxima (A), V_{mp} a tensão na potência máxima (V), P_m a máxima potência, A é a área do módulo fotovoltaico (m^2) e por fim G é a Irradiância incidente no módulo fotovoltaico (W/m^2), I_{sc} a corrente de curto-circuito (A) e V_{oc} a tensão de circuito aberto (V).

Para os módulos bifaciais, existem dois fatores adicionais neste processo de caracterização, sendo eles os fatores de bifacialidade e o ganho bifacial. O fator de bifacialidade (Fb), é uma razão entre as características traseiras e frontais do módulo, definidos comumente para a máxima potência, tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito (RUIZ, 2022, MACHADO, 2021), conforme as equações 3, 4 e 5, respectivamente. O ganho bifacial, determina o desempenho entre módulos bifaciais e monofaciais através de sua produção de energia, sendo a quantidade adicional de energia gerada pelas células a partir da radiação incidente na face traseira de um módulo fotovoltaico bifacial em comparação com um módulo fotovoltaico de uma face só (RUIZ, 2022).

$$Fb(P_m) = \frac{P_{m \text{ face traseira}}}{P_{m \text{ face frontal}}} \quad (3)$$

$$Fb(V_{oc}) = \frac{V_{oc \text{ face traseira}}}{V_{oc \text{ face frontal}}} \quad (4)$$

$$Fb(I_{sc}) = \frac{I_{sc \text{ face traseira}}}{I_{sc \text{ face frontal}}} \quad (5)$$

Onde P_m é a potência máxima da face do módulo (W), V_{oc} é a tensão de circuito aberto (V) e I_{sc} é a corrente de curto-circuito (A).

Materiais e Métodos

Para a caracterização dos módulos fotovoltaicos, o método utilizado neste trabalho é o *indoor* que diz respeito ao uso de uma fonte de luz artificial, ou seja, um simulador solar, para se obter curvas I-V e P-V em condições padrão de teste que correspondem a uma irradiância de 1000 W/m^2 com espectro padrão AM1,5 e temperatura do módulo em 25°C . Este trabalho consistiu em obter e analisar curvas I-V e curvas P-V de um módulo monofacial e outro bifacial dos modelos JAM72S20-455/MR e JAM72D20-455/MB ambos com 455 W de potência, variando a irradiância e mantendo a temperatura constante a 25°C .

O simulador SunSim 3c da empresa suíça Pasan está instalado no Laboratório de Energia Solar – UFRGS (LABSOL), é utilizado com um túnel óptico de $6,5\text{m} \times 2,5\text{m} \times 2,5\text{m}$ conforme ilustrado na Figura 1-C e possui um flash de 10 ms . Além disso, o equipamento tem uma precisão elétrica de aproximadamente $0,2\%$ e a colimação da luz é menor que 15° . As características desse equipamento são consideradas superiores às de um simulador solar classe A, tornando o equipamento adequado para a coleta dos dados para a realização do estudo (KIPPER, 2018). Neste túnel, que é revestido por um material de baixa refletividade para evitar reflexões da radiação, fica o suporte para a fixação do módulo a uma distância específica da lâmpada de *flash* de xenônio. Pode-se visualizar a parte frontal e traseira do módulo bifacial fixado no suporte para ensaios na Figura 1 -A e B. No laboratório há dispositivos de ar-condicionado que são utilizados para controlar e manter a temperatura constante em 25°C durante os testes e, dessa forma, garantir que as medições sejam realizadas nas condições padrão de teste.

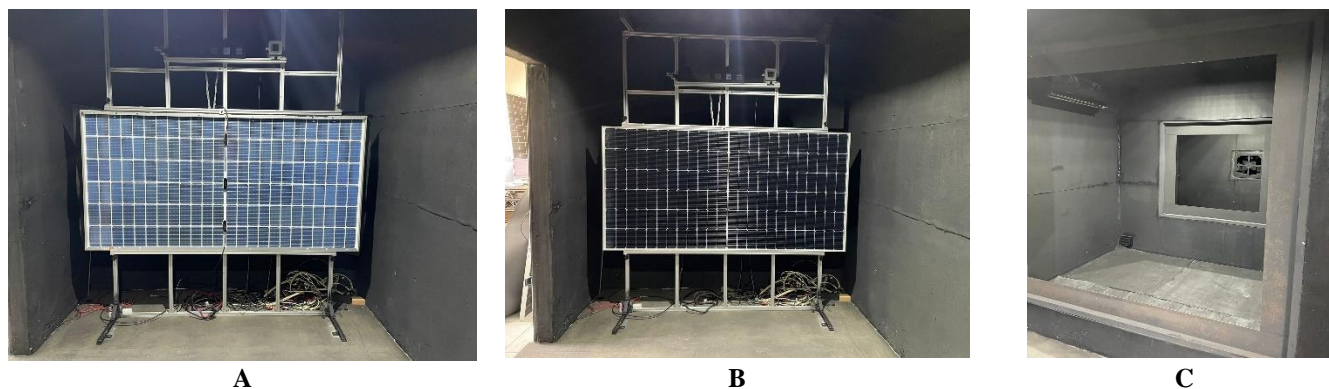


Figura 1 – Módulo bifacial fixado no suporte com a face traseira (A) e frontal (B) exposta à radiação do simulador. C – Vista do túnel do simulador com destaque ao fundo para o dispositivo onde as lâmpadas estão instaladas. Fonte: Autores, 2023.

Neste trabalho, foram caracterizados dois módulos fotovoltaicos de mesma marca, sendo um monofacial e outro bifacial, conforme características apresentadas na Tabela 1.

Módulo	JAM72D20-455/MB	JAM72S20-455/MR
Tipo	Bifacial	Monofacial
Célula	Monocristalina	Monocristalina
Peso (kg)	27,3	24,5
Dimensões (mm)	2117x1052x35	2112x1052x35
Nº de células	144	144
$P_{máx}$ (W)	455	455
V_{oc} (V)	49,75	49,85
V_{mp} (V)	41,52	41,82
I_{sc} (A)	11,46	11,41
I_{mp} (A)	10,96	10,88
Eficiência (%)	20,4	20,5

Tabela 1 – Módulos utilizados na caracterização pelo método *Indoor*

As medições e a visualização dos resultados de ensaios realizados no simulador solar são controladas por um microcomputador que está conectado a uma carga eletrônica que polariza o módulo e faz a medida da curva I-V, além de controlar todas as funções do simulador. Com a utilização do *software* SPROD V.291 de operação do simulador é possível ajustar os parâmetros para o teste de cada módulo específico. Durante os ensaios dos dois módulos, estes foram acomodados no suporte do simulador e a parte traseira do módulo bifacial foi coberta com EVA (Etileno Acetato de Vinila) preto, a fim de reduzir uma possível reflexão de radiação que atingisse a parte traseira. Testes mostraram que sem o EVA os resultados teriam uma influência da ordem de 0,5%, decorrente de reflexões em elementos do túnel. Quando a temperatura dentro do simulador está estabilizada, o módulo é caracterizado por meio da radiação simulada para obter a curva I-V, repetindo-se o procedimento para diversos valores de irradiância entre 100 e 1000 W/m². Esta variação é obtida por meio de máscaras inseridas junto às lâmpadas do simulador, que bloqueiam parte da radiação, em conjunto com o controle eletrônico. É importante salientar que este método é independente de condições climáticas, facilitando a realização de ensaios. Os arquivos de dados fornecidos pelo programa do simulador solar foram tratados utilizando o *software Excel*.

Resultados e Discussões

Com os dados medidos construiu-se os gráficos das curvas I-V em diferentes irradiâncias para o módulo monofacial, conforme visualizado na Figura 2 - A. O segundo gráfico confeccionado para este módulo foi o conjunto de curvas P-V para várias irradiâncias, conforme apresentado na Figura 2-B. Estes gráficos representam o comportamento esperado do módulo para diversas condições de irradiância. Os dados obtidos serão utilizados para determinar o comportamento da eficiência em função da irradiância. Este é um comportamento importante na operação dos módulos fotovoltaicos, visto que há normalmente uma ligeira redução da eficiência em baixas irradiâncias e não é possível visualizar diretamente por estes gráficos.

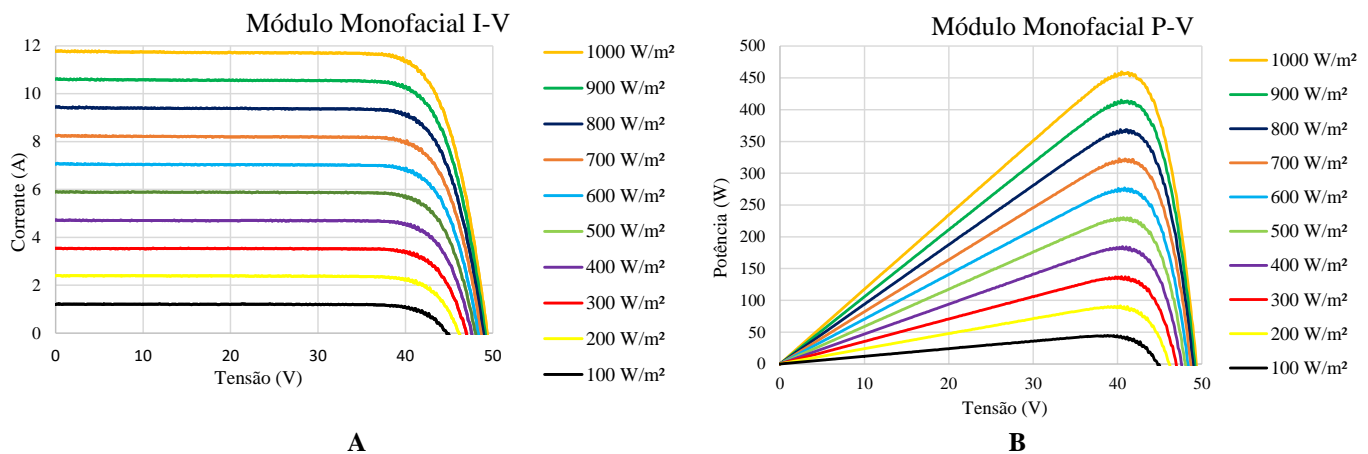


Figura 2- A - Curvas I-V para o módulo monofacial JAM72S20-455/MR para diferentes irradiâncias. B-Curvas P-V para o módulo monofacial JAM72S20-455/MR para diferentes irradiâncias. Fonte: Autores, 2023.

Para o módulo bifacial foram obtidos dois conjuntos de curvas I-V, visto que a caracterização deste tipo de módulo deve ser realizada tanto na face frontal quanto na face traseira. Na Figura 3-A, pode ser visto o conjunto de curvas I-V para a face traseira e na figura 3-B na face frontal, em diversas irradiâncias, sendo demonstrada o comportamento diferente nas duas faces do módulo. Isto é esperado, visto que a parte traseira do módulo possui obstáculos à passagem de radiação e na face traseira percebe-se que a corrente é menor e que a curva I-V possui deformações.

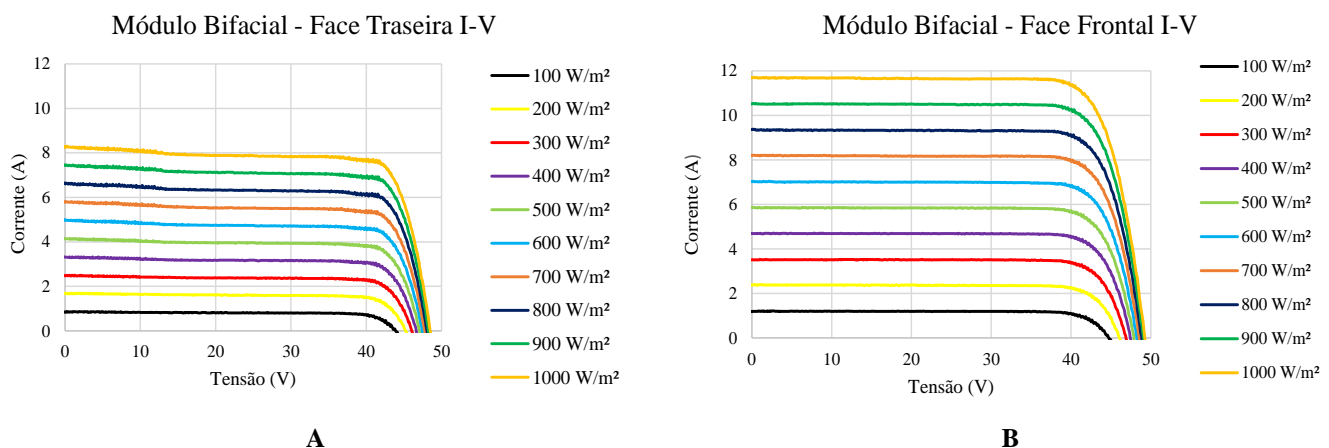


Figura 3- Curvas I-V para as faces traseira (A) e frontal (B) do módulo bifacial JAM72D20-455/MB para diferentes irradiâncias. Fonte: Autores, 2023.

Durante a caracterização do módulo bifacial, foram medidas as potências máximas nas diferentes irradiâncias. Na irradiância de 1000 W/m² espera-se que a potência seja próxima à nominal fornecida no *datasheet* do módulo, conforme a Tabela 2. Na face frontal a potência medida foi superior em aproximadamente 0,60% ao valor nominal, enquanto na face traseira o valor medido representa 69% do valor nominal.

Irradiância (W/m ²)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	
Face Traseira	P_m (W)	30,0	60,3	91,7	123,6	155,1	187,0	218,8	251,0	283,8	314,8
	I_{sc} (A)	0,860	1,687	2,486	3,321	4,144	4,976	5,807	6,631	7,456	8,286
	V_{oc} (V)	43,866	45,267	46,066	46,671	47,083	47,456	47,780	48,074	48,299	48,525
Face Frontal	P_m (W)	44,2	89,9	135,5	182,5	228,3	274,6	321,3	366,7	412,7	457,9
	I_{sc} (A)	1,198	2,379	3,511	4,694	5,853	7,021	8,204	9,349	10,520	11,698
	V_{oc} (V)	44,706	46,084	46,896	47,466	47,894	48,268	48,583	48,837	49,094	49,266

Tabela 2 – P_m , V_{oc} e I_{sc} em várias irradiâncias no módulo bifacial JAM72D20-455/MB.

De modo semelhante ao módulo monofacial, foram obtidas as curva P-V para as faces traseira e frontal , conforme visualizadas na Figura 4 A e B, respectivamente, sendo representada a característica potência-tensão em diferentes irradiâncias.

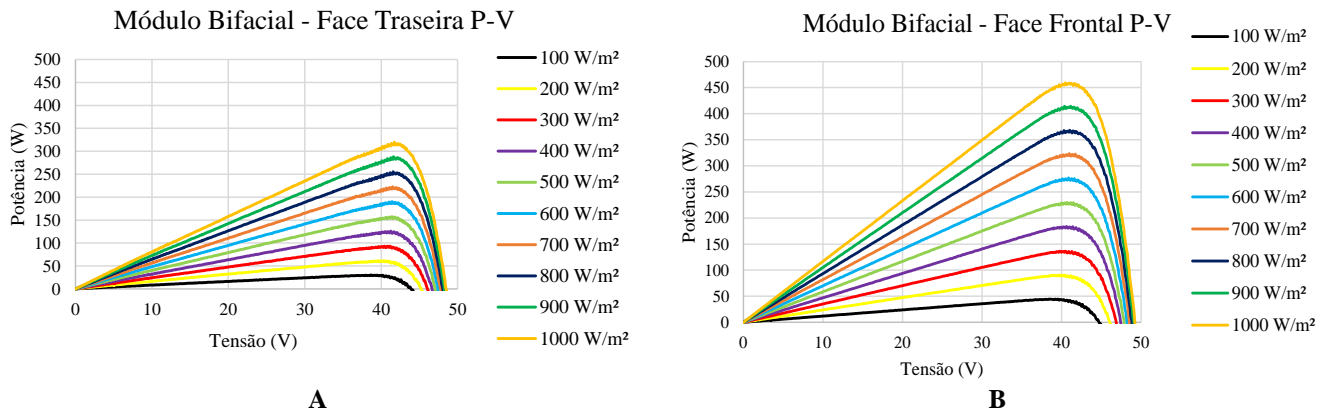


Figura 4- Curvas P-V para as faces traseira (A) e frontal (B) do módulo bifacial JAM72D20-455/MB para diferentes irradiâncias. Fonte: Autores, 2023.

Outras relações que podem ser analisadas, tanto para o módulo monofacial quanto para o bifacial são o comportamento do fator de forma (FF) e da eficiência em relação a irradiância. Para o módulo monofacial, os gráficos do fator de forma *versus* irradiância, figura 5-A e eficiência *versus* irradiância, figura 5-B. Na Figura 6-A pode ser visualizada a relação do fator de forma *versus* irradiância para a face traseira e na figura 6-B a relação na face frontal. Já na Figura 7-A está a relação eficiência *versus* e irradiância para a face traseira e na figura 7-B para a face frontal.

O comportamento do fator de forma em relação a irradiância do módulo monofacial e do módulo bifacial são semelhantes já que a variação deste fator é inversamente proporcional à irradiância. Com exceção da face traseira do módulo bifacial, um modelo linear de redução de FF com a irradiância pode ser aproximado aos dados. Para obter o gráfico da eficiência *versus* irradiância, foi realizado a normalização tanto da eficiência como para a irradiância através da modelagem apresentada por Randall (2003), conforme a equação 6, a fim de se obter uma relação que pode ser aplicado em qualquer modelo de módulo fotovoltaico, através da generalização.

$$\eta'(G') = 1 + a \cdot \ln G' \quad (6)$$

Onde, η' é a eficiência normalizada em função da irradiância normalizada, G' é a irradiância normalizada e a é um coeficiente. Os três termos não possuem unidades.

O Modelo mais simplificado da equação 6 não é suficiente para descrever adequadamente o comportamento da variação da eficiência com a irradiância, exceto para a característica da face traseira do módulo. Desta forma, é necessário um modelo de 3 termos, conforme apresentado por Williams (2003) e reproduzido na Equação 7 para representar a variação da eficiência com a irradiância destes módulos ensaiados.

$$\eta'(G') = a_1 + a_2 G' + a_3 \cdot \ln G' \quad (7)$$

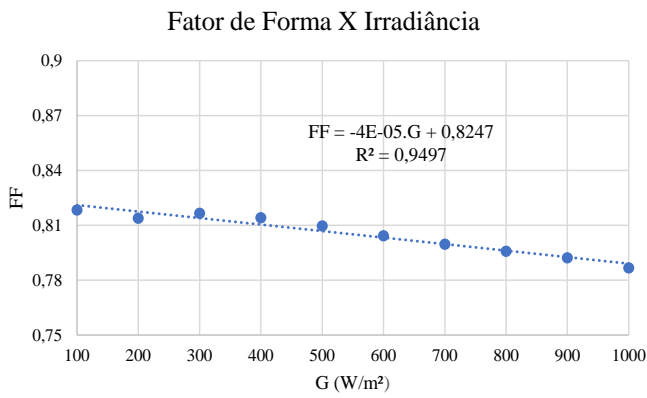
sendo a_1 , a_2 e a_3 coeficientes e G' é a irradiância normalizada por 1000, isto é, $G'=1$ para $G = 1000 \text{ W/m}^2$ e η' é a eficiência normalizada. Para o cálculo do η' é realizado através da divisão das eficiências obtidas anteriormente para cada curva pela eficiência da curva cuja irradiância é 1000 W/m^2 . Utilizando o software *MyCurve Fit* foi obtida as modelagens da equação 7, resultando na equação 8 para o módulo monofacial, na equação 9 para a face traseira do módulo bifacial e na equação 10 para a face frontal do módulo bifacial. As equações de ajuste estão apresentadas nos gráficos das Figuras 5-B , 7-A e 7-B.

$$\eta'(G') = 1,041589 - 0,04008188 * G' + 0,03136353 * \ln G' \quad (8)$$

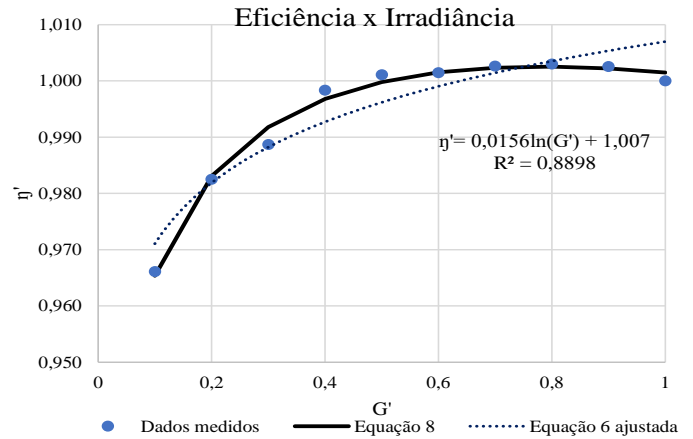
$$\eta'(G') = 0,9903612 + 0,01283377 * G' + 0,01807719 * \ln G' \quad (9)$$

$$\eta'(G') = 1,032724 - 0,03189726 * G' + 0,02812692 * \ln G' \quad (10)$$

O valor do x, é o valor da irradiância normalizada (G').

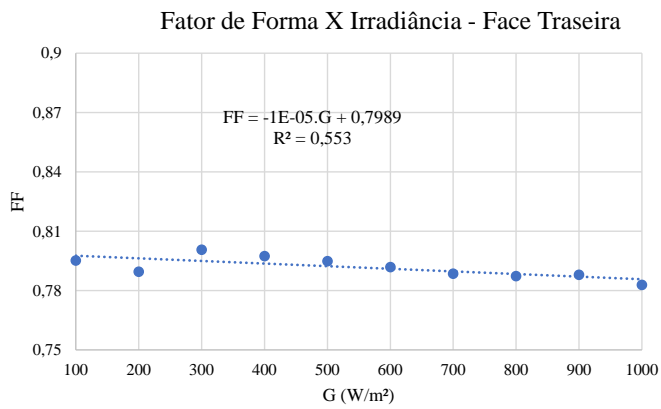


A

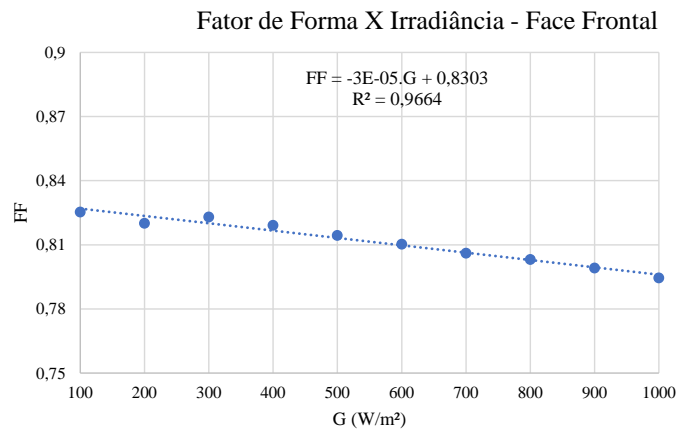


B

Figura 5- Curva Fator de forma *versus* irradiância (A) e eficiência *versus* irradiância (B) para o módulo monofacial JAM72S20-455/MR. Fonte: Autores, 2023.

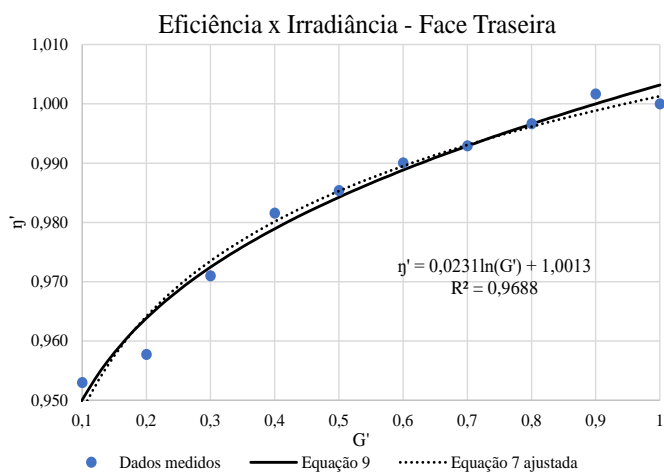


A

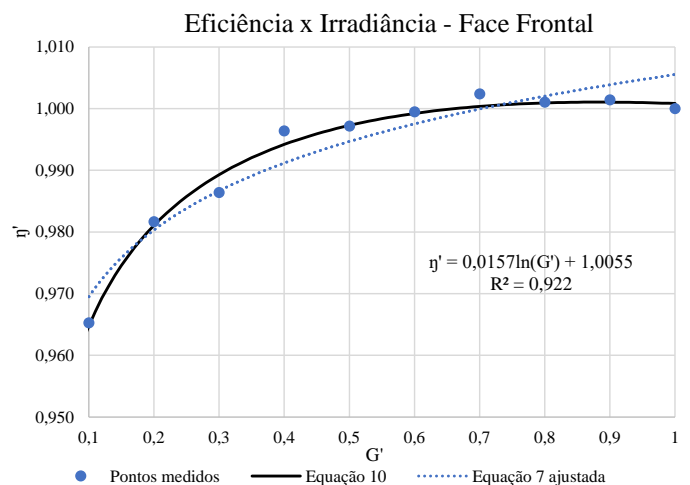


B

Figura 6- Curva Fator de forma *versus* irradiância da face traseira (A) e face frontal (B) para o módulo bifacial JAM72D20-455/MB. Fonte: Autores, 2023.



A



B

Figura 7- Curva Eficiência *versus* irradiância da face traseira (A) e da face frontal (B) para o módulo bifacial JAM72D20-455/MB. Fonte: Autores, 2023.

Para os gráficos da eficiência *versus* irradiância, percebeu-se que a modelagem da curva com três termos se ajustou melhor ao comportamento dos módulos. Além dos resultados já mencionados, ainda foram analisadas a linearidade de I_{sc} e P_m em relação à irradiância, para o módulo monofacial, figuras 8-A e 8-B, respectivamente e para a face traseira do módulo bifacial figuras 9-A e 9-B respectivamente e por fim para a face frontal figuras 10-A e 10-B, respectivamente. Também foi analisada a relação da tensão de circuito aberto em função do logaritmo natural da irradiância, para o módulo monofacial, figura 8 -C, e para as faces traseira e frontal do módulo bifacial figuras 9-C e 10 C, respectivamente.

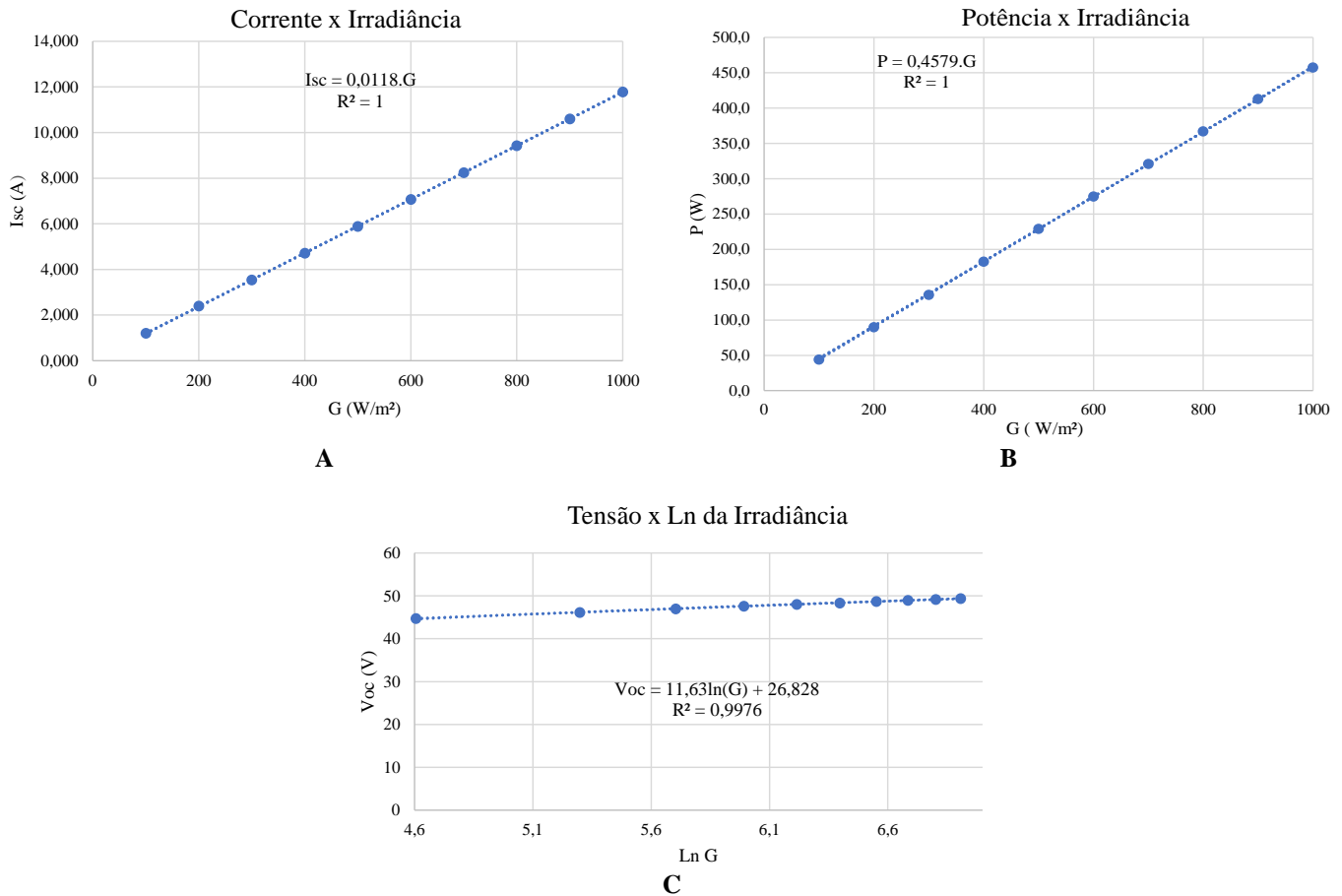
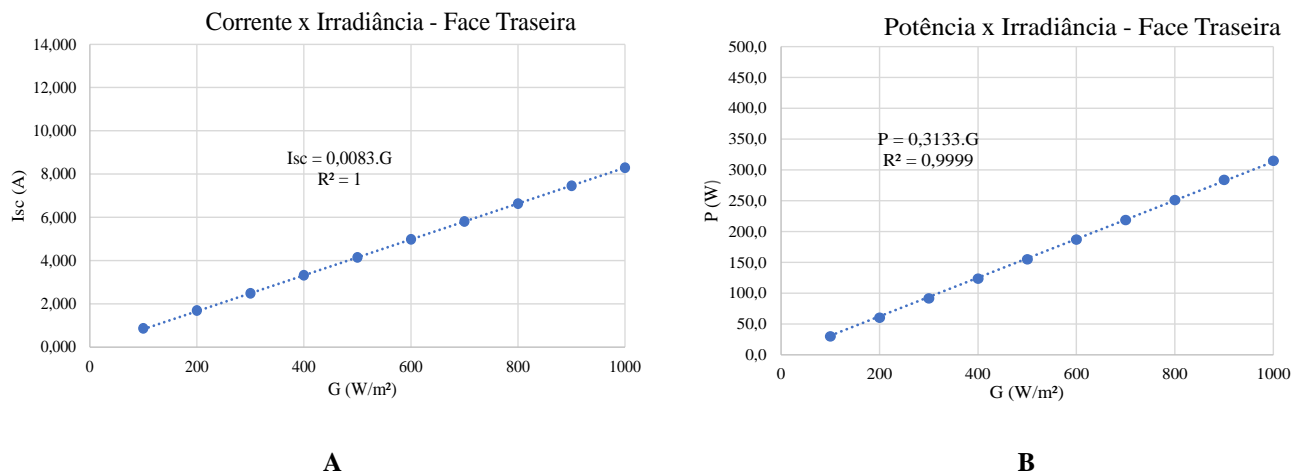


Figura 8 – Relações de linearidade da corrente de curto-circuito (A) e da potência máxima com a irradiância (B) e relação de V_{oc} com o ln da irradiância (C) para o módulo monofacial JAM72S20-455/MR. Fonte: Autores, 2023.



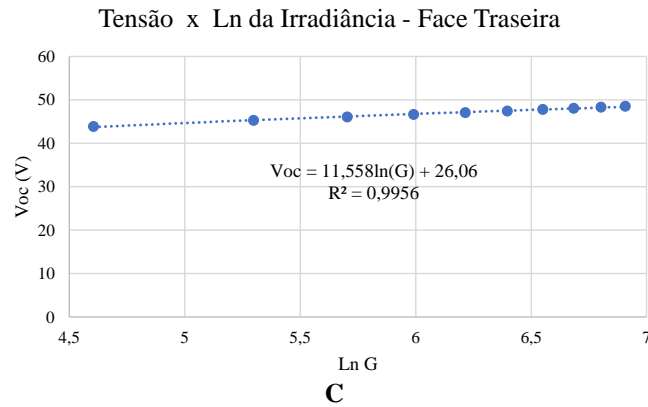


Figura 9- Relações de linearidade da corrente de curto-circuito (A) e da potência máxima (B) com a irradiância e relação de V_{oc} com o ln da irradiância (C) para a face traseira do módulo bifacial JAM72D20-455/MB. Fonte: Autores, 2023.

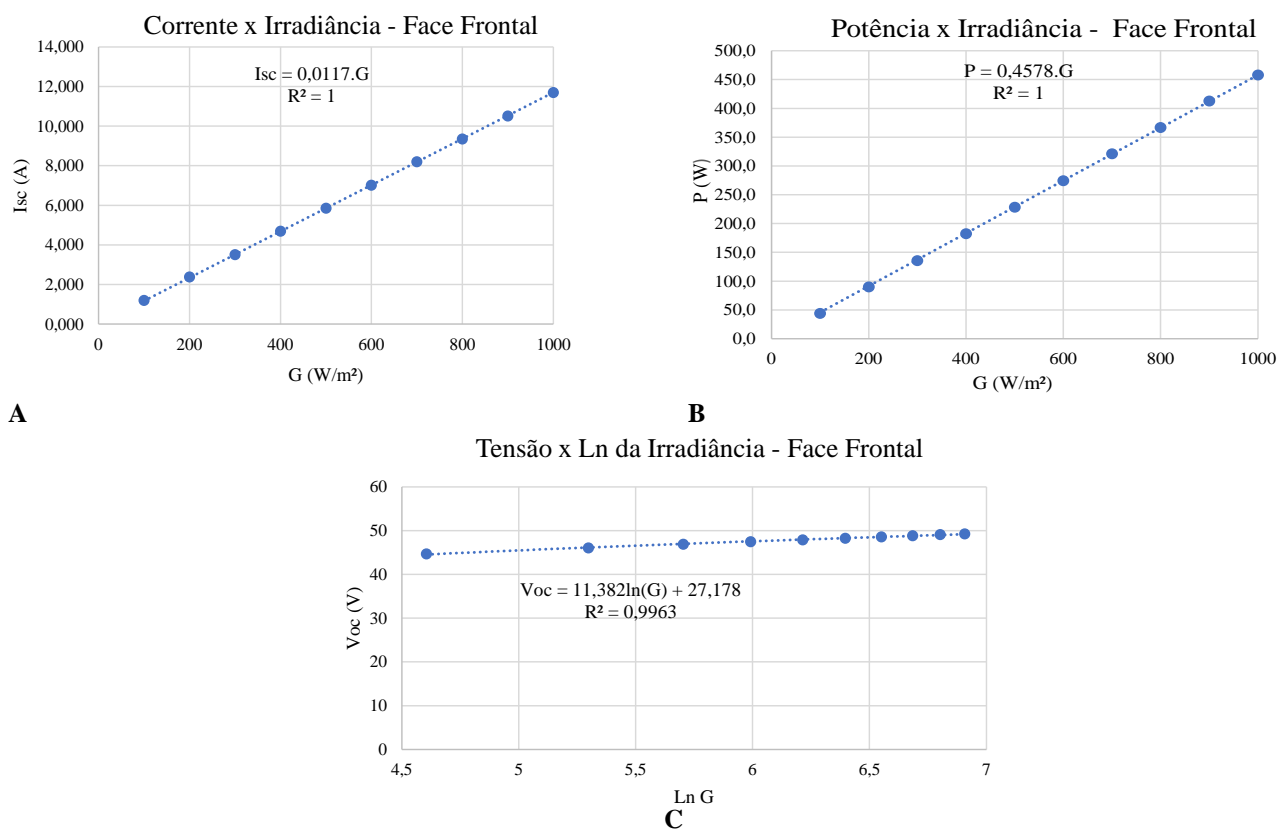


Figura 10 – Relações de linearidade da corrente de curto-circuito(A) e da potência máxima (B) com a irradiância e relação de V_{oc} com o ln da irradiância (C) para a face frontal do módulo bifacial JAM72D20-455/MB. Fonte: Autores, 2023.

Pode ser observado nas figuras acima que a corrente de curto-circuito apresenta uma relação linear com a irradiância incidente nos módulos monofacial e bifacial. Esse comportamento ocorre, pois, a corrente de curto-circuito é proporcional à quantidade de fótons absorvidos, podendo ser exemplificado através da equação 11 para temperatura constante.

$$I_{sc} = I_{sc_{stc}} \times \frac{G}{1000} \quad (11)$$

sendo I_{sc} a corrente de curto-circuito medido (A), $I_{sc_{stc}}$ a corrente de curto-circuito em condições padrão (A) (25°C, 1000W/m² e AM 1,5) e G a irradiância medida (W/m²). Percebe-se que o valor de R^2 (coeficiente de correlação) da curva de tendência mostrada nas Figuras 8 -A, 9-A, 10-A ficaram próximos a um, mostrando a adequação do modelo linear ao comportamento observado no intervalo de irradiância medido. Já a linearização da tensão de circuito aberto (V_{oc}) com o logaritmo natural da irradiância nas figuras 8-C, 9-C, 10-C é esperado tendo em vista a equação 12, que relaciona V_{oc} com a corrente fotogerada.

$$V_{oc} = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln \left(\frac{I_L}{I_o} + 1 \right) \quad (12)$$

sendo, V_{oc} a tensão de circuito aberto (V), k é a constante de Boltzmann sendo seu valor $1,38066 \times 10^{-23} \frac{J}{K}$, T é a temperatura absoluta da junção (K), q é a carga elementar sendo $1,602 \times 10^{-19} C$, I_L é a corrente elétrica fotogerada (A) e por fim, I_o é a corrente de saturação (A).

Observa-se nas Figuras 8-B, 9-B e 10-B que o comportamento da potência máxima em relação à irradiância incidente aparenta ser linear, embora quando a potência é normalizada é possível verificar a redução da eficiência com a irradiância conforme apresentado anteriormente. Para o módulo bifacial, os fatores de bifacialidade em relação a irradiância incidente no módulo são apresentados na Tabela 3. Verifica-se que os coeficientes de bifacialidade de P_m tem uma pequena redução em irradiâncias menores e que os coeficientes de bifacialidade de V_{oc} e I_{sc} são praticamente constantes na faixa de irradiância medida.

Irradiância (W/m ²)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
P_m	0,679	0,671	0,677	0,677	0,679	0,681	0,681	0,685	0,688	0,688
Fb	V_{oc}	0,981	0,982	0,982	0,983	0,983	0,983	0,983	0,984	0,985
	I_{sc}	0,718	0,709	0,708	0,707	0,708	0,709	0,708	0,709	0,708

Tabela 3 – Fatores de bifacialidade para cada irradiância incidente

Considerações Finais

Neste trabalho foi utilizado o simulador solar do Laboratório de Energia Solar da UFRGS, para a caracterização elétrica de dois módulos fotovoltaicos para diversas irradiâncias solares e temperatura constante de 25 °C.

Com estes ensaios, buscou-se a caracterização de um módulo bifacial e um monofacial. Para isso, foram obtidas curvas I-V e P-V para diferentes irradiâncias e foram calculadas as relações de eficiência e fator de forma em função da irradiância que ajudam a interpretar o comportamento dos módulos em diferentes condições de operação. Através dos gráficos, foram verificadas as linearidades da potência e da corrente de curto – circuito em função da irradiância, e a relação logarítmica da tensão de circuito aberto em função da irradiância. Os coeficientes de correlação ficaram próximos a um. Para o módulo bifacial ainda foram obtidos os fatores de bifacialidades.

O trabalho apresentado possibilitou o entendimento do comportamento do módulo bifacial em relação ao monofacial, por meio da caracterização elétrica *indoor*. Em trabalhos futuros, para a melhor caracterização dos módulos, é importante além da variação da irradiância incluir a variação da temperatura, demonstrando o comportamento do módulo em qualquer situação. Além disto é importante realizar os ensaios para mais módulos, a fim de confirmar ou generalizar os comportamentos por meio de modelos abrangentes.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao grupo de pesquisa do LABSOL-UFRGS pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho e principalmente ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo fomento à pesquisa.

Referências Bibliográficas

CHEN, M., ZHANG, W., XIE, L., HE, B., *et al.*; 2021. Improvement of the electricity performance of bifacial PV module applied on the building envelope. *Energy Build.* pp. 238.

DANTAS, Stefano D., POMPERMAYER, Fabiano M., 2018; Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.; Brasília: Rio de Janeiro.

DELINE, Chris P. PELAEZ, S. A *et al.*; 2019. Bifacial PV module performance measurement & modeling. *IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, v. 46, pp. 2-10.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY.;2023. Renewable capacity statistics 2023. Disponível em: https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2023.pdf?rev=d2949151ee6a4625b65c82881403c2a7. Acesso em 30 maio.2023.

KIM, C., JEONG, M.S., KO, J., KO, M.G., *et al.*; 2021. Inhomogeneous rear reflector induced hot-spot risk and power loss in building-integrated bifacial c-Si photovoltaic modules. *Renew. Energy* v. 163, pp. 825–835.

KIPPER, Felipe D. *et al.*; 2018. Análise da variação dos coeficientes térmicos de módulos fotovoltaicos com a irradiância. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar.

KO, M.G., LEE, G., KIM, C., LEE, Y. *et al.*; 2021. Dielectric/metal/dielectric selective reflector for improved energy efficiency of building integrated bifacial c-Si photovoltaic modules. *Curr. Appl Phys.* V. 21, pp. 101–106.

MACHADO, Ricardo.; 2021. Projeto e implantação de usina solar fotovoltaica com módulos de tecnologia bifacial. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade do Ceará, Fortaleza.

MUEHLEISEN, W., LOESCHNIG, J., FEICHTNER, M., BURGERS, A.R. *et al.*; 2021. Energy yield measurement of an elevated PV system on a white flat roof and a performance comparison of monofacial and bifacial modules. *Renew. Energy* v. 170, pp. 613–619.

PEROZA, Josiane.; 2015. Caracterização elétrica de módulos fotovoltaicos de distintas tecnologias a partir de ensaios com simulador solar e iluminação natural. 97 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá.

RANDALL, J.F; JACOT, J. 2003. Is AM1.5 applicable in practice? Modelling eight photovoltaic materials with respect to light intensity and two spectra. *Renewable. Energy* v. 28, pp. 1851–1864.

RUIZ, Pablo G.; 2022. Instalación fotovoltaica bifacial para autoconsumo doméstico. 81 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade de Cantabria.

SORIA, B., GERRITSEN, E., LEFILLASTRE, P., BROQUIN, J.-E., 2015. A study of the annual performance of bifacial photovoltaic modules in the case of vertical facade integration. <https://doi.org/10.1002/ese3.103>

SOUZA, Rodrigo B. *et al.*; 2012. Análise de simuladores Solares para ensaios de módulos fotovoltaicos. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES, São Paulo.

VERA, Luis Horacio.; 2009. Análise do impacto do comportamento de baterias em sistemas fotovoltaicos autônomos. 269 f. Tese (Doutorado) - Programa Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WILLIAMS, S.R., *et al.*; 2003. Modeling Long-Term Module Performance Based on Realistic Reporting Conditions with Consideration to Spectral Effects. 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japão.

ANÁLISE ENERGÉTICA COMPARATIVA ENTRE MÓDULO FOTOVOLTAICO MONOFACIAL E BIFACIAL

Júlia Hartmann Mozetic, Indhirha Deckmann, Fernando Schuck de Oliveira, Andrés Armando Mendiburu Zevallos, Fabiano Perin Gasparin

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mails: julia.mozetic@ufrgs.br; indhirha.deckmann@ufrgs.br; fernandoschuck@hotmail.com; andresmendiburu@ufrgs.br; fabiano.gasparin@ufrgs.br

Palavras-chave: módulo bifacial; energia; produtividade fotovoltaica.

Resumo

A tecnologia do módulo fotovoltaico bifacial pode ser considerada madura tendo em vista o seu tempo de existência no mercado e sua aplicação em larga escala. Contudo, essa tecnologia requer o desenvolvimento de pesquisas voltadas para o entendimento da sua capacidade de aumento de produção energética. A necessidade de otimização dos sistemas fotovoltaicos vem crescendo no cenário mundial, uma vez que o espaço físico para implantação dos sistemas é escasso e a demanda por energia renovável vem aumentando de forma exponencial dentro das indústrias e até mesmo no setor doméstico. As políticas públicas de incentivo à produção de energias limpas possibilitaram o avanço nas pesquisas na área da energia solar fotovoltaica, trazendo destaque para os módulos bifaciais e seus benefícios. O presente artigo teve por objetivo analisar a produção de energia de dois módulos fotovoltaicos do mesmo fabricante e características semelhantes, sendo um monofacial e outro bifacial, instalados e monitorados no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Os módulos foram conectados a um microinversor que registrou os dados de tensão, corrente e potência dos dois módulos fotovoltaicos. As análises foram direcionadas para a comparação da energia produzida, cálculo de índices de mérito como produtividade fotovoltaica e taxa de desempenho além do cálculo do ganho bifacial. Os resultados revelaram que o módulo bifacial apresentou uma produção energética 6,7% superior se comparado com o módulo monofacial. Foi observado que a produtividade fotovoltaica do módulo bifacial no período foi 1,61% maior do que a média histórica das bases de dados para o período, enquanto para o módulo monofacial foi 4,84% menor. Os valores de energia gerados foram comparados com a irradiação total, albedo do local e índice de claridade a fim de identificar a interferência no desempenho e produção energética dos painéis fotovoltaicos. Verificou-se que o ganho na produção de energia do módulo bifacial em relação ao monofacial é maior nos dias em que o índice de claridade foi inferior a 0,25 evidenciando que em dias nublados ou parcialmente nublados o ganho bifacial é maior. A área da energia solar fotovoltaica está em constante desenvolvimento e requer respostas rápidas e precisas para a avaliação do desempenho das novas tecnologias que estão surgindo. Tendo em vista este cenário, as pesquisas em módulos bifaciais são de extrema relevância para o desenvolvimento do setor, permitindo a criação de modelos que melhoram a previsibilidade do desempenho deste tipo de módulo quando instalado em condições reais de operação.

Introdução

A produção de energia a partir de sistemas fotovoltaicos cresceu exponencialmente no cenário brasileiro e mundial na última década. As projeções realizadas pela Agência Internacional de Energia (IEA) indicam que até 2026 aproximadamente 3,67% de toda a energia solar fotovoltaica produzida no mundo será brasileira (IEA, 2022). Com esse mercado em plena expansão, se tornou necessária a aplicação de tecnologias capazes de aumentar a produção de energia das plantas fotovoltaicas, sendo os módulos bifaciais um exemplo importante neste contexto.

Apesar da tecnologia dos módulos bifaciais ter sido registrada nos anos sessenta, a sua aplicação vem se mostrando bastante atual e promissora dentro do ramo de energias renováveis (Mori, 1966). Devido à similaridade de custo com os módulos monofaciais, os módulos bifaciais estão conquistando rapidamente fatias maiores de mercado, podendo representar 30% de toda produção mundial até 2030 (IEA PVPS, 2021).

Com o foco voltado para os painéis fotovoltaicos bifaciais, cientistas de todo o mundo desenvolveram estudos para compreender o comportamento desses painéis em diversos cenários e determinar a influência de variados parâmetros no desempenho deste tipo de módulo (Sun et al., 2017). Em vistas de padronizar os métodos de ensaio praticados, em 2019 foi implementada pela Comissão Internacional Eletrotécnica (IEC) a especificação técnica TS 60904-1-2 voltada aos métodos de caracterização *indoor* e *outdoor* dos módulos bifaciais (IEC, 2019).

Ainda que a TS 60904-1-2 tenha solucionado muitos dos questionamentos em relação aos ensaios de caracterização, são encontrados desafios para a reprodução do método de medição *outdoor* seguindo os padrões determinados de não-uniformidade inferior a 10%, medição de irradiação em ambos os lados com aparelhos de resposta espectral semelhante ao dispositivo testado, bem como a minimização do sombreamento do aparato de medição (Lopez-Garcia et al., 2022).

Por definição, o módulo fotovoltaico é considerado bifacial quando ambos os lados do dispositivo são capazes de absorver a radiação solar e converter em energia elétrica (IEC, 2019). A tecnologia dos componentes empregados na produção do módulo bifacial é mais avançada do que a aplicada nos módulos monofaciais (Guerrero-Lemus et al., 2016). É necessária a utilização de componentes capazes de receber a radiação incidente em ambos os lados da célula, conforme ilustrado na Figura 1, e gerar uma diferença de potencial capaz de induzir uma corrente elétrica (Ganesan et al., 2023).

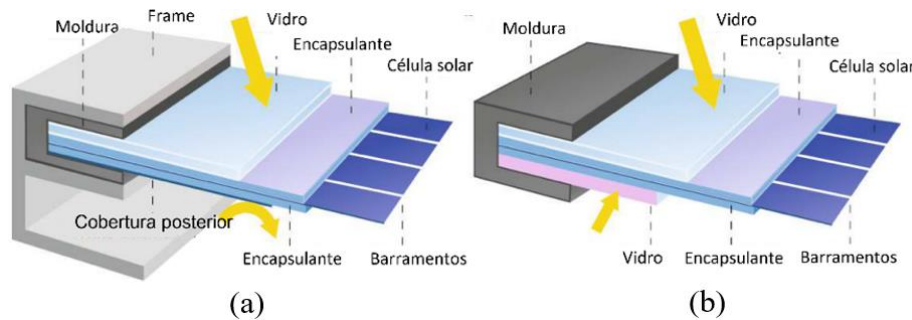


Figura 1: Estrutura de um módulo fotovoltaico típico com células de silício cristalino: (a) monofacial e (b) bifacial
(Adaptado de IEA PVPS, 2021)

O aumento da produção energética, em função do ganho por bifacialidade do módulo fotovoltaico, é influenciado tanto por parâmetros do ambiente (radiação difusa e refletida pelo solo) como por parâmetros da instalação (altura em relação a superfície, ângulo de inclinação e quantidade de módulos no arranjo). O ganho bifacial do módulo depende das condições de operação do sistema, do tipo de superfície onde está alocado e da radiação efetiva que atinge a parte traseira. A Figura 2 ilustra as componentes da radiação solar incidentes nas superfícies do módulo fotovoltaico. Asgharzadeh et al. (2017) verificaram que módulos bifaciais expostos a elevados albedos e alturas relativamente grandes apresentam maior produção energética, enquanto módulos posicionados em grandes arranjos podem diminuir em até 7% sua produção em relação a um módulo individualizado.

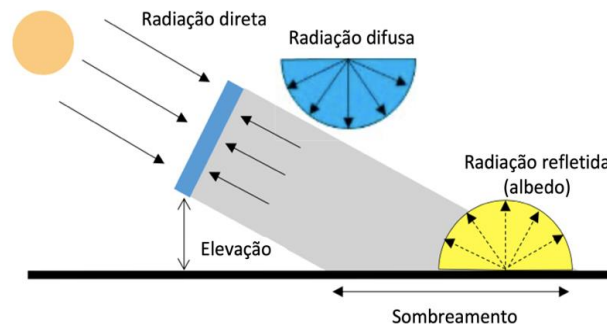


Figura 2: Componentes da radiação solar que atingem as faces de um módulo bifacial (Adaptado de Sun et al., 2017)

Neste artigo serão descritos os resultados obtidos a partir do monitoramento de dois módulos fotovoltaicos instalados lado a lado em condições idênticas. As medições foram realizadas no período entre 23 de abril e 12 de maio de 2023. O estudo teve como objetivo a análise comparativa do ganho energético bifacial entre dois módulos da fabricante JA SOLAR de mesma potência nominal e especificações dimensionais semelhantes. Com os dados de monitoramento obtidos, serão apresentados resultados da comparação de desempenho entre os módulos fotovoltaicos.

Materiais e Métodos

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizado na cidade de Porto Alegre no estado do Rio Grande do Sul. O período de captação de dados de monitoramento *outdoor* compreende ao intervalo de tempo entre os dias 23 de abril de 2023 e 12 de maio de 2023. Para a realização dos testes do estudo, foram escolhidos dois módulos fotovoltaicos da fabricante JA SOLAR de mesma potência nominal, sendo um do tipo monofacial e o outro bifacial, cujos dados nominais são apresentados na Tabela 1.

	JAM72S20-455/MR	JAM72D20-455/MB
Tipo	Monofacial	Bifacial
Célula	Monocristalina	Monocristalina
Dimensões (mm)	2112 x 1052 x 35	2117 X 1052 X 35
P _{max} (W)	455	455
V _{oc} (V)	49,85	49,75
V _{mp} (V)	41,82	41,52
I _{sc} (A)	11,41	11,46
I _{mp} (A)	10,88	10,96
Eficiência (%)	20,5	20,4

Condições padrão de teste: irradiância 1000 W/m², temperatura da célula 25 °C, espectro AM 1.5 G

Tabela 2: Especificações e parâmetros elétricos nominais dos módulos fotovoltaicos, em condições padrão de teste.

Para a determinar as características elétricas de cada módulo, foi obtida, no simulador solar, a curva característica corrente versus tensão, conforme previsto na normativa internacional IEC 61215. A Figura 3 apresenta a imagem dos módulos fotovoltaicos posicionados para o ensaio. O módulo fotovoltaico bifacial foi submetido ao teste tanto na sua face frontal cobrindo a parte posterior quanto na face posterior, sendo o lado não submetido ao teste coberto com material polimérico emborrachado para bloquear a passagem de luz.

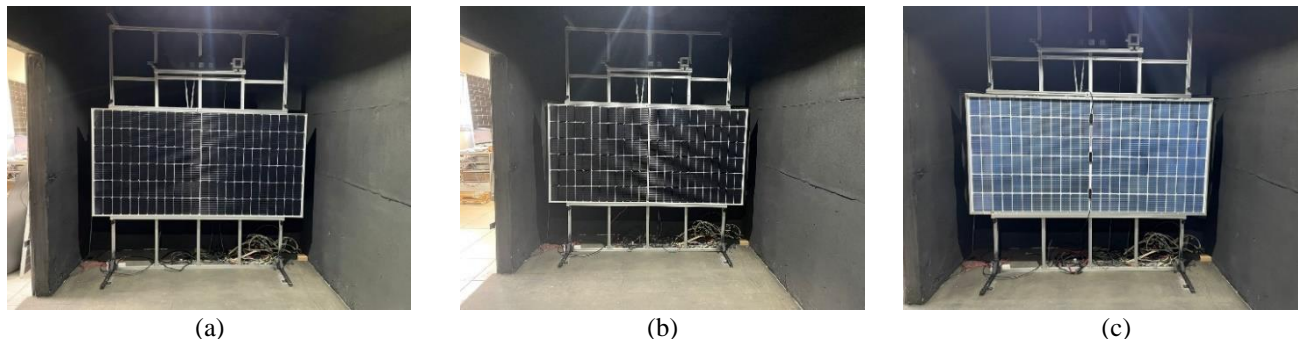


Figura 3: Módulos fotovoltaicos instalados no suporte do simulador solar: monofacial (a), módulo bifacial face frontal (b), módulo bifacial face posterior (c)

A norma internacional IEC TS 60904-1-2 prevê que o coeficiente de bifacialidade da máxima potência é dado pela equação 1.

$$\varphi_{P_{max}} = \frac{P_{maxr}}{P_{maxf}} \quad (1)$$

onde P_{maxr} e P_{maxf} é a potência máxima da face posterior e frontal do módulo bifacial, respectivamente.

O ensaio *outdoor* foi realizado com os mesmos módulos fotovoltaicos para finalidade comparativa entre os resultados. Os painéis foram conectados ao microinversor da fabricante Deye modelo SUN1000G3-US-220 (Figura 4) para medição da energia produzida. O sistema do monitoramento do inversor registra a tensão, corrente e potência média em intervalos de cinco minutos.



Figura 4: Microinversor Deye (SUN1000G3-US-220)

Foram coletados os dados de radiação global da face frontal e posterior dos módulos por dois piranômetros e duas células de referência, as temperaturas dos módulos fotovoltaicos e das células de referência foram aferidas por sensores de temperatura Pt100, conforme ilustrado na Figura 5.

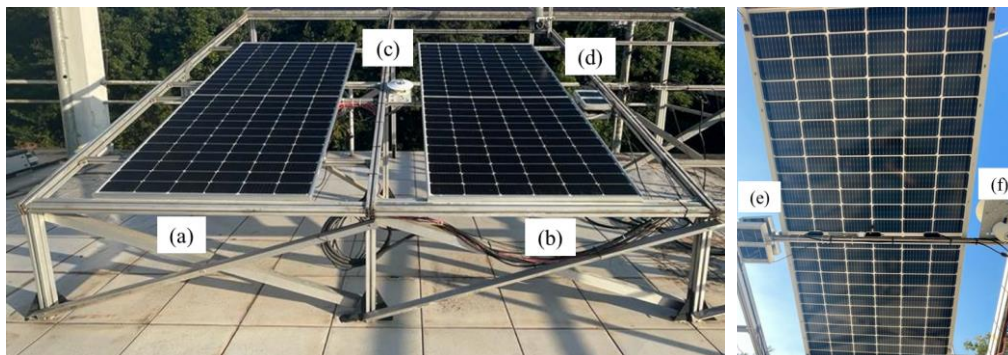


Figura 5: Ensaio *outdoor* composto por: módulo monofacial (a), módulo bifacial (b), piranômetro direcionado para cima (c), célula de referência direcionada para cima (d), célula de referência direcionada para baixo (e), piranômetro direcionado para baixo (f)

A análise energética do sistema se baseia na aferição da energia produzida em quilowatt-hora (kWh) por cada módulo, sendo neste trabalho os valores analisados em corrente elétrica contínua (CC). O cálculo de parâmetros como o índice de produtividade fotovoltaica (YF) e o rendimento global ou *Performance Ratio* (PR), são indicadores importantes para avaliar quantitativamente o desempenho do sistema (Marino & Sganzerla, 2018; Teixeira Das Neves et al., 2022).

A produtividade fotovoltaica, aqui calculado em corrente contínua definido como $YIELD_{CC}$, é a razão entre a energia gerada em corrente contínua ($E_{g_{cc}}$) em quilowatt-hora (kWh) pela potência instalada do sistema (P_i) em quilowatt-pico (kWp), conforme equação 2.

$$YIELD_{CC} = \frac{E_{g_{cc}}}{P_i} \quad (2)$$

O rendimento global do sistema em corrente contínua (PR) é um valor percentual entre a energia gerada (E_g) em quilowatt-hora (kWh) e a energia estimada para o período analisado (E_e) em quilowatt-hora (kWh). A energia estimada ou teórica em corrente contínua (E_{ecc}) é calculada pela irradiação medida média do período em kWh/m²/dia, pelo período em análise (t), a área do módulo fotovoltaico em m² (A) e a eficiência (η) descrita no catálogo do fabricante, conforme equação 3.

$$E_{ecc} = G \times t \times A \times \eta \quad (3)$$

O rendimento global, aqui calculado em corrente contínua, (PR_{CC}) é a razão percentual entre a energia gerada em corrente contínua ($E_{g_{cc}}$) e a energia estimada em corrente contínua (E_{ecc}) para o sistema, conforme equação 4.

$$PR_{CC} = \frac{E_{g_{cc}} \times 100}{E_{ecc}} \quad (4)$$

O albedo (ρ), ou também chamado coeficiente de reflexão, é um parâmetro que tem relação direta com a produção do sistema fotovoltaico bifacial uma vez que a produção energética da face posterior do módulo bifacial depende da quantidade de radiação que a superfície do solo é capaz de refletir (Dantas De Carvalho, 2022).

$$\rho = \frac{\sum R_n}{\sum G_n} \quad (6)$$

onde R_n é a radiação refletida por uma determinada superfície e G_n é a radiação incidente sobre a mesma superfície.

O ganho bifacial, no que tange o incremento de potência do módulo fotovoltaico para cada unidade de irradiância que atinge a parte posterior (BiFi), pode ser definido como a razão entre diferença entre a potência medida do módulo bifacial subtraída do módulo monofacial e a irradiação que incide na parte posterior do painel bifacial, conforme equação 7. O parâmetro BiFi indica o aumento na potência, em Watts, resultante do incremento de uma unidade de irradiância na parte de trás do módulo bifacial (IEC, 2019), sendo sua unidade W/Wm⁻². Este parâmetro foi possível calcular desta forma, pois os módulos utilizados (monofacial e bifacial) têm potência da parte frontal, praticamente, idêntica.

$$B_iF_i = \frac{P_{bifacial} - P_{monofacial}}{G_{rear}} \quad (7)$$

onde B_iF_i é o ganho bifacial e é dado em W/Wm⁻², $P_{bifacial}$ é a potência do módulo bifacial dada em W, $P_{monofacial}$ é a potência do módulo monofacial dada em W e G_{rear} é a irradiância traseira que incide no módulo bifacial em W/m².

O ganho bifacial energético (BG_E) é definido como o ganho percentual entre a energia gerada pelo módulo bifacial e o módulo monofacial (Deline et al., 2019), conforme equação 8.

$$BG_E = \frac{E_{bifacial}}{E_{monofacial}} - 1 \quad (8)$$

onde $E_{bifacial}$ é a energia produzida pelo módulo bifacial e $E_{monofacial}$ é a energia produzida pelo módulo monofacial em kWh.

Para classificação da condição da cobertura do céu e incidência de radiação na superfície terrestre, deve ser calculado o índice de claridade (k_T) que é um parâmetro utilizado para classificar a cobertura do céu entre nublado, parcialmente nublado ou limpo. A Equação 9 apresenta o índice de claridade diário definido como a razão entre a irradiação do dia em questão pela irradiação extraterrestre na mesma data (Duffie & Beckman, 2013).

$$k_T = \frac{H}{H_0} \quad (9)$$

onde, H é a irradiação solar de um determinado dia sobre uma superfície horizontal terrestre em MJ/m² e H_0 é a irradiação solar diária, para esse mesmo dia, sobre uma superfície horizontal extraterrestre em MJ/m².

Leva et al. (2017) verificaram que para certos intervalos de k_T pode-se definir as condições do céu conforme Tabela 2.

Intervalos de k_T	
Condições do céu	
Limpo	$k_T > 0,45$
Parcialmente Nublado	$0,25 > k_T > 0,45$
Nublado	$k_T < 0,25$

Tabela 3: Intervalos do índice de claridade (Adaptado de Leva et al. (2017))

A aquisição dos dados dos equipamentos de medição de radiação solar e temperatura foi realizada por um *datalogger* (Novus FieldLogger) ilustrado na Figura 6, com uma medição das variáveis a cada segundo e registro da média a cada minuto.



Figura 6: Quadro de aquisição de dados com datalogger

A compilação dos dados ocorreu de forma a aplicar a média horária dos valores obtidos durante o período analisado. A média dos resultados de uma hora cheia foi definida como a soma de todos os dados coletados meia hora antes e meia hora depois de cada hora cheia e, assim, realizada a média dos valores. Para os dados de energia produzida foi utilizado o *software SOLARMAN Smart* disponibilizado pelo fabricante do microinversor. Este realiza a aquisição dos dados dos módulos a cada cinco minutos, sendo importante ressaltar que os dados analisados do microinversor são individuais de cada módulo em corrente contínua permitindo a comparação entre a tecnologia monofacial e bifacial dos módulos.

Resultados e Discussão

A potência máxima dos módulos medida no simulador solar se apresentou ligeiramente superior (~0,5%) à potência nominal do catálogo do fabricante para os dois modelos. As potências dos módulos são praticamente iguais, com diferença menor do que 0,1%, ou seja, dentro da faixa de repetibilidade do simulador solar. Para o módulo bifacial obteve-se um coeficiente de bifacialidade da máxima potência de aproximadamente 69%, conforme apresentado na Tabela 3.

Simulador Solar (<i>Flash Test</i>) 1000 W/m ² a 25°C		
Módulo	Potência (W)	$\varphi_{P_{max}}$
Monofacial	457,5	Não se aplica
Bifacial – Face frontal	457,9	68,7%
Bifacial – Face posterior	314,8	

Tabela 4: Potência máxima dos painéis determinada em ensaio com simulador solar

Para a análise da energia produzida dos sistemas durante o período de 23 de abril de 2023 a 12 de maio de 2023, foram realizadas as análises dos dados de irradiância média horária do período bem como o albedo horário médio do local. A irradiância média horária registrada no período pelos piranômetro e células de referência são apresentados na Figura 7.

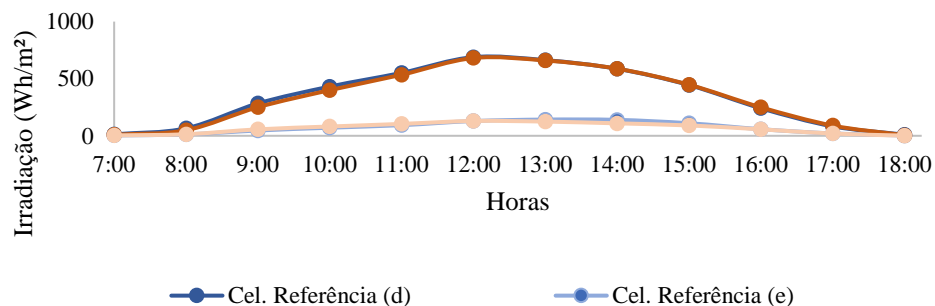


Figura 7: Irradiância média horária do período medida pelos piranômetro e células de referência, sendo que a posição de cada instrumento (c, d, e, f) está ilustrada na Figura 5.

O albedo horário médio identificado para o período em análise, representando na Figura 6, revela as variações ao longo do dia para as medições do piranômetro e da célula de referência. O albedo influencia de forma direta no ganho bifacial, pois quanto mais próximo de um for o albedo maior é o percentual de irradiação refletida para a face posterior do módulo bifacial e, conseqüentemente, maior sua produção energética.

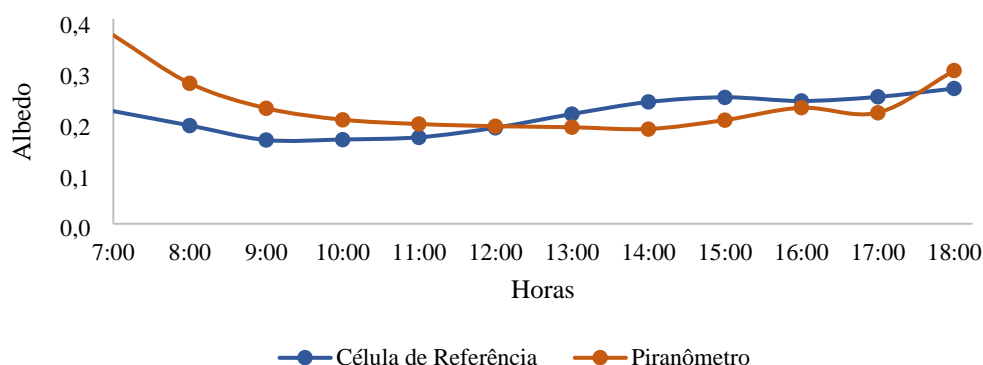


Figura 8: Albedo horário médio do período

A energia gerada no período para cada painel fotovoltaico pode ser analisada na Figura 9. Para compilação dos dados, foi realizada a integração da potência na hora (os dados são registrados a cada 5 min) resultando na energia horária. Por fim, este resultado foi integrado para a obtenção energia diária (kWh). Durante os dias 05 a 08 de maio não foram coletados dados devido a uma falha no sistema de aquisição. Os resultados da Figura 9 permitem verificar que os módulos monofacial e bifacial, apresentam uma diferença significativa de produção de energia, sendo essa diferença mais expressiva nos dias em que o índice de claridade foi menor, isto é, abaixo 0,25 ou entre 0,25 e 0,45, indicando que em dias mais nublados o ganho bifacial é maior. A diferença de produção energética entre o módulo monofacial e bifacial pode ser entendida pelo prisma de que nos dias com maior nebulosidade a componente difusa da radiação é maior, beneficiando a produção pela parte posterior do módulo. Essa diferença é entendida como o ganho energético derivado do emprego do módulo bifacial. Resultados semelhantes foram apresentados por Deline et al. (2019), indicando que o ganho bifacial percentual é maior em dias com maior nebulosidade.

Para o cálculo do índice de claridade diário foram utilizados valores de irradiação extraterrestre disponibilizados na ferramenta *online* do Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos Estados Unidos (NREL) chamado SOLPOS Calculator e com os valores de irradiação horizontal da Tabela de Estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

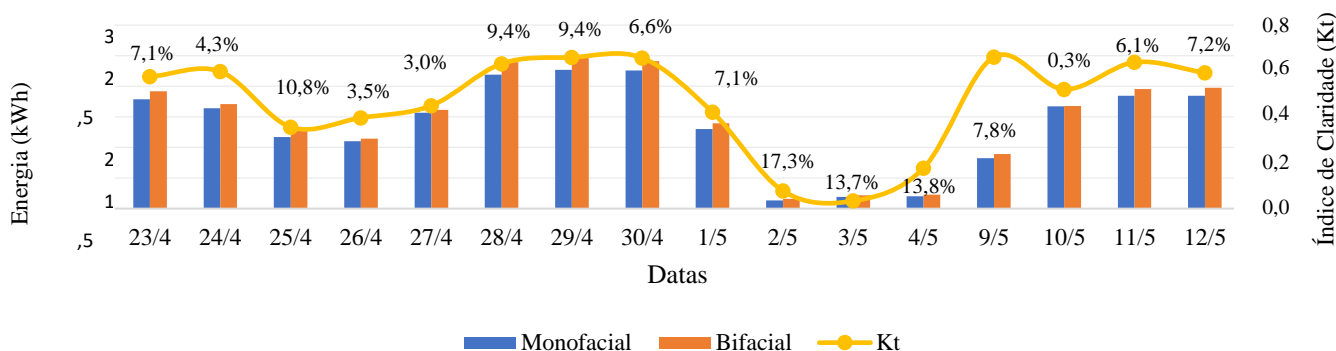


Figura 9: Produção energética do módulo fotovoltaico monofacial e bifacial no período e diferença percentual na produção diária de energia junto com o Kt diário.

Analisando a produção diária média e total do período se verifica que o ganho bifacial é de 6,7% considerando-se o albedo médio e as condições locais que o sistema está inserido, conforme Tabela 4.

Ganho Energético Bifacial		
	Produção diária média (kWh)	Produção total do período (kWh)
Monofacial	1,37	23,37
Bifacial	1,46	24,92
BG_E		6,7%

Tabela 5: Ganho bifacial de produção energética diária e produção energética total do período

A produtividade fotovoltaica média anual para a cidade de Porto Alegre sobre plano orientado para o Norte com inclinação de 25° é de aproximadamente 3.56 kWh/kWp/dia (Krenzinger et al., 2022). Considerando que a coleta dos dados ocorreu entre final de abril e início de maio, é possível inferir, de forma aproximada com base na Figura 10, que a produtividade fotovoltaica diária média para o período é em torno de 3,15 kWh/kWp/dia (Kakuta & Silveira, 2018).

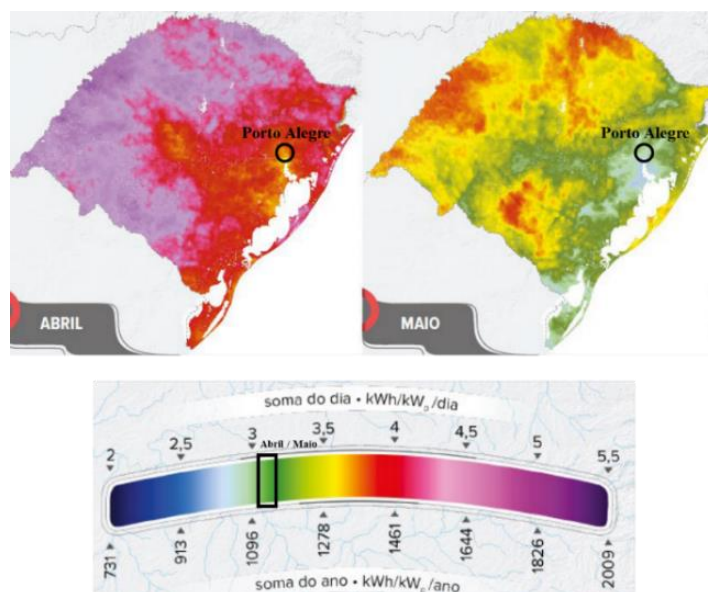


Figura 10: Produtividade Fotovoltaica diária dos meses de abril e maio (Adaptado de Kakuta & Silveira (2018))

Dentro do período estudado temos uma produtividade fotovoltaica média conforme apresentado na Tabela 5. Nota-se que o módulo monofacial teve uma média inferior em 4,84% em relação ao valor médio histórico e o módulo bifacial apresentou uma média superior em 1,61%.

Produtividade Fotovoltaica (kWh/kWp/dia)		
		$\bar{\Delta}_{POA}$
Monofacial	3,00	-4,84%
Bifacial	3,20	1,61%

Tabela 6: Produtividade fotovoltaica média do módulo monofacial e bifacial comparados com a produtividade fotovoltaica diária para a cidade de Porto Alegre, RS

Ao analisar o ganho bifacial horário BiFi, durante o período de coleta, é possível observar que o ganho foi maior durante os horários entre 8 e 10 horas e 15 e 17 horas, conforme ilustrado na Figura 12. Esse comportamento indica que a efetividade do incremento da potência do módulo bifacial por unidade de irradiância que atinge a parte traseira é menor na parte central do dia. Este comportamento pode ser justificado pelo menor impacto do auto sombreamento do solo nos horários de início da manhã e final de tarde, e também possivelmente devido ao aumento da parcela da componente difusa da irradiação em relação a componente direta.

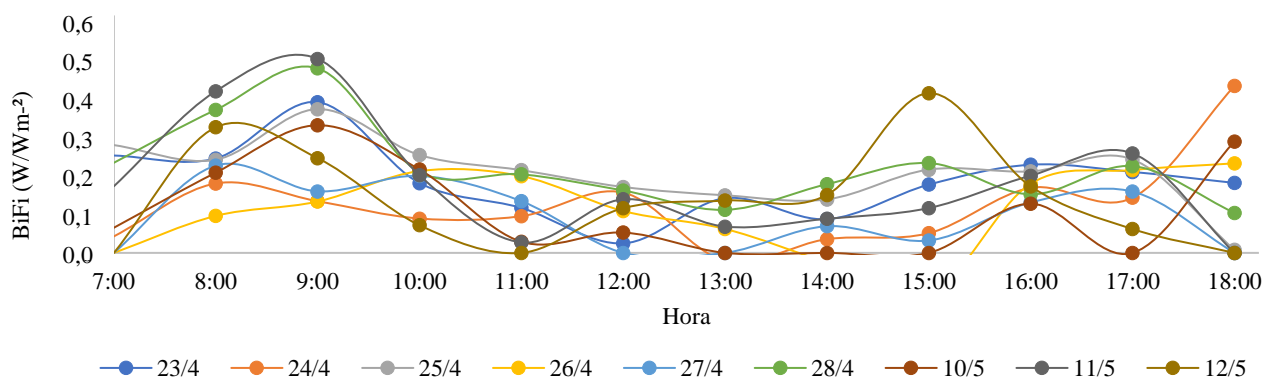


Figura 11: Ganho bifacial médio horário por dia da coleta

Buscando verificar a correlação entre o índice de claridade e o ganho bifacial da potência foram plotados os valores encontrados para o período, conforme ilustrado na Figura 12. Ainda que para uma análise representativa deva ser realizada uma coleta com um intervalo maior de tempo, pode se verificar uma tendência de que com índices de claridade em torno de 0,45 o parâmetro $B_i F_i$ é menor, apresentando uma variação conforme ilustrado na Figura 12. Este resultado preliminar será verificado com um número maior de dados, quando será possível realizar uma análise mais representativa do comportamento.

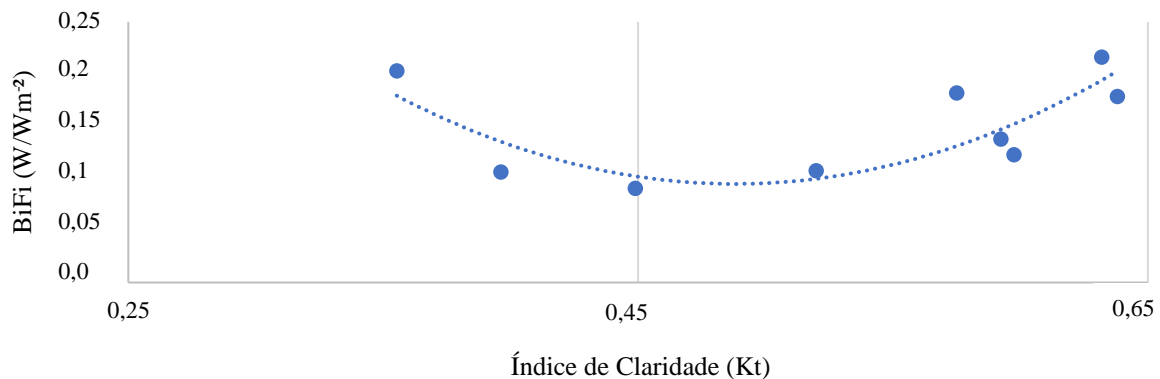


Figura 12: Variação do BiFi pelo índice de claridade (Kt)

O rendimento global ou taxa de desempenho média diária dos módulos monofacial e bifacial, apresentado na Tabela 6, indica que o módulo bifacial tem uma taxa de desempenho superior ao módulo monofacial. Esses resultados sugerem que a energia gerada no módulo bifacial foi de cerca de 77,1% da energia estimada, de forma que 22,9% representam as perdas por temperatura, sombreamento, sujidade, entre outros. O módulo monofacial apresenta um percentual de perdas mais elevado de 27,1% tendo uma taxa de desempenho 4% inferior ao desempenho do módulo bifacial.

Performance Ratio médio diário	
Monofacial	72,9%
Bifacial	77,1%
ΔPR	4%

Tabela 7: Valores de taxa de desempenho médio diário do período analisado

Comentários finais

No presente artigo foi possível avaliar comparativamente o ganho energético entre os módulos fotovoltaicos monofacial e bifacial durante o período do monitoramento. O conjunto experimental planejado permite uma comparação direta entre os dois módulos, considerando que estão em condições semelhantes de operação, além dos módulos terem características elétricas praticamente idênticas. Foi identificado uma produção total de energia em torno de 6,7% superior para o módulo bifacial e uma produtividade fotovoltaica 1,61% acima do esperada para o período. O aumento na produção de energia se refletiu em uma taxa de desempenho 4% maior no módulo bifacial se comparado ao monofacial.

Além disso, foi identificado um ganho bifacial de potência mais expressivo nos períodos de início da manhã e final da tarde e uma tendência de incrementos maiores na potência para dias mais nublados ou então mais ensolarados, não sendo observado um ganho superior para dias parcialmente nublados.

Ainda que os módulos bifaciais sejam uma tecnologia em implantação é notável o seu ganho de desempenho se comparado com os monofaciais. Por fim, os resultados apresentados neste trabalho são os primeiros de um estudo longo a ser desenvolvido, onde serão explorados o impacto de diferentes superfícies refletoras além do entendimento da correlação entre as diversas variáveis monitoradas ao longo dos meses do ano.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Fundação Luiz Englert e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

Asgharzadeh, A., Lubenow, T., Sink, J., Marion, B., Deline, C., Hansen, C., Stein, J., & Toor, F. (2017). Analysis of the Impact of Installation Parameters and System Size on Bifacial Gain and Energy Yield of PV Systems. *2017 IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2017*, 3333–3338.

Dantas De Carvalho, F. (2022). *Avaliação prévia do impacto do albedo e outros parâmetros na geração de energia em uma UFV com módulos bifaciais.*

- Deline, C., Ayala Peláez, S., Marion, B., Sekulic, B., Woodhouse, M., & Stein, J. (2019). *Bifacial PV System Performance: Separating Fact from Fiction*.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. Wiley.
- Ganesan, K., Winston, D. P., Sugumar, S., & Jegan, S. (2023). Performance analysis of n-type PERT bifacial solar PV module under diverse albedo conditions. *Solar Energy*, 252, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.01.020>
- Guerrero-Lemus, R., Vega, R., Kim, T., Kimm, A., & Shephard, L. E. (2016). Bifacial solar photovoltaics - A technology review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 60, pp. 1533–1549). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.041>
- IEA. (2022, December 6). *Renewables Data Explorer*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/renewables-data-explorer>
- IEA PVPS. (2021). *Bifacial Photovoltaic Modules and Systems: Experience and Results from International Research and Pilot Applications*. www.iea-pvps.org
- IEC. (2019). *IEC TS 60904-1-2:2019 Photovoltaic devices- Part 1-2: Measurement of current-voltage characteristics of bifacial photovoltaic (PV) devices*.
- IEC 61215-2005. (n.d.).
- INMET. (n.d.). *Tabela de Estações*. Retrieved May 22, 2023, from <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>
- Kakuta, S., & Silveira, E. (2018). *Atlas Solar Rio Grande do Sul*.
- Krenzinger, A., Prieb, C. W. M., & Gasparin, F. P. (2022). Mapas de produtividade fotovoltaica para o Rio Grande do Sul (Brasil). *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 8(6), 14639–01i. <https://doi.org/10.18540/jcecvl8iss6pp14639-01i>
- Leva, S., Dolara, A., Grimaccia, F., Mussetta, M., & Ogliari, E. (2017). Analysis and validation of 24 hours ahead neural network forecasting of photovoltaic output power. *Mathematics and Computers in Simulation*, 131, 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2015.05.010>
- Lopez-Garcia, J., Ozkalay, E., Kenny, R. P., Pinero-Prieto, L., Shaw, D., Pavanello, D., & Sample, T. (2022). Implementation of the IEC TS 60904-1-2 Measurement Methods for Bifacial Silicon PV Devices. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 12(3), 787–797. <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2022.3161186>
- Marino, L., & Sganzerla, B. (2018). *Análise dos índices de mérito de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em Curitiba*.
- Mori, H. (1966). *Patente de dispositivo de geração bifacial (US3278811)*.
- NREL. (n.d.). *SOLPOS Calculator*. Retrieved May 21, 2023, from <https://midcdmz.nrel.gov/solpos/solpos.html>
- Sun, X., Khan, M. R., Hanna, A., Hussain, M. M., & Alam, M. A. (2017). The Potential of Bifacial Photovoltaics: A Global Perspective. *2017 IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2017*, 1055–1057. <https://doi.org/10.1109/PVSC.2017.8366353>
- Teixeira Das Neves, C. E., Urbanetz, J., Claudiano Da Silva, J. J., Pereira, R., Luis, Z., Novak, H., Rafael, G., & Possetti, C. (2022). *Análise dos índices de mérito de sistemas fotovoltaicos flutuantes em ambientes distintos - solo e flutuante*.

NUMERICAL INVESTIGATION OF TURBULENCE CHARACTERISTICS AND SELF-SIMILARITY IN A HIGHLY AERATED STABLE HYDRAULIC JUMP USING LARGE EDDY SIMULATION

1 Fernando Oliveira de Andrade, 2 Marcelo Yudi Minoda Takenobu, 3 Marcelo Marques

1Universidade Tecnológica Federal do Paraná e Universidade Federal do Paraná, e-mail: fandrade@utfpr.edu.br;

2Universidade Federal do Paraná, e-mail: marcelo.takenobu@lactec.com.br; 3Universidade Estadual de Maringá, e-mail: mmarques@uem.br

Keywords: Hydraulic jump; Large eddy simulation; Turbulence and self-similarity

Abstract

This work presents a numerical study of a stable hydraulic jump at Froude number 4.25 and Reynolds number 1.15×10^5 inside a horizontal and rectangular channel with a length of 3.2 m, a width of 0.5 m and a height of 0.4 m using large eddy simulation (LES). Classical hydraulic jump characteristics are obtained, such as conjugate depths, jump length, void fraction and velocity profiles. The hydraulic jump maximum streamwise velocity decay and shear layer spreading rate are simulated and compared with experimental data. For these parameters, numerical results demonstrate that is possible to establish an analogy with other shear flows, such as the horizontal plane wall jet. Profiles of streamwise and vertical components of mean velocity are simulated, and self-similarity is observed for cross-sections located at the recirculation region of the jump. Self-similarity is also observed in terms of turbulent fluctuations, insofar as LES simulations indicate a high level of turbulence in the recirculation region. The simulated root mean square of streamwise velocity fluctuations, u_{rms} , ranges from 0.5 to 0.7 of the maximum cross-sections velocity, whereas the root mean square of vertical component of velocity fluctuations, v_{rms} , stays around 0.5 of the maximum cross-sections velocity. All validation comparisons show good agreement with the selected experimental data presenting average deviations always lesser than 5%.

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo numérico de um ressalto hidráulico estável, a número de Froude 4.25 e número de Reynolds 1.15×10^5 , posicionado em um canal horizontal de seção transversal retangular com comprimento de 3,2 m, largura de 0,5 m e altura de 0,4 m, resolvido mediante aplicação do método de simulação de grandes escalas (LES). As características básicas do ressalto hidráulico são simuladas, como as profundidades conjugadas, comprimento do ressalto e perfis de velocidade e concentração de ar. O decaimento da velocidade máxima do ressalto hidráulico e a taxa de espalhamento da camada cisalhante são simulados e comparados com dados experimentais. Para esses parâmetros, os resultados numéricos demonstram que é possível estabelecer uma analogia com outros escoamentos cisalhantes, tais como o jato de parede plano. Perfis das componentes vertical e longitudinal da velocidade média são simulados, de modo que a autossimilaridade é observada para seções transversais localizadas na região de recirculação do ressalto. A autossimilaridade também é observada em termos de flutuações turbulentas, enquanto que as simulações LES indicam um alto nível de turbulência na região de recirculação. A raiz quadrática média simulada da componente longitudinal da flutuação de velocidade, u_{rms} , varia de 0,5 a 0,7 da velocidade máxima das seções transversais e a raiz quadrática média simulada da componente vertical da flutuação de velocidade, v_{rms} , gira em torno de 0,5 da velocidade máxima das seções transversais. Todas as comparações de validação demonstraram boa concordância com os dados experimentais selecionados, apresentando desvios médios sempre menores que 5%.

Introduction

Hydraulic jumps are commonly encountered in natural environments and oftentimes enforced in human-made facilities to generate mechanisms such as energy dissipation or mixing processes (Singh and Roy, 2023). The jumps are characterized by a rapid rise in free surface elevation at the transition from supercritical flow to subcritical flow, and are always accompanied by intense turbulence, energy dissipation and air entrainment (Witt et al., 2018). The strength of the hydraulic jumps can be measured by the inflow Froude number $Fr_1 = u_1/\sqrt{gd_1}$, where g is the acceleration of gravity, u_1 is the time and depth-averaged velocity and d_1 is the mean flow depth at the inflow section.

At the inflow section of the hydraulic jumps, a high velocity water jet impacts a slower portion of deeper water creating an inflection zone characterized by intense turbulence and air-water mixture (Kramer and Valero, 2020). This phenomenon is analogous to the horizontal wall jet, where the inflow boundary layer interacts with a developing shear layer of the jump and viscous forces start becoming relevant. As in the horizontal wall jet, stable hydraulic jumps present a so-called developed region where self-similarity profiles in terms of mean velocity components and turbulence variables (*i.e.*, mean longitudinal and transversal components of velocity, *rms* of velocity fluctuations) can be observed. A distinguish characteristic of hydraulic jumps is the substantial air entrainment coming from the surface fluctuations of the air-water interface, which is

incorporated into the developing shear layer and carried downstream to the flow (Wudritch et al., 2022). A current research area of interest is the measurement of turbulence characteristics (by the use of physical experiments or numerical simulations) in the aerated regions of hydraulic jumps.

Most of the studies of turbulence characteristics in highly aerated hydraulic jumps available in literature have been performed experimentally using physical models. Chanson and Brattberg (2000) and Murzyn et al. (2005) investigated the distribution of air concentration, flow structure and bubble frequency in highly aerated hydraulic jumps for a wide range of Froude numbers using Prandtl-type pitot tube and phase-detection intrusive probes. Mossa (1999), Wang and Chanson (2015) and Montano (2018) studied the oscillating characteristics, cyclic mechanisms and water surface behavior of hydraulic jumps. Free-surface turbulent fluctuations were measured with electric hydrometers, acoustic displacement meters and more recently using Lidar technique. Wang and Murzyn (2017) and Wang and Chanson (2019) measured turbulent velocity and characteristic turbulent scales in highly aerated hydraulic jumps using arrays of wire gauges and phase-detection probes. Mossa and Tolve (1998) investigated a bubbly two-phase flow in a hydraulic jump using flow visualization technique. This pioneer study initiated a series of other experiments that performed turbulent velocity measurements based on imaging techniques, such as the works of Lin et al. (2012) and Bung and Valero (2016). Recent developments in imaging techniques for instantaneous velocity measurements in highly aerated hydraulic jumps have been demonstrated by the work of Kramer et al. (2019).

Numerical simulations have been used recently and provided researchers with a powerful tool to study the turbulent flow structures of hydraulic jumps. The direct numerical simulation (DNS) of Mortazavi et al. (2016) presented results for mean velocity fields, Reynolds stresses, turbulence production, turbulence dissipation, velocity spectra and air entrainment data. In addition, this work reported complete statistics associated with bubble generation frequency. Jesudhas et al. (2016) performed a detached eddy simulation (DES) to study a submerged hydraulic jump. To validate the DES results, mean velocity and turbulence quantities including the Reynolds stresses were compared with available experimental data. Jesudhas et al. (2018) developed unsteady, improved, delayed, detached eddy simulation (IDDES) of an oscillating and unstable hydraulic jump at Froude numbers of 3.8 and 8.5, respectively. The different types of oscillations were analyzed by evaluating the instantaneous flow field. All flow features were accurately captured by the simulations and were presented by the authors with pertinent discussions. Mukha et al. (2022) performed a large eddy simulation (LES) of a classical hydraulic jump at inlet Froude number of 2. The computations were performed using the open-source software OpenFoam®, and the primary objective was to evaluate the influence of the modelling parameters on the predictive accuracy of the solutions. Takenobu et al. (2022) performed DES and also used a $k-\omega$ SST turbulence model to evaluate the open-source software OpenFoam® to represent adequately the mean waterline profile and air concentration recorded along a hydraulic jump at inlet Froude number of 7.5. Numerical results were compared against physical model data showing good agreement of final simulations.

Despite the recent developments, numerical studies involving the most relevant characteristics of turbulence in the aerated region of hydraulic jumps still need further advancements. With this aspect in mind, the objective of this study is to perform large eddy simulation (LES) of a highly aerated hydraulic jump at inflow Froude number $Fr_1 = 4.25$ to investigate: (a) classical hydraulic jump characteristics, such as conjugate depths, jump length and void fraction profiles, (b) hydraulic jump maximum longitudinal velocity decay, shear layer spreading rate and mean velocity profiles, (c) hydraulic jump self-similar free surface and mean velocity profiles, and (d) hydraulic jump self-similar velocity fluctuation profiles and turbulence kinetic energy spectra. The results obtained by LES are compared against the experimental data measured in the recent work of Kramer and Valero (2020) and also against the experimental work of Wang (2014).

The remainder of this manuscript is organized as follows: section Mathematical formulation describes the LES conservation equations in the context of the finite volume based open-source software OpenFoam®. Section Available experimental data summarizes the experimental works employed for comparisons against the obtained numerical results. Section Numerical set-up describes the geometry and boundary conditions, numerical mesh, numerical solvers and discretization schemes characteristics. Section Results and discussions presents and discusses the obtained results for the hydraulic jump properties, mean velocities, turbulence characteristics, void fraction profiles, mean velocity profiles and self-similar properties, and section Conclusions and recommendations presents the conclusions and recommendations for future work.

Mathematical formulation

In the LES framework, the hydraulic jump is described by the spatially filtered equations for mass and momentum conservation of a Newtonian and incompressible fluid. Using tensor notation in Cartesian coordinates, for $i, j = 1, 2, 3$, these equations can be written as:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad , \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{\rho} \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{\tau}_{ij}}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij}^{SGS}}{\partial x_j} + \bar{\rho} \bar{g}_i \quad , \quad (2)$$

where ρ is the density, u_i and u_j are the velocity vector components, p is the pressure and g_i is the gravity. The upper bar indicates a spatially filtered property. In this work, the retained LES filter is an implicit box filter associated with the adopted numerical mesh. The filtered viscous stress tensor, $\bar{\tau}_{ij}$, is given by:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) , \quad (3)$$

where μ is the kinematic viscosity (Pope, 2000).

The sub-grid scale viscous stress tensor $\tau_{ij}^{SGS} = -\bar{\rho}(\bar{u}_i\bar{u}_j - \bar{u}_i\bar{u}_j)$ is modelled according to:

$$\tau_{ij}^{SGS} = \mu_{SGS} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) , \quad (4)$$

where μ_{SGS} is the sub-grid scale kinematic viscosity, obtained with the use of the Smagorinsky-Lilly model (Smagorinsky, 1963):

$$\mu_{SGS} = 2\bar{\rho}(C_S\Delta)^2|\bar{S}_{ij}| , \quad (5)$$

where C_S is the Smagorinsky constant with typical values for channel flows around 0.10, $\Delta = \sqrt[3]{\Delta x\Delta y\Delta z}$ is the filter characteristic length scale associated with the Cartesian mesh local control volumes dimensions $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ and \bar{S}_{ij} is the resolved rate of strain tensor.

A conservation equation for an indicator function is used to represent the free surface and the indication of phase (air or water) in the context of a volume of fluid (VOF) method (Hirt and Nichols, 1981):

$$\frac{\partial \bar{\gamma}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\gamma}\bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 , \quad (6)$$

where γ is the interface-capturing volume fraction (Wang et al., 2015, Huang et al. 2019). Physical properties such as density and viscosity at any point are calculated as weighted averages based as follows:

$$\bar{\rho} = \bar{\rho}_w\bar{\gamma} + \bar{\rho}_a(1 - \bar{\gamma}) , \quad (7)$$

$$\bar{\mu} = \bar{\mu}_w\bar{\gamma} + \bar{\mu}_a(1 - \bar{\gamma}) , \quad (8)$$

where the subscripts w and a indicate water and air, respectively. Equations (1) to (8) are solved using the finite volume based open-source software OpenFoam® (Moukalled et al. 2016). Information on the numerical solution characteristics is provided on the numerical simulation set-up section.

Available experimental data

The numerical simulation performed in this work employs geometric and boundary conditions identical to the experimental setup of Kramer and Valero (2020). This recent experimental study also provides most of the data for the validation comparisons of the obtained final simulation results. Kramer and Valero (2020) performed experimental measurements of a highly aerated stable hydraulic jump at an inflow Froude number of 4.25, using novel intrusive phase-detection probe and imaging techniques. The experimental measurements included: characteristics of the hydraulic jump such as conjugated depths, jump length and surface profiles, air and bubble concentrations profiles, velocity decay, spreading rate and mean velocity components profiles, velocity fluctuations and Reynolds stresses profiles, turbulent integral length scales and turbulence spectra.

In addition, selected data from the experimental study of Wang (2014) are used for the validation comparisons against the obtained final simulation results. This PhD thesis presented a systematic study of classical hydraulic jumps based upon physical modelling. The study covered a wide range of inflow Froude numbers from 2.8 to 10, using intrusive and non-intrusive phase-detection probe techniques. The experimental measurements included quantities such as water level and pressure fluctuations, jump toe oscillations, air entrainment and void fraction profiles and instantaneous velocity fields.

Numerical simulation set-up

Geometry, boundary conditions and computational mesh

The numerical simulations are performed for water at standard temperature and pressure, with density $\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$ and kinematic viscosity $\mu = 1.0016 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, flowing in a horizontal and rectangular channel with a length of 3.2 m, a width of 0.5 m and a height of 0.4 m. A uniform discharge $q_1 = 0.057 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ is used as inflow boundary condition leading to an inflow mean velocity of 3.16 m/s, with no velocity fluctuation applied at the inlet. At the outlet is adopted a fixed value velocity boundary condition of 0.47 m/s. The channel bottom, the left and right laterals walls are considered to be isothermal and no-slip walls, and the channel roughness effects are neglected to simulate the conditions of a smooth type of bed. The top plane is set to static atmospheric condition.

A preliminary computational mesh was developed by discretizing the geometry domain using polyhedral control volumes in an orthogonal Cartesian coordinate system. Subsequently, a final refined mesh was constructed using the tool *blockMesh* available in the OpenFoam® package. In the transversal and longitudinal directions, the control volumes dimensions are uniform and equal to $\Delta z = 10 \text{ mm}$ and $\Delta x = 5 \text{ mm}$, respectively. In the vertical direction, the control volumes are extremely small in the region near the channel bottom, where the average wall y^+ is 44.69, gradually and slowly expanding towards to the mean water surface level (region C), where dimensions are typically around $\Delta y \approx 0.5 \text{ mm}$. Above the mean water surface level, in the vertical direction towards the free atmosphere (region B), the control volumes expand to maximum sizes around $\Delta y \approx 2.5 \text{ mm}$. The total size of the mesh is 5,400,000 control volumes. The final solution was obtained in 336 hours, running in an AMD-7452 cluster with 64 computational cores. Figure 1(a) shows a general mesh view and the applied boundary conditions, and figure 1(b) shows a detailed side view of the computational mesh.

The simulated hydraulic jump inflow mean depth is $d_1 = 0.042 \text{ m}$ and the mean depth at the end of the jump is $d_2 = 0.24 \text{ m}$, identical to the values obtained by Kramer and Valero (2020). The jump inflow time and depth averaged velocity is $u_1 = 2.73 \text{ m/s}$, leading to an inflow Froude number $Fr_1 = u_1/\sqrt{gd_1} = 4.25$. The Reynolds number is $Re = \rho u_1 d_1/\mu \approx 1.15 \times 10^5$. The jump toe location of the LES simulation is $x_1 = 0.4 \text{ m}$ from the upstream inflow boundary condition. The streamwise position along the computational domain is given by the following dimensionless parameter: $\chi = (x - x_1)/d_1$, where x is the streamwise coordinate, x_1 is the hydraulic jump toe average location and d_1 is the hydraulic jump inflow depth.

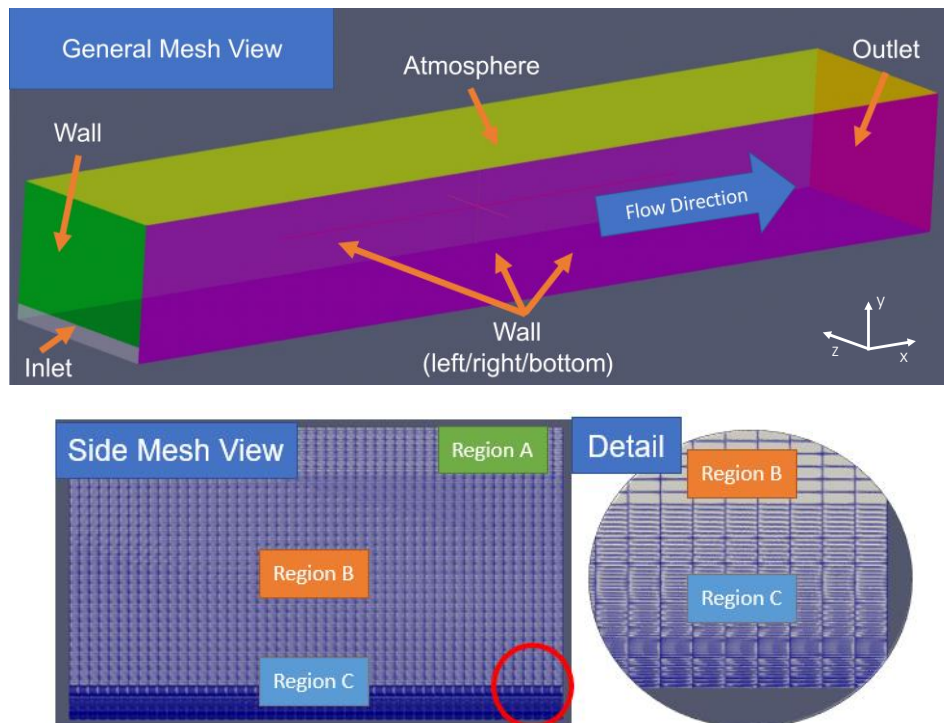


Figure 1: (a) General mesh view and boundary conditions, (b) Detail side view of the computational mesh

Numerical solvers and discretization schemes

All simulations are performed using the software OpenFoam® version 8, a widely spread suite of solvers for continuum mechanics, based on the finite volume method (Patankar, 1980). The software package is designed to run natively in GNU/Linux systems, and the source code is open and written almost entirely in object-oriented C++. A central theme of the OpenFoam® design is that the solver applications, written using the OpenFoam® classes, have a syntax that closely resembles the partial differential equations being solved, a characteristic that eases the process of designing new solvers, implementing new models and equations.

In this work, the governing equations are solved on collocated and polyhedral mesh arrangements, considering turbulent flows of incompressible fluid in unsteady state. The temporal discretization is limited by the Courant–Friedrichs–Lewy (CFL) condition equals 0.5, leading to stable time steps varying approximately from 10^{-4} to 10^{-5} s. At each time step, the PIMPLE algorithm is used for pressure-velocity coupling. The matrices of the pressure equation are solved by a preconditioned conjugate gradient DIC (diagonal incomplete-Cholesky) method, whereas the momentum equations are solved by a Gauss Seidel smooth solver. All solver tolerances are set to 10^{-8} .

The spatial discretization schemes in OpenFoam® rely heavily on interpolation schemes to transform cell-based (centroid) quantities to cell faces, since the mesh variable arrangement is collocated, in combination with Gauss Theorem to convert volume integrals to surface integrals. The equations gradients are solved using a cell limited Gauss linear scheme. The

cell gradient is limited to preserve the monotonicity condition by ensuring that the face values obtained by extrapolating the cell value to the cell faces using the gradient are bounded by the neighboring cells minimum and maximum limits. The non-linear terms of momentum equations are discretized by a bounded second order upwind scheme and Laplacian terms are discretized by a Gauss linear corrected scheme.

Data statistics and validation criteria

The hydraulic jump achieved stability after 30 seconds of simulation, starting from initial conditions of the channel at rest. Once the hydraulic jump was completely stable, the statistics are collected for a frequency of 20 Hz during a period of 20 s, similarly as suggested by the work of Witt (2014). Results are extracted for a vertical plane located at the centerline of the computational domain (centerline position $2z/w = 0$) and next to the sidewall of the channel (sidewall position $2z/w = 0.96$), where z is the transversal coordinate and w is the width of the channel, for cross-sections located at $\chi = 3.6, 7.1, 10.7$ and 14.3 . In this work, numerical results are considered validated against the selected experimental data of Kramer and Valero (2020) and Wang (2014) if the deviations of the statistics are lesser than 10%. Figure 2 illustrates the positions of the dimensionless variable χ of the cross-sections used for comparisons against the selected experimental data.

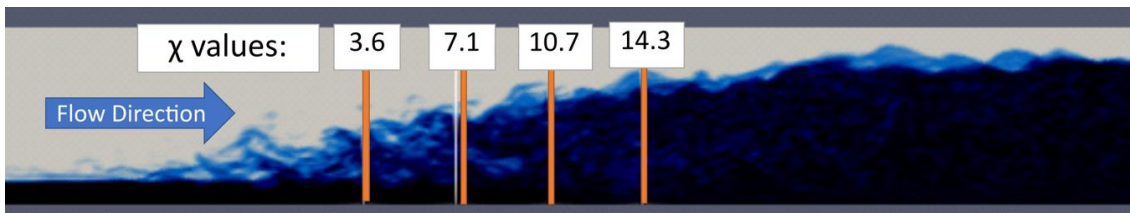


Figure 2: Positions of χ coordinates of the cross-sections for comparisons of LES results with experimental data

Results and discussion

Conjugate depths, jump length and self-similar free surface profile

A well-known relationship of hydraulic jumps is the conjugate depths d_1, d_2 , obtained by the application of the momentum equation under the assumption of negligible wall shear stress, uniform velocities and hydrostatic pressure distributions at the beginning and end of the jump. The resulting equation was first derived by Bélanger (1840):

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right) \quad (9)$$

where the subscripts 1 and 2 refer to upstream and downstream positions of the jump. Figure 3(a) illustrates equation (9) plotted as a red line together with the result obtained by the LES simulation plotted as a black mark, the blue mark one-point measurement of Kramer and Valero (2020) and the experimental data of Wang (2014).

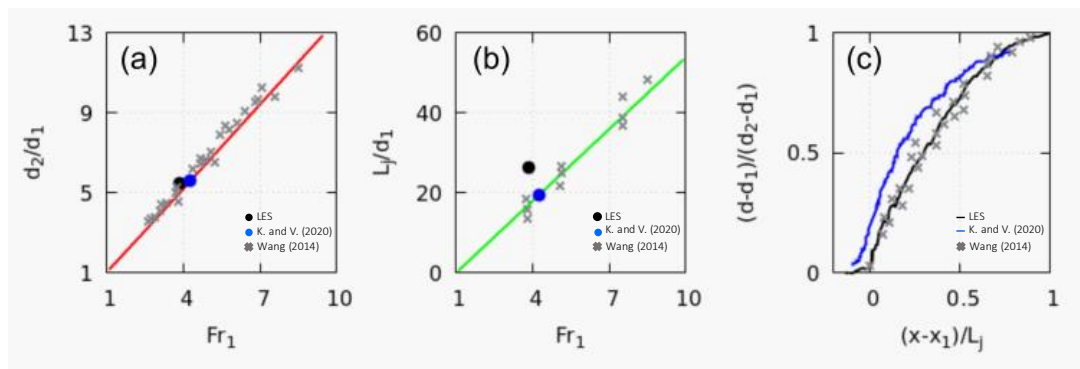


Figure 3: Basic hydraulic jump properties: (a) conjugate depth ratio d_2/d_1 as a function of inflow Froude number, (b) jump length ratio L_j/d_1 as a function of inflow Froude number, (c) self-similar free surface profile with d = free surface elevation.

Measurements of the hydraulic jump length usually present a degree of uncertainty. The jump length L_j can be defined as the distance between the jump toe and the location where the free surface becomes horizontal (Hager et al., 1990). Based on this definition, the resulting jump length of this LES simulation is $L_j = 1.16 \text{ m}$, whereas the Kramer and Valero (2020) measured $L_j = 0.82 \text{ m}$. Figure 3(b) shows that the equation $L_j/d_1 = c_1(Fr_1 - 1)$ holds, plotted as a green line, where $c_1 = 6$ is obtained by the adjustment of the points measured by Wang (2014). It can be observed that the LES simulated ratio L_j/d_1 is slightly higher than the experimental measurement.

A self-similar profile of the time-average hydraulic jump free water surface is given by:

$$\frac{d - d_1}{d_2 - d_1} = \left(\frac{x - x_1}{L_j} \right)^{c_2}, \quad (10)$$

where d is the elevation of the free surface, d_1 and d_2 are the conjugate depths, L_j is the hydraulic jump length, $x_1 = 0.4 \text{ m}$ is the jump toe average location and x is the streamwise position. The exponent c_2 is equal to 0.537 based on the work of Wang (2014). Figure 3(c) illustrates the self-similar water surface profile. It is observed that the LES simulation profile represented by the black line is in perfect agreement with the experimental data of Wang (2014).

Void fraction distribution

Mean void fraction profiles, C , are computed next to the sidewall of the channel (at position $2z/w = 0.96$), where z is the transversal coordinate and w is the width of the channel. Four verticals are selected along the streamwise direction contemplating the two main regions of the hydraulic jump: the shear and recirculation regions. The four verticals are located at $\chi = 3.6, 7.1, 10.7$ and 14.3 . The mean void fraction profiles obtained for these cross-sections are plotted against the dimensionless depth y/d_1 in Figures 4(a) to (d), respectively. It can be observed that for both shear and recirculation regions the LES simulation is able to capture the mean air-water interface behavior, showing a good agreement of mean void fraction distribution when compared to the measured data of Kramer and Valero (2020). The maximum average cross-section deviation is around 4.5%, therefore lesser than the 10% established as a benchmark criterion for the numerical results validation.

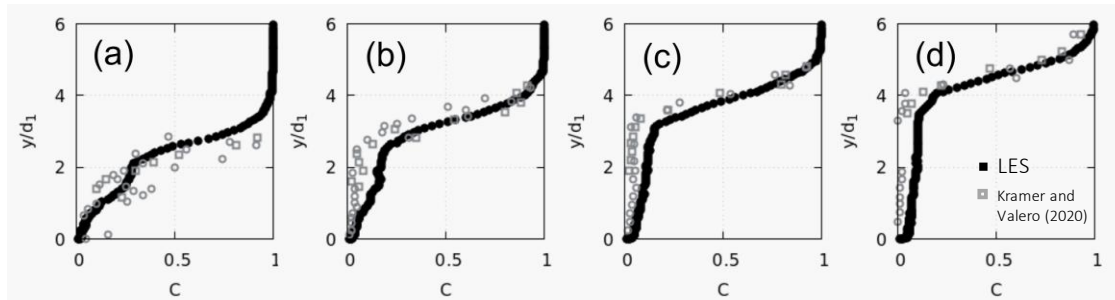


Figure 4: Void fraction distribution for cross-sections located at: (a) $\chi = 3.6$, (b) $\chi = 7.1$, (c) $\chi = 10.7$, (d) $\chi = 14.3$.

Velocity decay, spreading rate and mean velocity profiles

There are two main characteristics of the impinging and roller region of the hydraulic jump: (1) velocity decay with increasing streamwise distance and (2) spreading rate of the hydraulic jump in the vertical direction. The velocity decay shows similar behavior of turbulent plane wall jets (Pope, 2000), where velocity declines proportionally to $u_{max} \propto x^{-1/2}$, where u_{max} is the maximum streamwise cross-sectional velocity. Kramer and Valero (2020) obtained the following empirical relationship: $u_{max}/u_1 = 1.9\chi^{-1/2}$. Figure 5(a) illustrates the streamwise velocity decay of the hydraulic jump at the centerline, comparing the simulation results in black marks with selected experimental data. It can be observed that LES simulated results placed in the same range of the experimental data of Kramer and Valero (2020), Chanson (2009) and Chanson and Brattberg (2000).

Similar to turbulent plane jets, the shear layer of the hydraulic jump can be characterized by means of the spreading rate S , defined as the gradient of the hydraulic jump half-width $y_{1/2}$ in the streamwise direction, $S = dy_{1/2}/dx$, where the half-width fulfills the following condition: $\bar{u}(x, y_{1/2}) = 1/2 u_{max}$. Figure 5(b) illustrates the spreading rate of hydraulic jump in terms of the normalized half-width $y_{1/2}/d_1$. The LES simulation in black marks and the experimental data of Kramer and Valero (2020) lead to a perfect agreement, indicating that the hydraulic jump spread linearly at a rate of $S = 0.128$.

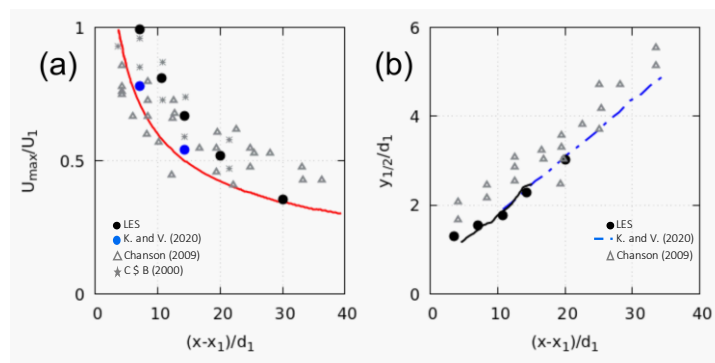


Figure 5: (a) Streamwise velocity decay at centerline, (b) normalized spreading rate at centerline - comparison with data from Kramer and Valero (2020), Chanson and Brattberg (2000) and Chanson (2009).

Mean velocity profiles are computed at the centerline and next to the sidewall of the channel. Figure 6 shows mean velocity profiles at four different positions from the hydraulic jump toe at $\chi = 3.6, 7.1, 10.7$ and 14.3 . Figures 6(a) to (d) illustrates the development of the mean normalized streamwise component of the velocity in the jet region of the jump. It can be observed that the LES simulation predicted higher values when compared with the experimental measurements of Kramer and Valero (2020).

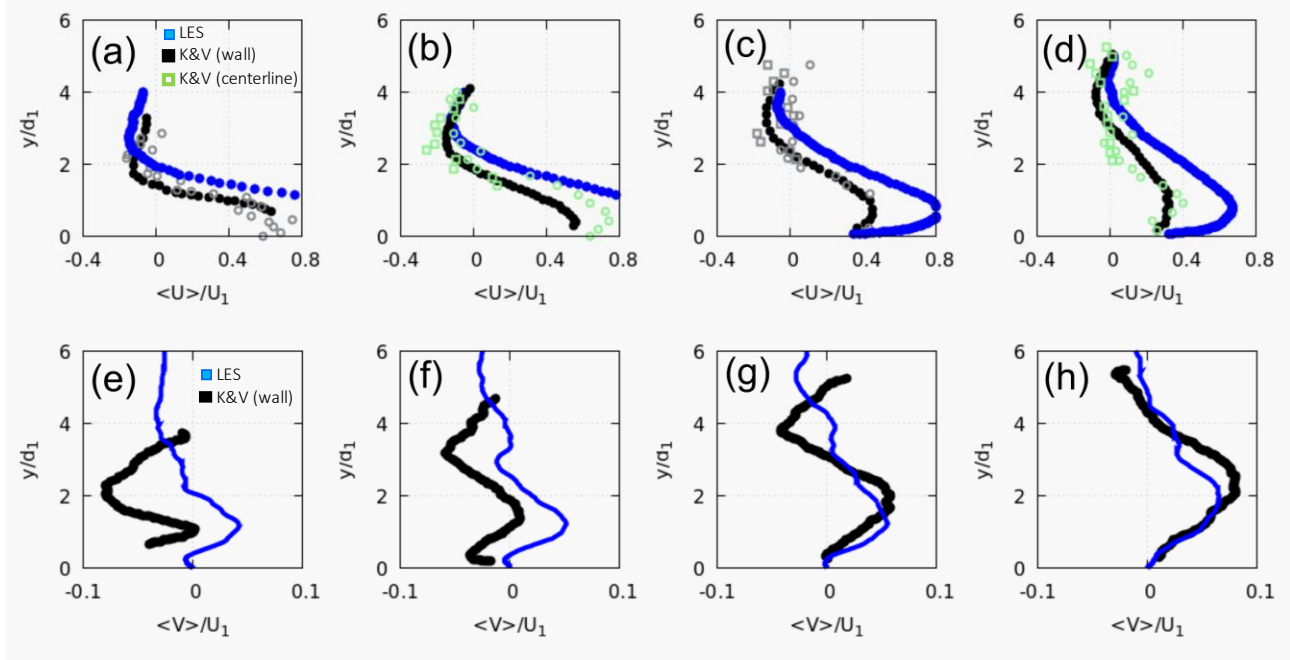


Figure 6: Mean velocity profiles for different positions. Streamwise component at positions: (a) $\chi = 3.6$, (b) $\chi = 7.1$, (c) $\chi = 10.7$, (d) $\chi = 14.3$, and transversal component at positions: (e) $\chi = 3.6$, (f) $\chi = 7.1$, (g) $\chi = 10.7$, (h) $\chi = 14.3$.

Figures 6(e) to (h) illustrates the development of the mean normalized vertical component of the velocity. The LES simulation captures the behavior of the vertical velocity for the cross-sections $\chi = 7.1$ to 14.3 , whereas for the cross-section located in the shear region at $\chi = 3.6$, the LES simulation did not provide the peak of negative vertical velocities as measured in the experiment of Kramer and Valero (2020).

Self-similar profiles of mean velocities and velocity fluctuations

The hydraulic jump demonstrates velocity self-similar behavior like other shear flows (*i.e.*, plane turbulent jet, shear mixing layer) by using adequate dimensionless variables. Introducing the self-similar variables ξ and η in the vertical direction:

$$\xi = \frac{y}{y_{1/2}} \quad \eta = \frac{y - y_{u_{\max}}}{y_{1/2} - y_{u_{\max}}} \quad , \quad (11)$$

with $y_{u_{\max}}$ being the elevation where $\bar{u} = u_{\max}$ and y the vertical direction, the velocity profiles can be expressed as a function of the self-similar variables:

$$f(\xi) = \frac{\bar{u}}{u_{\max}} \quad g(\eta) = \frac{\bar{u} - u_{\min}}{u_{\max} - u_{\min}} \quad h(\xi) = \frac{\bar{v} - v_{\min}}{v_{\max} - v_{\min}} \quad , \quad (12)$$

where $f(\xi)$ and $g(\eta)$ represent the streamwise velocity distribution and $h(\xi)$ the normal velocity distribution. Figure 7(a) shows the results of the LES simulation in blue marks for the self-similar distribution of streamwise velocity $f(\xi)$, compared with contours obtained by Kramer and Valero (2020) measured downstream of the impinging region for $\chi > 8$. It can be observed a quite good agreement between the LES simulation and measured data in representing the self-similar profile. The obtained LES results follow exactly the behavior of the empirical wall-jet equation $f(\xi) = 2.3(\xi)^{0.42} [1 - \text{erf}(0.886\xi)]$ proposed by Verhoff (1963) and adapted by Lin et al. (2012), depicted by the solid red line. Figure 7(b) illustrates the self-similar streamwise velocity distribution $g(\eta)$ for the so-called upper region of the hydraulic jump, valid downstream of the impinging region for $\chi > 8$. The LES simulation in blue marks and the experimental data contours are in quite good agreement, both can be represented by the equation $g(\eta) = \exp(-\alpha\eta^2)$, where $\alpha \approx \ln 2$. Figure 7(c) shows the self-similar vertical velocity distribution $h(\xi)$. The LES simulation in blue marks indicates that $h(1) \approx 1$, hence $y_{v_{\max}} \approx y_{1/2}$. In addition,

the vertical profile exhibits a S-shape profile that can be approximated by a Fourier series: $h(\xi) = \alpha_0 + \alpha_1 \cos(\xi\beta) + \alpha_2 \sin(\xi\beta)$, where $\alpha_0 = 0.5144$, $\alpha_1 = -0.2596$, $\alpha_2 = 0.3427$ and $\beta = 2.297$, indicated by the curve in red line. There is a quite good agreement between LES results and the contours of experimental data.

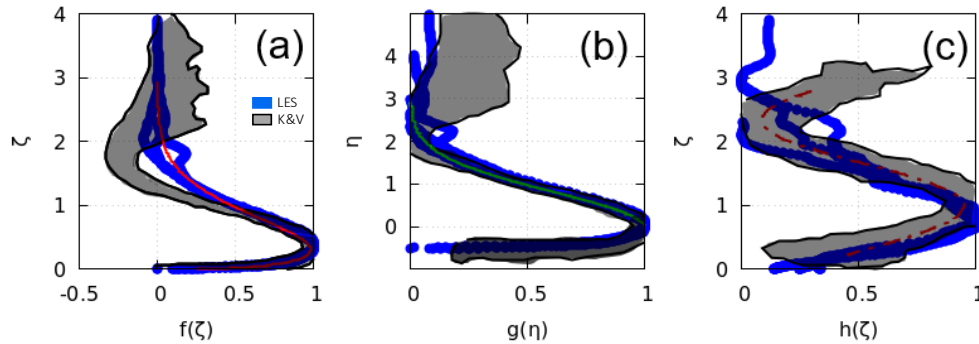


Figure 7: Self-similarity of mean velocity profiles downstream of impinging region for $\chi > 8$: (a) streamwise velocity with variables ξ and $f(\xi)$, (b) streamwise velocity with variables η and $g(\eta)$, (c) vertical velocity with variables ξ and $h(\xi)$.

The hydraulic jump is characterized by intense turbulent fluctuations, which can reach 50% or more of inflow velocities at the region next to the jump toe, exceeding the turbulence typically encountered in wall-jet flows. The streamwise component of the velocity fluctuation is the residual $u' = u - \bar{u}$, where u is the total velocity. The root mean square of velocity fluctuations is computed as $u_{rms} = \sqrt{u'^2}$ and similarly for the vertical component of velocity fluctuation v_{rms} . It is also observed self-similarity in terms of velocity fluctuation components u_{rms} and v_{rms} downstream of the impinging region of the jump for $\chi > 8$. Figure 8(a) illustrates the self-similar distribution of normalized streamwise turbulent fluctuation u_{rms}/u_{max} . It can be noticed that all profiles collapse into the same brush of curves showing self-similarity for the region $\chi > 8$ and a high level of turbulent fluctuations, where the u_{rms} ranges between 0.5 to 0.7 of the maximum velocity in the section. The LES simulation results shows approximately the same range of turbulence fluctuations. Figure 8(b) illustrates the self-similar distribution of normalized vertical turbulent fluctuation v_{rms}/u_{max} . The experimental data shows a high level of turbulent fluctuations for this component, ranging from v_{rms}/u_{max} approximately equal 0.35 to 0.65, whereas the LES simulation indicates level of v_{rms}/u_{max} in the range of 0.5.

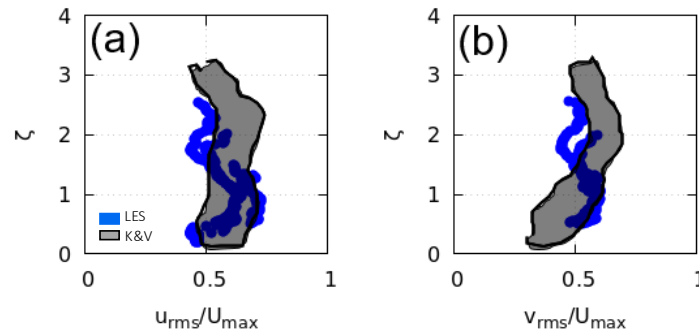


Figure 8: Self-similarity of turbulent velocity fluctuation profiles downstream of impinging region for $\chi > 8$: (a) stream-wise component u_{rms}/u_{max} (b) vertical component v_{rms}/u_{max} .

Conclusions and recommendations

This numerical study investigated a stable hydraulic jump at $Fr_1 = 4.25$ and $Re = 1.15 \times 10^5$ using large eddy simulation and open-source software OpenFoam®. The experimental study of Kramer and Valero (2020) provided the geometric and boundary conditions for the simulations, as well as the data for validation comparisons. Basic hydraulic jump properties, mean void fraction profiles, mean and fluctuating velocities were compared with selected measurements, and also with the study of Wang (2014) and analytical data.

The LES simulation was able to calculate the basic hydraulic jump properties and also to predict the mean void fraction distribution in the shear region for the cross-section located at $\chi=3.6$, and in the recirculation region at $\chi = 7.1, 10.7$ and 14.3 , where deviations from the experimental data of Kramer and Valero (2020) were always lesser than 5%. LES results also showed that the hydraulic jump exhibits maximum velocity decay, spreading rate, and also self-similarity in terms of mean and fluctuating velocity components comparable to other shear flows, such as the plane wall-jets. The LES simulation indicated velocity decay similar to the measurements of Wang (2014), a spreading rate $S = 0.128$ as in Kramer and

Valero (2020) and was capable to accurately predict all self-similar mean velocity profiles. In terms of turbulent fluctuations, LES simulation demonstrated the existence of self-similar profiles for $\chi > 8$, and that the u_{rms} ranges approximately between 0.5 to 0.7 of the maximum streamwise velocity and the v_{rms} is around 0.5 of the maximum streamwise velocity for this region.

In the future, further numerical work will be developed as a second part of this research with the objective of exploring two different aspects: (1) the use of a more elaborated turbulence model, such as the dynamic Smagorinsky model, and (2) the investigation of other turbulence characteristics in the shear and recirculation regions of the hydraulic jump, such as the turbulent integral characteristic length and velocity scales, the Reynolds stress tensor components and the spectrum of turbulent kinetic energy. The knowledge of such properties of the hydraulic jump can be useful for applications involving mixture of composites and energy dissipation.

Acknowledgment

The authors thank to the Graduate Program in Water Resources and Environmental Engineering from the Federal University of Paraná (PPGERHA-UFPR).

References

- Bélangier, J. B. 1840. Notes sur Lhydraulique. Cole Royale des Ponts et Chaussées, Champs-sur-Marne, France.
- Bung, D.; Valero, D. 2016. Optical flow estimation in aerated flows. *Journal of Hydraulic Research*. 54(5). pp.575-580. doi.org/10.1080/00221686.2016.1173600
- Chanson, H. 2009. Advective diffusion of air bubbles in hydraulic jumps with large Froude numbers: An experimental study. Technical Report. School of Engineering, University of Queensland. Brisbane, Australia.
- Chanson, H. 2011. Hydraulic jumps: turbulence and air bubble entrainment. *Journal La Houille Blanche*. 3. pp. 5-16. doi/abs/10.1051/lhb/2011026
- Chanson, H.; Brattberg, T. 2000. Experimental study of the air-water shear flow in a hydraulic jump. *International Journal of Multiphase Flow*. 26. pp. 583-607.
- Hager, W.H.; Bremen, R.; Kawagoshi, N. 1990. Classical hydraulic jump: length of roller. *J. Hydraul. Res.* 28. pp. 591–608. doi/abs/10.1080/00221689009499048
- Hirt, C. W.; Nichols, B. D.; Volume of Fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*. 39. pp. 201-225.
- Huang, J.; JiaJia, L.; Politano, M.; Li, R.; Carrica, P. 2019. Modelling air entrainment downstream of spillways. E-proceedings of the 38th IAHR World Congress. Panama City, Panama. doi:10.3850/38WC092019-1317
- Jesudhas, V.; Roussinova, V.; Balachandar, R.; Barron, R. 2016. Submerged Hydraulic Jump Study Using DES. *J. Hydraul. Eng.* 143(3): 04016091. doi/10.1061/%28ASCE%29HY.1943-7900.0001231
- Jesudhas, V.; Murzyn, F.; Balachandar, R. 2018. IDDES evaluation of oscillating hydraulic jumps. *E3S Web of Conferences* 40. 05067. *River Flow 2018*. doi.org/10.1051/e3sconf/20184005067
- Kramer, M.; Valero, D. 2020. Turbulence and self-similarity in highly aerated shear flows: The stable hydraulic jump. *International Journal of Multiphase Flow*. 129. 103316. doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2020.103316
- Kramer, M.; Valero, D.; Chanson, H.; Bung, D. 2019. Towards reliable turbulence estimations with phase-detection probes: an adaptive window cross-correlation technique. *Experiments in Fluids*. 60. pp.2-6. doi.org/10.1007/s00348-018-2650-9
- Lin, C.; Hsieh, S-C.; Lin, I-J.; Chang, K.; Rajkumar, V. 2012. Flow property and self-similarity in steady hydraulic jumps. *Exp Fluids*. 53. pp. 1591–1616. DOI 10.1007/s00348-012-1377-2
- Montano, L.; Li, R.; Felder, S. 2018. Continuous measurements of time-varying free-surface profiles in aerated hydraulic jumps with a LIDAR. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 93. pp. 379-397. doi.org/10.1016/j.exptthermflusci.2018.01.016
- Mortazavi, M.; Le Chenadec, V.; Moin, P.; Mani, A. 2016. Direct numerical simulation of a turbulent hydraulic jump: turbulence statistics and air entrainment. *Journal of Hydraulic Research*. 37. pp. 541-558.

- Mossa, M. 1999. On the oscillating characteristics of hydraulic jumps. *Journal of Hydraulic Research*. 37.541-558. doi.org/10.1080/00221686.1999.9628267
- Mossa, M.; Tolve, U. 1998. Flow Visualization in Bubbly Two-Phase Hydraulic Jump. *Journal of Fluids Engineering*. 120. pp. 160-165. DOI: 10.1115/1.2819641
- Moukalled, F.; Mangani, L.; Darwish, M. 2016. *The finite volume method in computational fluid dynamics: an advanced introduction with OpenFOAM and Matlab*. Springer International Publishing, USA.
- Mukha, T.; Almeland, S. K.; Bensow, R. E.; 2022. Large-Eddy Simulation of a classical hydraulic jump: influence of modelling parameters on the predictive accuracy. *Fluids*. MPDI. 7-101. pp. 1-22. doi.org/10.3390/fluids7030101
- Murzyn, F.; Mouaze, D.; Chaplin, J. R. 2005. Optical fibre probe measurements of bubbly flow in hydraulic jumps. *International Journal of Multiphase Flow*. 31. pp. 141-154. doi:10.1016/j.ijmultiphaseflow.2004.09.004
- Patankar, S. 1980. *Numerical heat transfer and fluid flow*. CRC Press. Boca Raton. USA.
- Pope, S. B. 2000. *Turbulent Flows*. Cambridge University Press, Cambridge. https://doi.org/10.1017/CBO9780511840531
- Smagorinsky, J. 1963. General circulation experiments with the primitive equations, I: the basic experiment. *Monthly Weather Review*. 91(3). pp.99-164.
- Singh, U. K.; Roy, P. 2023. Energy dissipation in hydraulic jumps using triple screen layers. *Applied Water Science*. 13. pp.1-9. doi.org/10.1007/s13201-022-01824-y
- Takenobu, M. Y. M.; Dettmer, P. H. C.; Ovelar, C. O. S.; Souza, F. F.; Andriolo, M. V.; Giordani, S.; Aver, C. S. 2022. Modelagem computacional de um ressalto hidráulico utilizando OpenFOAM. *Congresso Latino-americano de Hidráulica. Anais de mecânicas dos fluidos e hidráulica fundamental*. pp. 78-86.
- Verhoff, A. 1963. *The two-dimensional turbulent wall jet with and without and external free stream*. Technical report. Princeton. USA.
- Wang, H. 2014. *Turbulence and Air Entrainment in Hydraulic Jumps*. PhD Thesis. School of Civil Engineering. The University of Queensland. Australia.
- Wang, H.; Chanson, H. 2015. Experimental study of turbulent fluctuations in hydraulic jumps. *J. Hydraul. Eng.* 141(7) 04015010. DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001010
- Wang, H.; Chanson, H. 2019. Characterization of transverse turbulent motion in quasi-two-dimensional aerated flow: Application of four-point air-water flow measurements in hydraulic jump. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 100. pp. 222-232. doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2018.09.004
- Wang, H.; Murzyn, F. 2017. Experimental assessment of characteristic turbulent scales in two-phase flow of hydraulic jump: from bottom to free surface. *Environ Fluid Mech.* 17. pp. 7-25. DOI 10.1007/s10652-016-9451-6
- Witt, A. M. 2014. *Analytical and numerical investigation of an air entraining hydraulic jump*. PhD Thesis. University of Minnesota.
- Wang, Y.; Politano, M.; Laughery, R.; Weber, L. 2015. Model development in OpenFOAM to predict spillway jet regimes. *Journal of Applied Water Engineering and Research*. pp. 1-15. doi.org/10.1080/23249676.2015.1025442
- Witt, A.; Gulliver, J. S.; Shen, L. 2018. Numerical investigation of vorticity and bubble clustering in an air entraining hydraulic jump. *Computers and Fluids*. 172. pp. 162-180. doi.org/10.1016/j.compfluid.2018.06.019
- Wudritch, D.; Shi, R.; Chanson, H. 2022. Hydraulic jumps with low inflow Froude numbers: air–water surface patterns and transverse distributions of two-phase flow properties. *Environmental Fluid Mechanics*. 22. pp. 789-818. doi.org/10.1007/s10652-022-09854-5.

SINTETIZAÇÃO DE SEQUÊNCIAS DIÁRIAS DE RADIAÇÃO SOLAR PARA CIDADES BRASILEIRAS USANDO MATRIZES DE TRANSIÇÃO DE MARKOV

Matheus Lago, Fabiano Perin Gasparin

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: mathe.lago8888@gmail.com; fabiano.gasparin@ufrgs.br

Palavras-chave: Radiação Solar, Sintetização, Matrizes de Transição de Markov.

Resumo

A substituição gradual das fontes de energia oriundas de combustíveis fósseis por fontes de energia renováveis e não poluentes é cada vez mais necessária, apesar do ainda importante papel da energia de origem fóssil na economia mundial. Para isso, a utilização da energia solar é uma excelente alternativa. Entretanto, dada a intermitência da radiação solar, a necessidade de dados históricos é fundamental para o planejamento e simulação do desempenho de sistemas de conversão de energia solar. Para se obter os dados da radiação solar na superfície terrestre em uma determinada localidade geográfica é necessária a medição dessa radiação com o uso de instrumentos no solo ou por meio de modelos que utilizam variáveis medidas por instrumentos em satélites. As bases de dados mais comuns e disponíveis publicamente tradicionalmente disponibilizam apenas a radiação média de cada mês do ano. Entretanto, na etapa de simulação e análise de viabilidade de sistemas de conversão da energia solar, dados horários são normalmente necessários para uma simulação com maior precisão. Uma forma viável para a obtenção de dados de radiação diária a partir apenas das médias históricas mensais é a utilização de métodos estocásticos que sintetizam dados de radiação diária a partir da média mensal. Também é possível posteriormente sintetizar dados horários a partir dos dados diários de radiação solar. Um dos métodos estocásticos mais utilizados para a sintetização de sequências diárias de radiação solar é por meio das Matrizes de Transição de Markov. Existem na literatura matrizes que foram desenvolvidas com base em dados meteorológicos de diversos meses para diferentes cidades, sendo adequadas para a sintetização de sequências diárias de radiação solar. Este trabalho faz o uso deste método para desenvolver uma ferramenta capaz de sintetizar dados de irradiação solar diários para o Brasil, e para isso foi desenvolvido um algoritmo na linguagem Python 3.10.4 que aplica métodos estocásticos para o cálculo da irradiação global horizontal diária a partir da média mensal. O trabalho apresenta a metodologia detalhada de como os dados podem ser obtidos, desde os cálculos da trajetória solar, irradiação extraterrestre, índice de claridade médio mensal e, finalmente, os índices de claridade médios diários e, por conseguinte, as irradiações globais médias horizontais diárias. Para que se pudesse ter uma validação dos resultados, três capitais brasileiras foram escolhidas para a realização dos cálculos, sendo elas: Porto Alegre, Florianópolis e São Paulo. A curva dos dados diários ao longo do ano foi gerada e analisada, assim como as médias mensais foram comparadas com a base de dados utilizada para a sua geração. A média dos dados sintetizados tem uma diferença geralmente menor do que 0,2% da média histórica utilizada como entrada. São apresentados em detalhe os perfis da radiação sintetizada dos meses de março, junho, setembro e dezembro para ilustrar o comportamento da irradiação ao longo desses meses. Além disso, o trabalho também apresenta a geração de dados sintéticos do *software* comercial consolidado na área, o *Meteonorm®* ilustrando como outros métodos apresentam resultados semelhantes ao desenvolvido. O algoritmo desenvolvido para o trabalho foi utilizado para a geração de dados sintéticos com os valores médios do *software* e, posteriormente, comparados com os do *Meteonorm®*. Todos os resultados foram apresentados em forma de gráficos e tabelas para que se pudesse verificar o comportamento dos valores sintetizados, assim como as diferenças percentuais entre os dois métodos e as duas bases de dados. Os resultados encontrados ao longo do trabalho foram satisfatórios, mostrando que, mesmo que as Matrizes de Transição de Markov utilizadas tenham sido desenvolvidas com base em dados de outras localidades do mundo, o método pode ser utilizado com bom desempenho. O algoritmo desenvolvido fará parte de uma ferramenta mais ampla que está em desenvolvimento, onde o usuário poderá sintetizar dados horários de radiação para qualquer localidade do Brasil a partir dos dados públicos de radiação solar disponibilizados pelo INPE.

Introdução

A utilização de energia oriundas de fontes renováveis é cada vez mais visada e de importância para diminuir o consumo de fontes energéticas mais poluentes, como a do petróleo, ainda que exerçam um papel importante em nossa sociedade. Dessa forma, o estudo e o desenvolvimento de novas tecnologias para essas fontes energéticas se torna cada vez mais importante e, dentre elas, a energia solar é uma excelente opção.

Para que se possa ter os dados do potencial energético solar, é necessário que se tenham dados históricos, podendo ser obtidos através de instrumentos de medição no solo ou com a utilização de modelos matemáticos que fazem uso dos dados obtidos através da medição de satélites.

Por ter caráter intermitente, em qualquer análise de viabilidade dos sistemas de conversão da energia solar a simulação de seu desempenho em um ano típico é realizada em ferramentas computacionais.

A utilização exclusiva de bancos de dados como do INPE ou do CRESEB não é uma boa opção, uma vez que elas disponibilizam apenas os dados médios mensais de radiação e, apenas com isso, não é possível fazer uma boa estimativa de

geração de energia, onde as tentativas de se obter resultados para tal condição normalmente não tem bons resultados (Duffie et al. 2006). Além disso, se a opção fosse obter os dados dia a dia mensurados por equipamentos, a quantidade de informação seria muito grande e a possibilidade de perda de valor também seria um fator importante a ser considerado (Graham et al. 1988). Contudo, os dados disponibilizados pelos bancos de dados podem ser utilizados para a sintetização de dados diários de radiação e, posteriormente, é possível obter os dados horários, e, com esses, torna-se possível simular a operação dos sistemas de forma mais precisa (Balouktsis et al. 1986). Para que se possa calcular os dados horários deve-se, primeiramente, obter os dados diários. Esses, assim como os semanais, não são uma boa opção para a simulação dos sistemas fotovoltaicos, uma vez que, conforme encontrado por Baker et al. (1975) e Bennet (1967) o sistema fica negativamente enviesado e bimodal. Ainda assim, a obtenção dos dados diários é de extrema importância, pois é a partir deles que os horários serão gerados.

Como não existe uma base de dados diária para todas as regiões brasileiras, desenvolveu-se, com o uso do método das Matrizes de Transição de Markov, método estocástico que busca sintetizar valores diários de irradiação com base nos valores médios mensais. O algoritmo implementado gera os dados através de uma base de dados de irradiação médios já existente, sendo a do INPE a utilizada para todas as regiões brasileiras. Existem *softwares*, como o *Meteonorm®*, comerciais para a geração de dados para algumas regiões brasileiras, porém, poucos a partir do desenvolvimento acadêmico. Assim sendo, com as duas necessidades em vista, o trabalho foi desenvolvido.

Com todos os dados em mãos e o conhecimento do método estocástico é possível desenvolver uma ferramenta que sintetize dados diários, para que posteriormente os dados horários possam ser gerados. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver um algoritmo que calcula séries de valores diários de radiação que através de diversas repetições encontra a melhor série para todos os meses do ano.

Material e Métodos

O método desenvolvido por Aguiar et al. (1988) faz o uso de Matrizes de Transição de Markov para a geração de valores de Índice de Claridade diários (k_t) com base no Índice de Claridade mensal (K_{TM}). O índice de claridade é uma relação entre a radiação que atinge a superfície terrestre e a irradiação extraterrestre. O índice de claridade diário é definido pela equação (1).

$$k_t = g_{d,d}/g_{0d,d} \quad (1)$$

onde $g_{d,d}$ é a irradiação global diária incidente sobre uma superfície horizontal e $g_{0d,d}$ é o valor da irradiação extraterrestre global diária incidente sobre uma superfície horizontal e pode ser obtida através da Equação (3), resolvendo-se apenas para os dias de análise.

Os valores de K_{TM} para os 12 meses do ano são encontrados por meio da Equação (2).

$$K_{TM} = G_{d,m}(0)/G_{0d,m}(0) \quad (2)$$

onde: $G_{d,m}(0)$ é a irradiação global mensal que incide sobre uma superfície horizontal e $G_{0d,m}(0)$ é a irradiação extraterrestre mensal incidente sobre uma superfície horizontal.

As Matrizes de Transição de Markov foram desenvolvidas fazendo-se o uso de dados de 12 estações localizadas em Lisboa, Portugal (1975-1977), Faro, Portugal (1972,1973), Bragança, Portugal (1977-1979), Ponta Delgada. Ilhas Açores (1976, 1978, 1979), Porto Santo. Ilhas Madeira (1976-1978), Polana, Moçambique (1965-1970), Trappes, França (1972,1973), Carpentras, França (1972,1973) e Macau (1976-1978) (Aguiar et al., 1988). Segundo Aguiar et al. (1988), os valores de K_{TM} foram calculados para cada mês e divididos em dez classes: uma para $K_{TM} \leq 0,30$, oito entre 0,30 e 0,70 com passo de 0,05 e a última para $K_{TM} \geq 0,70$.

Para que se possa calcular os índices de claridade diários, deve-se seguir o procedimento descrito por Aguiar et al. (1988) e Lorenzo (2006).

É possível obter o valor de $G_{d,m}(0)$, em $Wh/m^2.dia$, através da utilização do Atlas Brasileiro de Energia Solar, desenvolvido pelo LABREN (Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia), pertencente ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (Pereira et al., 2017).

Para o valor de $G_{0d,m}(0)$, torna-se necessário o uso da Equação (3) (Duffie et al., 2006):

$$G_{0d,m}(0) = (\sum_{n=ni}^{n=nf} ((1 + 0.033 \cos(360n/365) \cos(\theta_z)) \times G_{SC})) / (nf - ni) \quad (3)$$

onde: $G_{0d,m}(0)$ é o valor de irradiação extraterrestre mensal sobre uma superfície horizontal, G_{SC} é a constante solar, sendo utilizado o valor de $1367 W/m^2$ (Duffie et al., 2006), n é o dia do ano, ni é o dia inicial de análise do mês, nf é o dia final de análise do mês e θ_z é o ângulo de Zênite que pode ser encontrado pela Equação (4).

$$\theta_z = \cos^{-1}(\sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega)) \quad (4)$$

onde: φ é a Latitude do local analisado, δ é o ângulo de declinação da terra, sendo determinado pela posição do Sol durante o meio-dia solar em relação ao plano do Equador. O valor do ângulo varia entre $-23,45^\circ$ e $23,45^\circ$, obtido ao longo do ano

através da Equação (5), desenvolvida por Spencer (1971) *apud* Duffie et al. (2006) e ω sendo o ângulo horário, ou seja, o deslocamento do sol de leste para oeste devido a rotação da terra, que se dá em uma velocidade de 15° por hora, sendo, durante a manhã negativo, e à tarde positivo (Duffie et al., 2006), obtido através da Equação (6) (R.M. Milne, 1921).

$$\delta = (180/\pi)(0,006918 - 0,399912 \cos((n - 1) 360/365) + 0,070257 \sin((n - 1) 360/365) - 0,006758 \cos((n - 1) 360/365) + 0,000907 \sin((n - 1) 360/365) - 0,002697 \cos((n - 1) 360/365) + 0,00148 \sin((n - 1) 360/365))(5)$$

$$\omega = 15^\circ(LST - 12) \quad (6)$$

onde: LST é a hora solar local, que é obtida pela Equação (7) abaixo (R.M. Milne, 1921):

$$LST = LT + TC/60 \quad (7)$$

onde: LT é a hora local e TC é o fator de correção do tempo, calculada pela Equação (8) (R.M. Milne, 1921):

$$TC = 4(\psi - LSTM) + EoT \quad (8)$$

onde: ψ é a Longitude local, LSTM é o horário padrão para o meridiano, podendo ser obtido multiplicando-se o meridiano da localidade por 15, que é quantos graus se tem em uma hora, e EoT é a equação empírica do tempo que corrige a excentricidade da órbita terrestre, assim como a sua inclinação. Pode-se calcular EoT através da Equação (9) (R.M. Milne, 1921):

$$EoT = 9,87 \sin(2((360/365)(n - 81))) - 7,53 \cos((360/365)(n - 81)) - 1,5 \sin((360/365)(n - 81)) \quad (9)$$

Seguindo-se esse processo, os valores diários de irradiação global extraterrestre são encontrados. Para que se possa encontrar o valor mensal para posteriormente calcular os valores de índice de claridade mensais, deve-se somar todos os valores de irradiação extraterrestre diários e dividir pela quantidade de dias do mês de análise.

Uma vez que os valores de K_{TM} são encontrados, deve-se selecionar a Matriz de Markov correspondente ao índice de claridade do mês específico e calcular dez subintervalos dentro do intervalo da matriz. Posteriormente, seleciona-se a fila correspondente ao subintervalo no qual se compreende o valor do k_t . Para o primeiro dia do mês, considera-se que k_t é igual ao K_{TM} do mês anterior. Gera-se um número aleatório (\tilde{n}) entre 0 e 1 com distribuição uniforme e os valores da linha do subintervalo selecionado são somados até que a condição da Equação (10) abaixo seja cumprida:

$$\sum_{n=1}^{n=j} a_{in} > \tilde{n} \quad (10)$$

onde: n é a iteração, j é o valor da coluna correspondente da matriz, i é a linha da matriz e a é o valor somado correspondente à respectiva linha, coluna e iteração.

Finalmente, o valor do k_t do dia em questão recebe o valor intermediário do subintervalo da última coluna contemplada pelo somatório da Equação (10). Repete-se o processo até que se tenha os valores do Índice de Claridade diários para todos os dias do mês.

Uma vez que os valores de k_t tenham sido calculados, torna-se possível obter a irradiação diária através da Equação (11), obtida de Lorenzo (2006):

$$g_{d,d} = g_{0d,d} \times k_t \quad (11)$$

Para que se possa obter os melhores resultados, o processo descrito acima é repetido cem vezes até que erros menores que 2% sejam encontrados, isto é, o valor da média de irradiação diária sintetizada deve ter diferença menor do que 2% da média histórica utilizada para gerar as sequências. Para que o erro possa ser calculado, em um primeiro momento, faz-se a soma dos valores de irradiação diária encontrados e divide-se pela quantidade de dias do mês que está sendo analisado e, posteriormente, divide-se esse valor pela irradiação média mensal para uma superfície horizontal obtida do Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al., 2017). O processo pode ser ilustrado pela Equação (12):

$$erro\% = \frac{\frac{\sum_{n=1}^{n=k} g_{d,d}}{k}}{G_{d,m(0)}} \times 100 \quad (12)$$

onde: k é o último dia do mês de análise.

Foram escolhidas três capitais brasileiras para que se pudesse testar o algoritmo desenvolvido, o método estocástico e a base de dados. A Tabela (1) compila as informações das capitais selecionadas.

Cidade	Latitude – Banco de dados	Longitude - Banco de dados
Porto Alegre	-30,0005°	-51,249°
Florianópolis	-27,6005°	-48,549°
São Paulo	-23,5005°	-46,649°

Tabela 1: Coordenadas geográficas das cidades mais próximas do banco de dados do INPE

A fim de que se comparasse o método com um *software* já utilizado no mercado, optou-se por fazer o uso da versão de demonstração do *Meteonorm*® v.8.1.4. Para isso, os valores de irradiação diária foram gerados e comparados com os resultados do algoritmo desenvolvido fazendo-se o uso dos dados de irradiação média mensal fornecidos pelo *Meteonorm*®. O *software* foi configurado para o período contemporâneo, com o cenário para períodos futuros RCP 2.6.

O método estocástico utilizado para a geração dos dados diários de irradiação do *software* citado faz o uso do modelo de Aguiar et. al. (1988), assim como o algoritmo desenvolvido, com a diferença de que se faz o uso das Novas Matrizes de Transição de Markov, calculadas fazendo-se o uso de 121 estações diferentes, sendo elas localizadas nos Estados Unidos, Europa, Norte da África e Arábia Saudita

Resultados e Discussão para a base de dados do INPE

Fazendo-se uso do algoritmo desenvolvido e das bases de dados do INPE, 365 valores de irradiação diária para cada cidade foram gerados. As Figuras (2), (3) e (4) ilustram valores diários anuais da melhor série gerada para as três capitais.

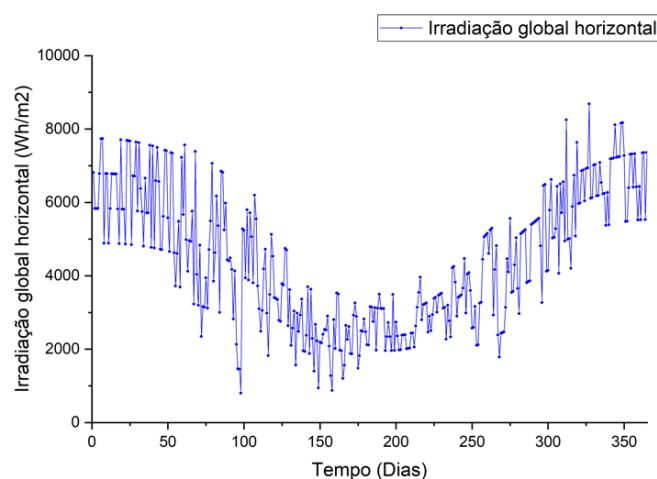


Figura (2): Melhor séries de valores diários sintetizados anuais para Porto Alegre usando a base de dados do INPE

Observando-se as imagens é possível perceber que a curva dos valores de irradiação sintetizados apresenta um comportamento esperado, assim como observado na natureza, uma vez que se observa uma queda nos valores diários conforme os dias se aproximam do inverno, ao passo que o inverso também é verdadeiro. As variações diárias seguem o modelo estocástico, reproduzindo um comportamento semelhante ao que ocorre ao longo do tempo.

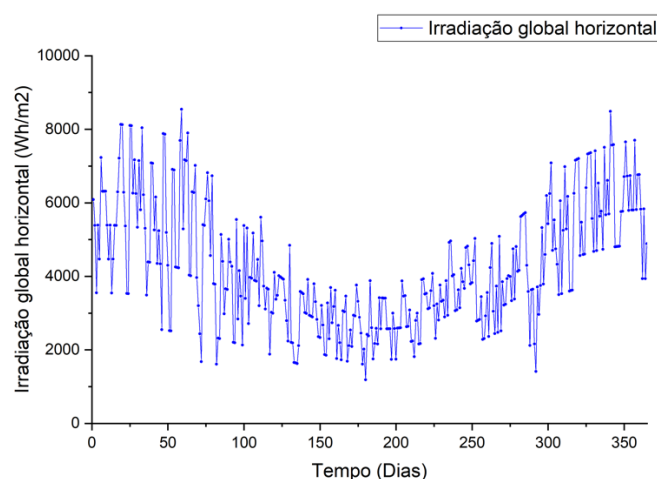


Figura (3): Melhor séries de valores diários sintetizados anuais para Florianópolis usando a base de dados do INPE

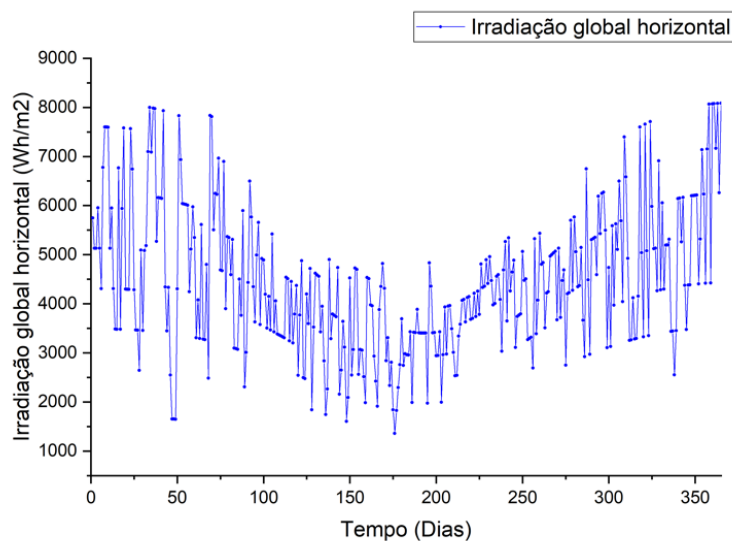


Figura (4): Melhor séries de valores diários sintetizados anuais para São Paulo usando a base de dados do INPE

Para que se possa observar o comportamento diário, torna-se necessário verificar os valores diários referentes ao mês de análise. As Figuras (5), (6) e (7) ilustram esse comportamento para os meses de março, junho, setembro e dezembro, para as três capitais analisadas, os quais foram escolhidos por serem meses de transição das estações.

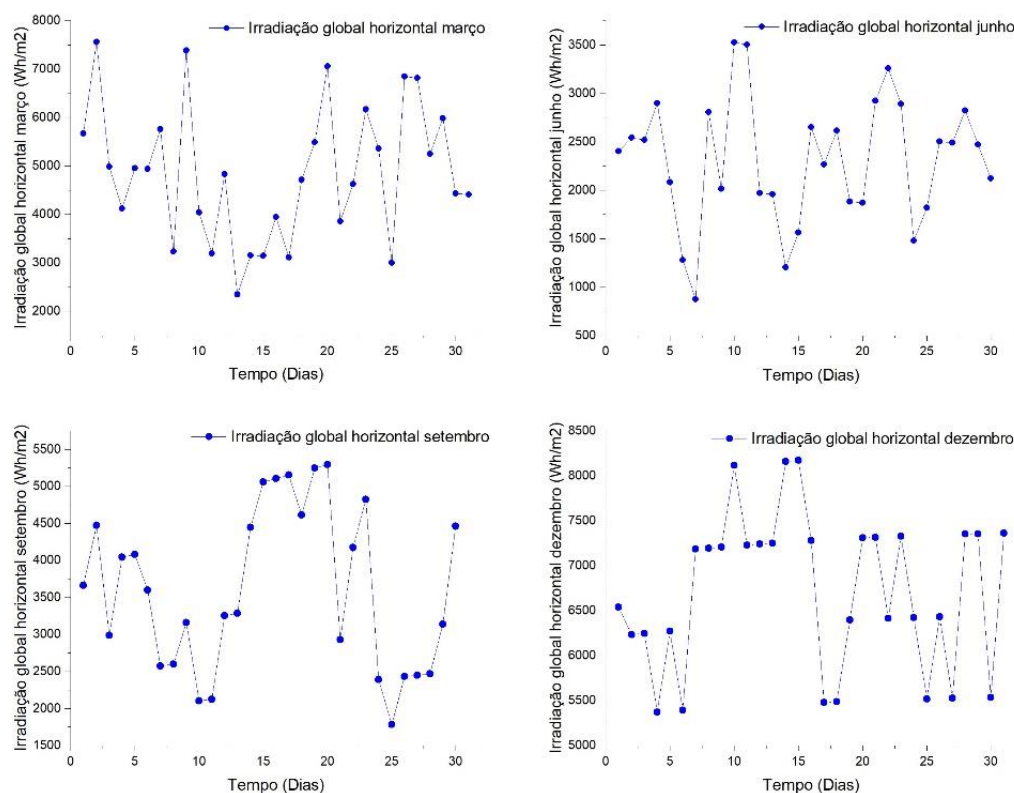


Figura (5): Melhores séries de valores diários sintetizados anuais para Porto Alegre usando a base de dados do INPE

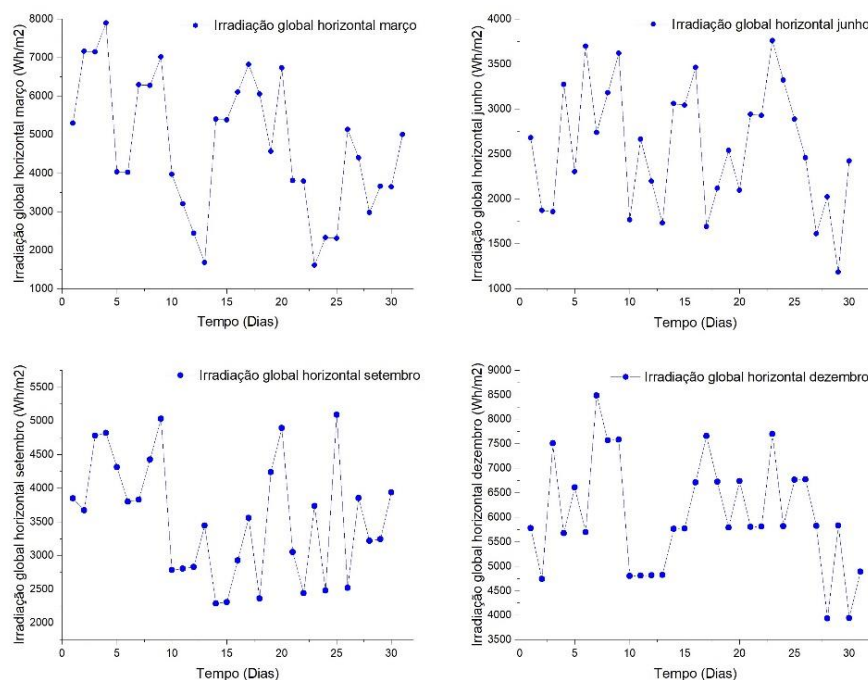


Figura (6): Melhores séries de valores diários sintetizados anuais para Florianópolis usando a base de dados do INPE

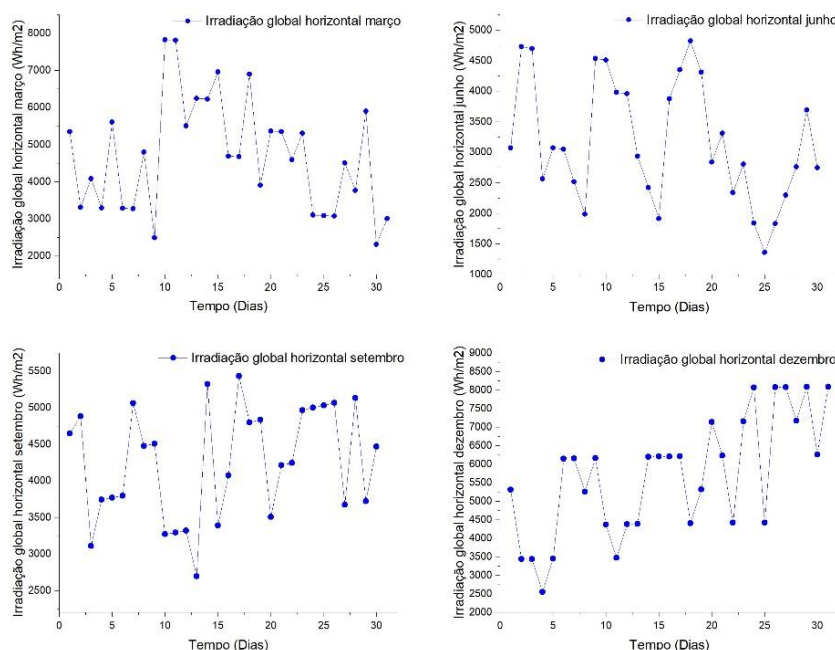


Figura (7): Melhores séries de valores diários sintetizados anuais para São Paulo usando a base de dados do INPE

É possível verificar que os valores apresentam um comportamento já conhecido, onde observa-se altos valores de irradiação, fato que indica que foram dias ensolarados e baixos valores de irradiação, o que indica dias nublados ou chuvosos. É importante destacar que estas séries sintéticas nunca serão idênticas e cada vez que o algoritmo é rodado o perfil das sequências pode mudar, porém a média mensal reproduzida se mantém constante.

Ainda assim, como os valores sintetizados são gerados através de um método estocástico com base em um valor médio, torna-se imprescindível comparar as médias mensais dos valores gerados com a média da base de dados do INPE utilizada como dado de entrada no algoritmo. As Figuras (8), (9) e (10) ilustram médias obtidas, juntamente com o módulo do erro quando comparado ao valor da base de dados utilizada.

De acordo com as imagens, conforme o esperado, observa-se o mesmo comportamento das Figuras (2), (3) e (4), com a ressalva de que a visualização do comportamento da média ao longo do ano é facilitada. A análise conjunta à Tabela (2) torna possível a verificação de que a média dos valores sintetizados fica muito próxima à dos dados originais, onde o menor erro para Porto Alegre se dá no mês de abril, sendo de 0% e o máximo de 0,22%. Já para Florianópolis, o menor valor de erro também foi de 0% e o máximo de 0,42%. Finalmente, para São Paulo, o menor valor encontrado foi de 0,02% e o máximo de

0,28%. O fato de realizar 100 simulações e escolher apenas a melhor é um passo necessário para evitar valores maiores de erros, como os valores encontrados de 37% para Porto Alegre, 38,3% para Florianópolis e 30,2% para São Paulo em simulações específicas onde o resultado foi descartado.

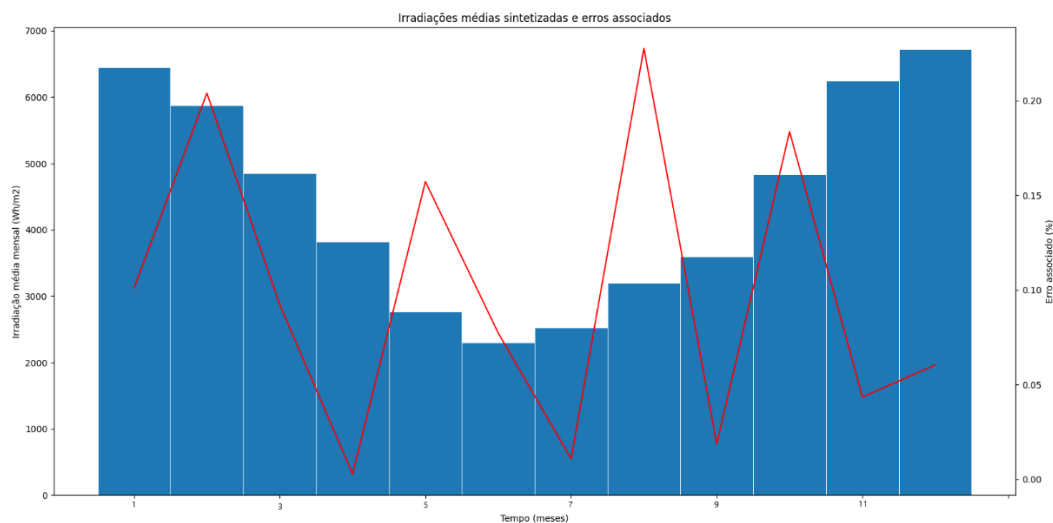


Figura 8: Médias mensais dos valores diários sintetizados e erro associado para Porto Alegre

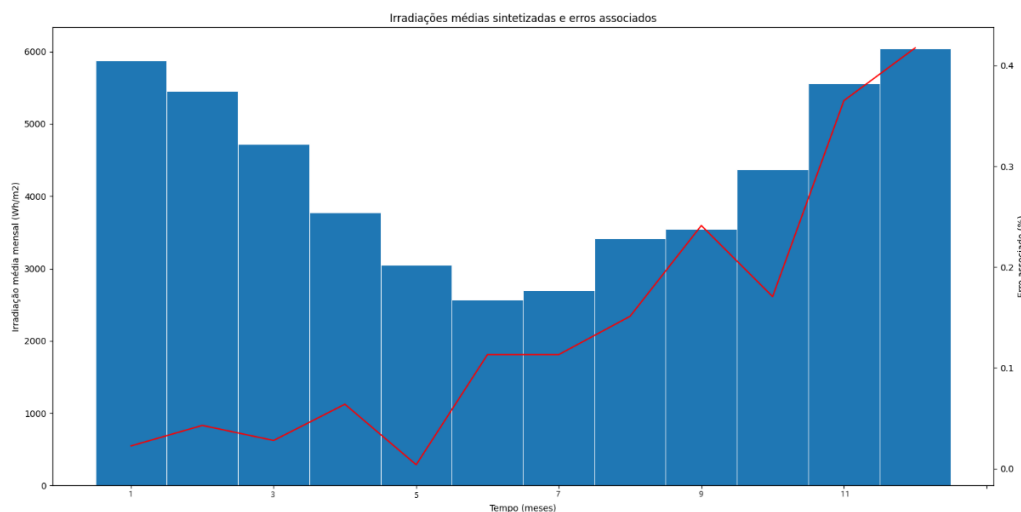


Figura 9: Médias mensais dos valores diários sintetizados e erro associado para Florianópolis

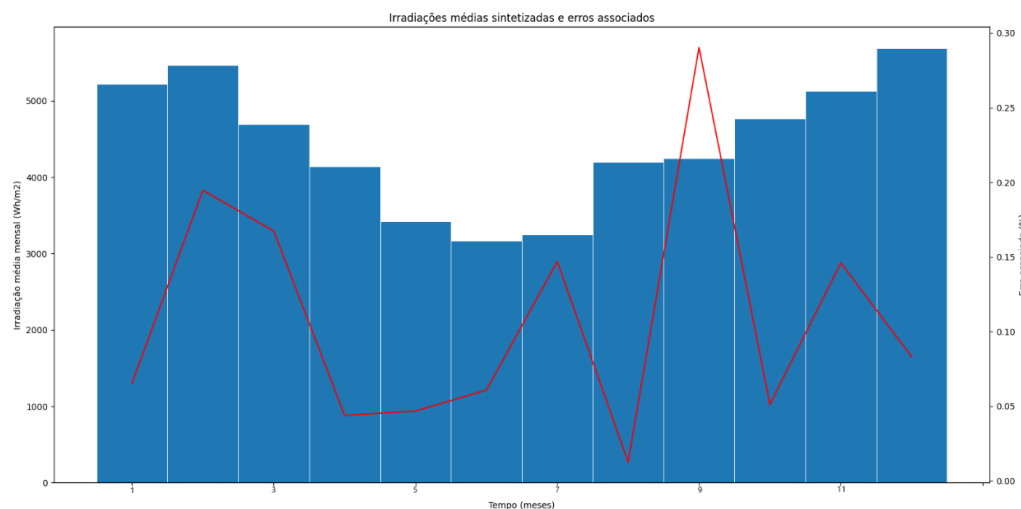


Figura 10: Médias mensais dos valores diários sintetizados e erro associado para São Paulo

Mês	Porto Alegre			Florianópolis			São Paulo		
	INPE	Algoritmo	Erro	INPE	Algoritmo	Erro	INPE	Algoritmo	Erro
-	GH médio (Wh/m ²)	GH médio (Wh/m ²)	%	GH médio (Wh/m ²)	GH médio (Wh/m ²)	%	GH médio (Wh/m ²)	GH médio (Wh/m ²)	%
Jan.	6449	6456	0,11	5868	5869	0,02	5222	5219	0,06
Fev.	5863	5875	0,20	5453	5455	0,04	5479	5468	0,20
Mar.	4848	4853	0,10	4714	4715	0,02	4704	4696	0,17
Abr.	3819	3820	0,03	3773	3775	0,05	4142	4144	0,05
Mai	2777	2778	0,04	3051	3051	0,00	3422	3420	0,06
Jun.	2309	2307	0,09	2573	2570	0,12	3172	3170	0,06
Jul.	2524	2524	0,00	2699	2702	0,11	3244	3249	0,15
Ago.	3194	3201	0,22	3407	3412	0,15	4196	4195	0,02
Set.	3596	3597	0,03	3559	3550	0,25	4237	4249	0,28
Out.	4822	4831	0,19	4364	4371	0,16	4762	4764	0,04
Nov.	6248	6245	0,05	5537	5557	0,36	5135	5128	0,14
Dez.	6716	6720	0,06	6011	6036	0,42	5691	5686	0,09

Tabela 2: Valores sintetizados diários para as três capitais e as diferenças percentuais comparadas à base de dados do INPE

Resultados e Discussão para a base de dados do Meteonorm®

Configurando-se o software Meteonorm® conforme descrição na seção de metodologia, torna-se possível obter os resultados de irradiação diária para as três capitais em análise. As Figuras (11), (12) e (13) ilustram os valores sintetizados pelo software ao longo do ano para as Porto Alegre, Florianópolis e São Paulo respectivamente.



Figura 11: Valores diários sintetizados anuais obtidos do Meteonorm® para Porto Alegre



Figura 12: Valores diários sintetizados anuais obtidos do Meteonorm® para Florianópolis



Figura 13: Valores diários sintetizados anuais obtidos do Meteonorm® para São Paulo

Fazendo-se a substituição dos valores da base de dados do Meteonorm® no algoritmo desenvolvido, os resultados ilustrados são resumidos na Tabela (3).

Analisando-se os gráficos, é possível perceber que todos mantêm o padrão de comportamento e os valores do algoritmo desenvolvido ficam próximos ao do Meteonorm®. Porém, para que se possa averiguar com precisão a diferença dos dados diários, é necessário o acesso aos dados numéricos do *software*. Porém, com a versão de demonstração, não é possível baixá-los. Ainda assim, para que a diferença entre os resultados possa ser mensurada, faz-se a comparação com a média mensal. A Tabela (3) resume os resultados encontrados.

Mês	Porto Alegre			Florianópolis			São Paulo		
	Meteonorm®	Algoritmo	Erro	Meteonorm®	Algoritmo	Erro	Meteonorm®	Algoritmo	Erro
-	GH médio (Wh/m ²)	GH médio (Wh/m ²)	%	GH médio (Wh/m ²)	GH médio (Wh/m ²)	%	GH médio (Wh/m ²)	GH médio (Wh/m ²)	%
Jan.	6484	6521	0,57	6065	6087	0,36	6032	6039	0,12
Fev.	5893	5903	0,17	5536	5531	0,09	5464	5464	0,00
Mar.	4968	4970	0,04	4903	4912	0,18	5355	5381	0,49
Abr.	4267	4268	0,02	4500	4447	1,18	4900	4894	0,12
Mai	3419	3464	1,32	3516	3514	0,06	4161	4162	0,02
Jun.	2733	2734	0,04	2967	2966	0,03	3633	3640	0,19
Jul.	2968	2972	0,13	3129	3124	0,16	4000	4000	0,00
Ago.	3548	3548	0,00	3613	3613	0,00	4355	4358	0,07
Set.	3967	3967	0,00	3700	3697	0,08	4833	4834	0,02
Out.	5129	5129	0,00	4871	4891	0,41	5387	5386	0,02
Nov.	6133	6127	0,10	5600	5560	0,71	5667	5683	0,28
Dez.	7194	7193	0,01	6323	6317	0,09	6097	6107	0,16

Tabela 3: Comparativo das somas dos valores sintetizados diários para cada mês entre o Meteonorm® e o algoritmo desenvolvido

Analisando-se os dados da tabela, é perceber que os valores sintetizados representam a média do mês, onde, os menores erros encontrados foram de 0% para Porto Alegre, Florianópolis e São Paulo. Já os maiores erros encontrados foram de 1,32%, 1,18% e 0,49%. As iterações mostram-se, mais uma vez, importantes, uma vez que os maiores valores de erros encontrados foram de 33,7%, 29,8% e 31,4% para Porto Alegre, Florianópolis e São Paulo respectivamente em uma das simulações que foi descartada.

Assim sendo, analisando-se os resultados encontrados para as duas bases, é possível perceber que os valores dos erros de sintetização são muito pequenos quando comparados com a diferença entre as próprias bases. Ambas possuem diferenças nas médias mensais, mas, ainda assim, essas atingem no máximo 1,32%, encontrado para apenas um mês para a cidade de Porto Alegre fazendo-se o uso da base de dados do Meteonorm®.

Considerações Finais

Com a utilização do método estocástico e os dados disponibilizados pelo INPE, o trabalho desenvolvido foi capaz de encontrar valores diários sintéticos de irradiação solar para três capitais brasileiras em diferentes localidades geográficas e com diferentes características meteorológicas. Além disso, os resultados encontrados puderam ser comparados com os dados de um *software* já utilizado e consolidado no mercado e, seus resultados comparados, onde foi possível obter valores com, no máximo 1,303% de diferença.

Mesmo que o resultado encontrado com as Matrizes de Transição de Markov utilizadas, desenvolvidas em 1988 para doze estações meteorológicas, tenham sido satisfatórios, seria interessante a sua atualização para as Novas Matrizes de Transição de Markov, desenvolvidas com base em dados de cento e vinte e uma estações, para verificar se há melhora nos valores diários sintéticos.

Concluindo, o algoritmo desenvolvido compreende uma primeira etapa de um programa de simulação de sistemas fotovoltaicos, isto é, tratar os dados de irradiação históricos para a sintetização de séries diárias de radiação solar. A próxima etapa é a geração de dados horários de radiação. A partir de dados horários de radiação, os valores de radiação sintetizados podem ser utilizados para a simulação da produção de energia por sistemas fotovoltaicos de maneira bastante otimizada, incluindo efeitos do ângulo de instalação dos módulos fotovoltaicos bem como simular de maneira mais precisa do que apenas com valores médios.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao INPE pela disponibilidade da base de dados.

Referências Bibliográficas

- Aguiar, R; Collares-Pereiro, M; Conde, J; 1988. Simple procedure for generating sequences of daily radiation values using a library of Markov transition matrices. *Solar Energy*, v. 40(3), p. 269-279.
- Balouktsis, A; Tsalides, P; 1986. Stochastic simulation model of hourly total radiation. *Solar Energy*, v. 37(2), p. 119-126.
- Baker D. G; Klink J. C; 1975. Solar radiation reception, probabilities, and areal distribution in the north-central region. Minnesota Agricultural Experiment Station, p225.
- Bennet, I; 1967. Frequency of daily insolation in Anglo North America during June and December. *Solar Energy*, v. 11(1), p. 41-55.
- Duffie, J; Beckman, W; 2006. *Solar engineering of thermal processes*, third edition. Wiley.
- Graham, V; Hollands, K; Unny, T; 1988. A time series model for K_t with application to global synthetic weather generation. *Solar Energy*, v. 40(2), p. 83-92.
- Lorenzo, E; 2006. Radiación Solar y Dispositivos Fotovoltaicos. *PROGENSA*, p. 244-250.
- Milne, R; 1921. 593. Note on the Equation of Time. *The Mathematical Gazette*, v.10(155).
- Pereira, E; et al; 2017. Atlas brasileiro de energia solar.
- Spencer, J. W; 1971. Fourier Series Representation of the Position of the Sun. *Search*, v. 2(5), p. 172.

AVALIAÇÃO DE COMPLEMENTARIDADE ENTRE OS RECURSOS EÓLICO, SOLAR E HÍDRICO PARA A REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA, BRASIL

Lauanne Oliveira Pimentel, Cláudia Weber Corseuil, Jeane de Almeida do Rosário

Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: lauanne.p@hotmail.com; Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: claudia.weber@ufsc.br; Universidade do Estado de Santa Catarina, e-mail: jeane.rosario@udesc.br

Palavras-chave: Sistemas híbridos; Energia renovável; Complementaridade energética.

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a complementaridade temporal entre os recursos hídrico, eólico e solar para atender a mesma produção da Central Geradora Hidrelétrica (CGH) Caveiras, localizada no município de Lages, Santa Catarina, Brasil. Para dimensionar os sistemas eólico e solar, foram utilizados dados de chuva, vazão, velocidade do vento e radiação solar correspondentes ao período de 2017 a 2019, provenientes de estações fluviométrica da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Ressalta-se que o período analisado coincidiu com a transição entre El Niño e La Niña, permitindo avaliar a influência destes fenômenos nas variações climáticas interanuais da região. Os resultados obtidos mostram que para suprir a demanda da CGH Caveiras são necessários 5 aerogeradores e 42000 módulos fotovoltaicos, evidenciando que o recurso eólico é mais favorável para atuar de forma híbrida em épocas de secas severas, devido a pequena quantidade de aerogeradores necessários, além do fator de capacidade obtido no valor de 25,14%. O potencial de complementaridade entre as três fontes de energia na região, foi confirmado por meio dos coeficientes de Pearson, no qual obteve-se -0,39 e -0,32 para as fontes de energia hidráulica e eólica, e hidráulica e solar, respectivamente. Sugere-se, para estudos futuros, realizar medições de velocidade do vento onde está instalada a CGH, analisar o potencial eólico da região utilizando outras distribuições de probabilidade além de Weibull, e avaliar a viabilidade econômica da implantação de um sistema híbrido para geração de energia.

Introdução

A energia hidrelétrica desempenha um papel importante no cenário energético brasileiro, sendo a principal fonte do país, representando 60,2% da capacidade instalada (BRASIL, 2022). No entanto, é preciso considerar que as usinas hidrelétricas causam vários impactos ambientais negativos, incluindo alterações na qualidade e temperatura da água, redução na vazão dos rios, emissões de gases de efeito estufa, perda de biodiversidade e realocação de pessoas (FERREIRA, 2020; CUSTÓDIO *et al.*, 2022; ANANIAS, 2022). Além disso, a dependência da energia hidrelétrica torna o sistema suscetível à crises energéticas, durante períodos de escassez de chuvas (GETIRANA *et al.*, 2021), resultando no acionamento de usinas termoeletricas que também causam problemas ambientais, como a contaminação da água e a emissão de CO₂ (CAMPOS; RODRIGUES; MELGAÇO, 2022). Para mitigar esses problemas, o Brasil tem buscado diversificar sua matriz energética, com previsão de redução da dependência das hidrelétricas e termoeletricas, aumentando a participação de fontes como eólica, solar e térmica a gás natural (BRASIL, 2022), visando maior segurança na distribuição de energia através da utilização de fontes renováveis. No entanto, as energias eólica e solar também apresentam desafios ambientais, como modificação da paisagem natural, utilização de áreas produtivas, emissão de CO₂ na produção dos equipamentos, mortalidade de aves e problemas relacionados à fabricação e reciclagem das células solares. Nesse contexto, é importante considerar que, todas as fontes renováveis são dependentes das condições climáticas (radiação solar, vento, água), as quais apresentam variabilidade temporal e espacial, de acordo com a região e o período do ano. Contudo, esta característica pode ser atenuada pela complementaridade entre as fontes (BELUCO; RISSO; CANALES, 2019). A complementaridade possibilita a utilização de duas ou mais fontes alternativas para a geração elétrica, formando sistemas híbridos que atuam de forma combinada tanto no tempo, quanto no espaço. Assim, as variações de geração individuais são compensadas, diminuindo a dependência de uma única fonte, minimizando as desvantagens relacionadas às suas variabilidades espaço-temporais (BELUCO; RISSO; CANALES, 2019; EIFLER NETO *et al.*, 2020), bem como os impactos ambientais.

Neste contexto, estudos em diversas partes do mundo, têm avaliado a existência de complementaridade entre diferentes fontes de energia, dos quais destacam-se Aza-Gnandji *et al.* (2018), que avaliaram a complementaridade entre energia solar e eólica na República do Benin, utilizando a Otimização por Enxame de Partículas para determinar as melhores localizações

geográficas em termos de complementaridade. Também Zhang *et al.* (2018) utilizando os recursos eólicos, solares e hidrelétricos na bacia do rio Yalong e sua complementaridade de produção como um estudo de caso, formularam um modelo de otimização com o objetivo de minimizar o excesso de energia de parques eólicos e instalações fotovoltaicas, maximizando a energia armazenada em usinas hidrelétricas em cascata. Henao *et al.* (2019) apresentaram um modelo de otimização para aumentar a inserção de fontes de energia renováveis complementares na Colômbia, visando minimizar os custos do sistema, as emissões de CO₂ e os eventos de apagão. Canales *et al.* (2020) avaliaram a complementaridade temporal entre três fontes de energia (solar, eólica e hidráulica) para a região sul da Polônia, por meio de técnicas de programação de correlação e

compromisso. Os resultados indicaram que as fontes de energia analisadas apresentaram uma complementaridade temporal significativa. Isso significa que, em determinados períodos, uma ou mais fontes de energia estavam disponíveis em maior quantidade, o que possibilitou uma melhor utilização do sistema híbrido. No Brasil, Eifler Neto *et al.* (2020) estudando a região Nordeste, apresentaram um mapa de complementaridade no tempo entre os recursos hídricos e eólicos, no qual identificaram que mais de 40% da região apresentou altos níveis de complementaridade. Também Campos (2020) avaliou a complementaridade entre usinas eólicas e fotovoltaicas para essa região, utilizando dados reais de geração de energia, e encontrou resultados satisfatórios (coeficiente de Pearson no valor de -0,51).

Considerando a escassez de estudos sobre a complementaridade entre as fontes de energia hidráulica, eólica e solar fotovoltaica na região sul de Santa Catarina, bem como o impacto da seca severa ocorrida em 2018 na região serrana de Lages (SC), que afetou a geração de energia hidrelétrica, torna-se essencial realizar pesquisas dessa natureza visando o gerenciamento adequado dos recursos hídricos nessa região. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a complementaridade temporal entre os recursos hídrico, eólico e solar, de forma a atender a mesma produção da Central Geradora Hidrelétrica Caveiras, localizada no município de Lages (SC), visando mitigar os efeitos da escassez de água na geração de energia.

Material e Métodos

Área de estudo

A área de estudo é a sub-bacia do rio Caveiras que faz parte da bacia hidrográfica do rio Canoas, onde está localizada a CGH Caveiras (27°48'38" S e 50°28'55" W), área rural do município de Lages, região serrana de Santa Catarina, Brasil (Figura 1). Essa CGH é de propriedade da CELESC Geração S.A. (Centrais Elétricas de Santa Catarina), e é constituída por uma barragem do tipo soleira livre e uma casa de força, contendo 4 turbinas modelo Francis de eixo horizontal. A Tabela 1 mostra as especificações da CGH e a Figura 2 uma vista aérea do reservatório e da casa de força.

Características da CGH	Valores	Unidades
Área de drenagem	10.400,00	km ²
Área do reservatório principal	37.800	m ²
Nível mínimo operacional	856,85	m
Nível de vertimento	859,85	m
Queda bruta	34,10	m
Capacidade de geração (potência instalada)	3,829	MW
Início das operações	1940 até os dias atuais	-

Tabela 1: Dados da CGH Caveiras, localizada no município de Lages, SC. Fonte: Diel (2020).

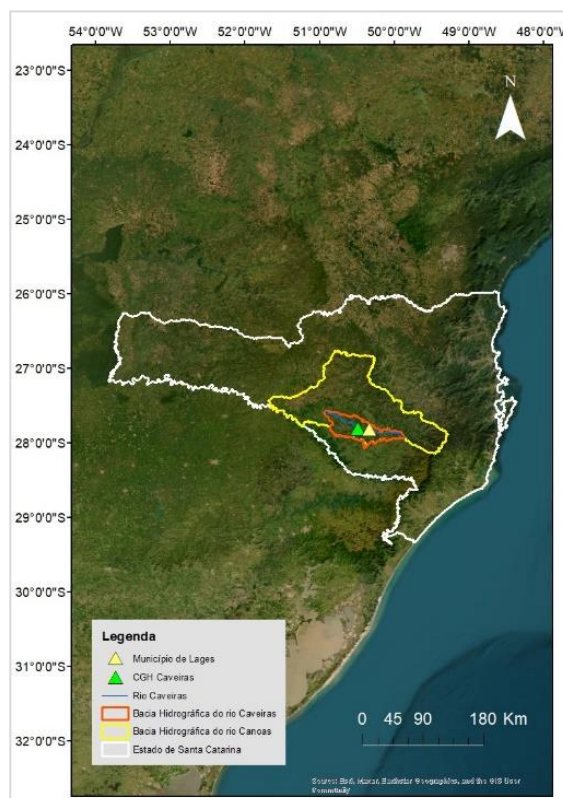


Figura 13: Mapa de localização da área de estudo.



Figura 2: Vista da casa de força e reservatório da CGH Caveiras.

Dados meteorológicos e hidrológicos

No presente trabalho foram utilizados dados meteorológicos (vento e radiação solar) e hidrológicos (chuva e vazão) do período de 2017 a 2019. O critério de escolha dos três anos foi definido com base na avaliação mínima necessária para dimensionar os parques eólico (mínimo 3 anos de dados) e solar (mínimo 1 ano).

Os dados de vento e de radiação foram obtidos da estação automática (código A865) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Lages/SC (27.80 S e 50.34 W). Salienta-se que durante a verificação da série horária, constatou-se várias falhas, as quais não foram consideradas no presente trabalho. Os dados de chuva e vazão foram obtidos das estações pluviométrica (código 2750007) e fluviométrica (código 71655000) de responsabilidade da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Ambos os dados foram utilizados no dimensionamento de sistema eólico e solar fotovoltaico, e também na avaliação da complementaridade energética entre os recursos.

Dados de geração de energia da CGH

Para dimensionar os parques eólico e solar fotovoltaico utilizou-se como referência a capacidade instalada da CGH Caveiras que, atualmente, é de 3,8 MWh dia⁻¹. Assim, a capacidade de geração de energia eólica e solar fotovoltaica deverá ser igual à da CGH. Com base nesses valores foi feita a análise de complementaridade entre às respectivas fontes de energia.

Verificação da sazonalidade das vazões de referência da CGH

A fim de verificar o comportamento da vazão do rio Caveiras foram elaborados hidrogramas para os três anos de dados avaliados, e calculada a média móvel, visando identificar épocas em que houve diminuição significativa da disponibilidade hídrica na bacia e, conseqüentemente, da potência da CGH, reduzindo o fornecimento de energia. Ademais, sabendo-se que há correlação entre chuva e vazão, tornou-se possível verificar os totais precipitados durante os três anos de estudo, e sua influência na determinação de produção de eletricidade pela CGH Caveiras.

Tratamento e conversão dos dados

Após a obtenção das informações realizou-se o tratamento e conversão dos dados para dimensionar os parques, com a finalidade de verificar a capacidade de geração de energia e a complementaridade na região, além do número necessário de aerogeradores e módulos fotovoltaicos, de forma a compensar a energia que é produzida pela hidrelétrica Caveiras. Ressalta-se que, no presente trabalho não foi feita a avaliação da viabilidade econômica da complementaridade entre as três fontes de energia.

Dimensionamento do parque eólico

Para o dimensionamento do parque eólico, além da utilização dos dados de vento, também foi necessário obter dados da potência (kW) instantânea da turbina do aerogerador AGW 110/2.1, os quais foram fornecidos pela empresa multinacional WEG S.A. Esse modelo possui turbinas eólicas de eixo horizontal (TEEH) com 3 hélices e equivale à capacidade de geração da usina, sendo um dos mais utilizados no Brasil.

O método para o dimensionamento do parque eólico, proposto por Pinto (2013), utilizado no presente trabalho, consiste em, inicialmente, corrigir a velocidade do vento pela lei logarítmica, considerando a variação vertical da altura em relação ao solo. Vale salientar que o comprimento de rugosidade corresponde à altura em que o vento assume valor zero próximo à superfície, e depende do relevo e obstáculos. A variação da velocidade do vento é dada por:

$$V_2 = \frac{V_1 \ln\left(\frac{h_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{z_0}\right)} \quad (1)$$

Onde: V_2 é a variação da velocidade com a altura vertical (m s^{-1}), V_1 é a velocidade a uma altura de referência (m s^{-1}), z_0 é o comprimento de rugosidade do terreno (m), h_1 é a própria altura de referência (m) e h_2 a altura desejada na captação (m). Os valores considerados para h_1 , h_2 e z_0 , foram, respectivamente, 10, 90 e 0,5 m.

Posterior a correção vertical da velocidade, estabeleceu-se as classes de velocidade do vento (m s^{-1}), de acordo com a referência do aerogerador modelo AGW 110/2.1.

Para avaliar o potencial eólico da região, utilizou-se a distribuição de probabilidade de Weibull, calculando a velocidade média (v_m) e o desvio padrão (σ) de todas as velocidades corrigidas pela Equação (1). Após esse procedimento, e considerando cada valor das classes de vento (m s^{-1}), além das Equações 2 e 3 dos parâmetros de forma e de escala, onde o denominador é uma função Gama, foi possível calcular a frequência da velocidade do vento pela distribuição de Weibull. Os parâmetros de forma, escala e a distribuição de probabilidade de Weibull foram calculados, respectivamente, por:

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_m} \right)^{-1,086} \quad (2)$$

$$A = \frac{v_m}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (3)$$

$$f(v) = \frac{k}{A} \left(\frac{v}{A} \right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{A}\right)^k\right) \quad (4)$$

Onde: k é o parâmetro de forma (adimensional), V_m a velocidade média do vento (m s^{-1}), A o parâmetro de escala (m s^{-1}) e v é o intervalo de classe do vento (m s^{-1}).

A quarta etapa para o dimensionamento consistiu na verificação do valor total da energia que é gerada por um aerogerador no ano e o percentual do fator de capacidade. Salienta-se que, o cálculo da produção energética para fins de projeto de geração de energia é uma das tarefas mais importantes, pois permite avaliar a quantidade necessária de aerogeradores para suprir determinada demanda. Além disso, deve-se levar em consideração que a energia anual gerada por uma turbina específica varia de acordo com o local de instalação. Já o fator de capacidade, permite avaliar o potencial eólico da região e pode ser interpretado como o percentual de aproveitamento do total da potência máxima instalada, sendo dependente das características do aerogerador e do local.

A última etapa consistiu no cálculo da energia anual gerada (EAG), sendo necessário obter os valores da curva de potência (kW) da turbina do aerogerador de estudo. A energia gerada pode ser calculada pela Equação (5).

$$E = f(v) \times C_p \quad (5)$$

Onde: E é a energia (kW), $f(v)$ a distribuição de Weibull e C_p os valores da curva de potência do aerogerador modelo.

A Equação (6) apresenta a energia anual gerada pelo aerogerador AGW 110/2.1, e a Equação (7) o fator de capacidade (FC) eólico da região de estudo.

$$EAG = \sum E \quad (6)$$

$$FC = \frac{EAG}{(P_n \times 8760)} \times 100 \quad (7)$$

Onde: EAG é a energia anual gerada (kWh ano^{-1}), $\sum E$ é o total da energia gerada em um ano, em todas as classes de vento (kWh), FC o fator de capacidade (%) e P_n a potência máxima/nominal da turbina do aerogerador (kW).

O número de aerogeradores necessários para atender a demanda de geração da CGH foi calculado por:

$$N_a = \frac{E_{dem}}{EAG} \quad (8)$$

Onde: E_{dem} é a energia gerada pela CGH por ano (MWh ano^{-1}).

Dimensionamento do parque solar

Para dimensionar a capacidade de geração do parque fotovoltaico utilizou-se a metodologia proposta por Pinho e Galdino (2014). O modelo de painel fotovoltaico escolhido foi o CS3U-355P com potência unitária de 355W da fabricante Canadian Solar, o qual atendeu aos seguintes pré-requisitos: aplicação em sistemas on-grid (conectado à rede), usinas e parques solares. A quantidade de módulos necessários para instalação foi calculada por:

$$E_{req} = \frac{E_{dem}}{\eta_i} \quad (9)$$

Onde: E_{req} é a energia total requerida pelo painel (kWh ano^{-1}), E_{dem} a demanda energética da hidrelétrica (kWh ano^{-1}) e η_i a eficiência do componente/inversor (%).

Após encontrar a E_{req} , fez-se necessário calcular o tempo médio de radiação solar local, e o quanto cada painel C23U-355P gera de energia por dia. A radiação solar local foi obtida por meio de uma média mensal referente a três anos de dados de radiação global (kJ m^{-2}). A radiação incidente no plano dos módulos foi convertida para o seu valor médio diário de $\text{kWh m}^{-2}\text{d}^{-1}$, e posteriormente em HSP (horas de sol pleno). O número de módulos foi calculado por:

$$N_m = \frac{E_{req}}{E_{out} \times 365} \quad (10)$$

Onde: N_m é a quantidade de módulos e E_{out} a energia de saída do componente dada em kWh d^{-1} .

Avaliação da complementaridade energética entre fontes de energia

A presença ou ausência de complementaridade entre as três fontes de energia foi verificada visualmente nos gráficos de vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), velocidade do vento (m s^{-1}) e radiação solar ($\text{kWh m}^{-2}\text{d}^{-1}$). Também foi feita uma análise dos recursos eólicos e solar, por meio do coeficiente de Pearson, conforme recomendam Jurasz *et al.* (2020), Fausto e Guillermo (2022) e Gallardo (2022). A análise de ocorrência da ausência ou presença de complementaridade foi verificada por:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (11)$$

Onde: x_1, x_2, \dots, x_n e y_1, y_2, \dots, y_n são os valores de medição de vento, radiação solar e vazão, \bar{x} e \bar{y} são as médias aritméticas de vento, radiação solar e vazão.

Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta o dimensionamento do parque eólico para atender a capacidade de geração de energia da CGH Caveiras.

Variável	Sigla	Valor encontrado
Energia anual gerada por aerogerador	EAG	4625,6 MWh ano ⁻¹
Energia anual gerada pelo parque eólico	EAG	23127,8 MWh ano ⁻¹
Fator de capacidade	FC	25,14%
Potência nominal do aerogerador	P_n	2,1 MW
Produção elétrica anual da CGH	P	21537,5 MWh ano ⁻¹
Número de aerogeradores	N_a	5 aerogeradores

Tabela 2: Valores obtidos no dimensionamento do parque eólico.

Observa-se que, um aerogerador AGW 110/2.1 produz 4625,6 MWh ano⁻¹, considerando o fato de que as turbinas estão disponíveis para geração 100% do tempo, o que remete a um cenário otimista em relação ao modelo escolhido. Já o FC obtido foi de 25,14%, sendo satisfatório quando se utiliza dados medidos para um período de 3 anos, o qual permite obter um valor mínimo de eficiência de 20%. No mundo, segundo Amaral (2011) a média do FC é de 27%, sendo que na região nordeste do Brasil (Ceará e Rio Grande do Norte), onde os ventos apresentam uma boa distribuição anual, a média é bem maior, ficando entre 40% a 45%. No dimensionamento do parque eólico obteve-se uma quantidade relativamente baixa de aerogeradores (5), para atender a mesma demanda anual da CGH Caveiras (21537,5 MWh), mostrando que o projeto é viável, dada os fatores analisados. A Figura 3 mostra a distribuição de probabilidade de Weibull das classes de velocidades do vento da turbina eólica.

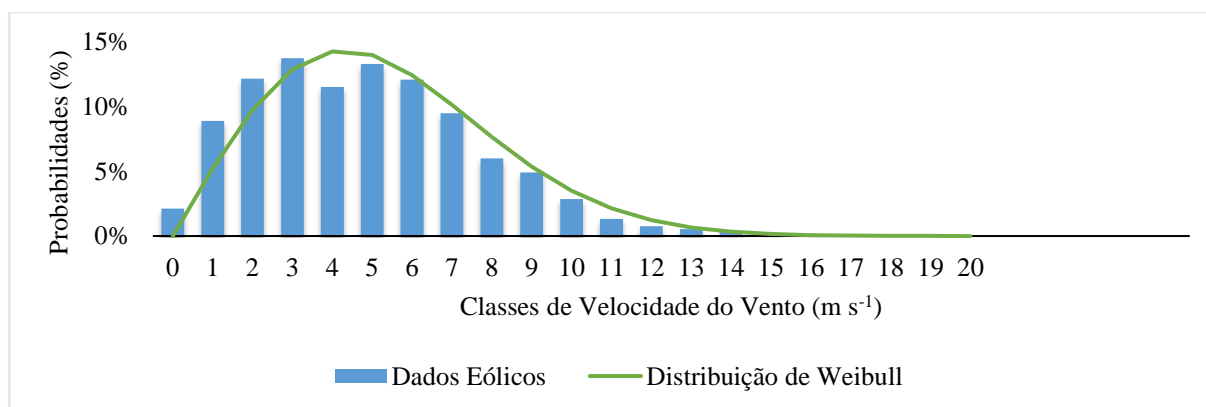


Figura 3: Distribuição de probabilidades de Weibull das classes de velocidade do vento.

Verifica-se pela distribuição de probabilidades de Weibull que a velocidade do vento se manteve normal em todas as classes, com exceção da 4 ($0,1149 \text{ m s}^{-1}$), que pode ter sido subestimada devido às falhas existentes na série de dados utilizada. Os resultados mostram que o modelo de turbina escolhido para o dimensionamento do parque eólico, apresentou uma distribuição uniforme, com o vento se comportando de forma intensa, laminar e com alta velocidade, sendo favorável para a geração de energia ao longo do ano. Ressalta-se que, os dados de vento foram obtidos da estação meteorológica (código A865) localizada na região central de Lages (SC), aproximadamente 11 km de distância da CHG Caveiras, podendo causar alterações no comportamento do vento. Além disso, o potencial eólico foi avaliado somente utilizando a distribuição de Weibull, dentre outras que poderiam vir a ser analisadas para complementar o estudo. A Tabela 3 apresenta o dimensionamento do parque solar fotovoltaico.

Variável	Sigla	Valor encontrado
Produção elétrica anual da CGH	E_{dem}	21537,5 MWh ano ⁻¹
Energia requerida pelos painéis	E_{req}	23158,6 MWh ano ⁻¹
Potência do módulo solar	P_{ms}	355 W
Radiação solar em Lages	t_{rad_loc}	4,31 h dia ⁻¹
Eficiência do painel	η_p	17,89%
Eficiência do inversor	η_i	93%
Número de módulos	N_m	42000 módulos

Tabela 3: Valores obtidos no dimensionamento do parque solar fotovoltaico.

Quanto ao dimensionamento do parque solar fotovoltaico, verifica-se na Tabela 3 que a radiação solar diária incidente na localidade de estudo foi de $4,31 \text{ kWh m}^{-2}$ (equivalente a $h \text{ dia}^{-1}$). Esse valor está abaixo da média nacional ($4,5 \text{ kWh m}^{-2}$ a $6,3 \text{ kWh m}^{-2}$) e da região sul ($4,44 \text{ kWh m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) para o aproveitamento de energia elétrica, conforme comentam Pereira *et al.* (2017). Entretanto, mesmo estando abaixo da média nacional e da região sul, esse valor é aceitável para projetos de sistemas fotovoltaicos, conforme recomendam Pinho e Galdino (2014), pois está dentro das exigências mínimas de irradiação solar que são de 3 a $4 \text{ kWh m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Dessa forma, não se descarta a possibilidade de instalação de um parque solar fotovoltaico na localidade, considerando que foi calculado a nível de projeto. Na Alemanha, por exemplo, a irradiação anual equivale a cerca de 1200 kWh m^{-2} , que corresponde à $3,28 \text{ kWh m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, e apesar de apresentar condições meteorológicas menos favoráveis que o Brasil, sua capacidade de aproveitamento da energia solar é muito superior (JÚNIOR; SOUZA, 2020).

Para o aproveitamento fotovoltaico foi necessário calcular a energia requerida pelos painéis ($E_{req} = 23158,6 \text{ MWh ano}^{-1}$), considerando a eficiência do inversor escolhido (93%). Salienta-se que 1 módulo solar para o modelo escolhido, é capaz de produzir $558,45 \text{ kWh ano}^{-1}$, sendo então necessário 42000 módulos para suprir a demanda anual da CGH Caveiras, que ocupa uma área de $0,09 \text{ km}^2$. Esse resultado é satisfatório, quando se compara com uma usina fotovoltaica como a Waldpolenz da Alemanha, que possui 550000 módulos instalados em uma área de $2,2 \text{ km}^2$, produzindo cerca de 40 MW ano^{-1} (PEREIRA, 2013), o dobro da CGH Caveiras.

Assim, a implantação de um parque solar fotovoltaico pode ser uma solução viável para a região, na perspectiva de ocorrer uma seca severa como a de 2018, quando a CGH Caveiras teve sua produção de energia afetada (maio e junho), devido a influência do El Niño conforme mostra a Figura 4. Importante destacar que nesse período ocorreu uma variabilidade climática interanual, resultando em vários eventos extremos (chuvas intensas e secas severas), devido à transição de La Niña (2017 a 2018) e El Niño (2018 a 2019). Neste aspecto, ressalta-se a importância de utilizar mais de uma alternativa como fonte de energia, para minimizar os efeitos da seca na região, pois a mesma não ficará dependente de uma única fonte.

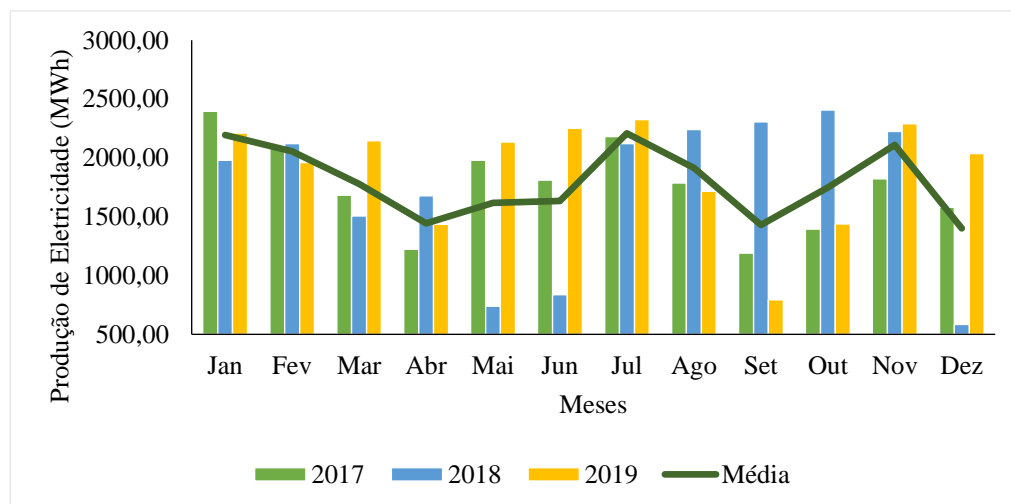


Figura 4: Produção de energia elétrica mensal na CGH Caveiras para o período de 2017 a 2018.

A Figura 5 ilustra o hidrograma do rio Caveiras, onde está localizada a CGH, para os 3 anos de análise.

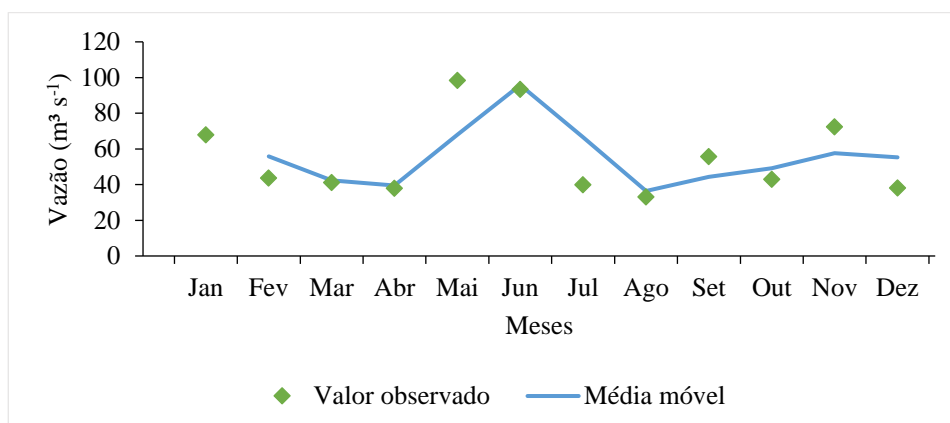


Figura 5: Hidrograma do rio Caveiras determinado pela média móvel para o período de 2017 a 2019, com dados da estação da ANA (código 71655000).

Nos meses de abril, maio e junho a chuva média mensal para o período analisado foi superior a 60 mm, medida na estação pluviométrica (código 2750007), o que pode ter causado um aumento da vazão do rio Caveiras, conforme a Figura 5.

Nas Figuras 6 e 7 observa-se que, a velocidade do vento e a incidência de radiação solar para os 3 anos analisados, tiveram uma distribuição semelhante, sendo característico das condições climáticas locais. Entretanto, deve-se considerar as variações do clima por influências de fenômenos climáticos interanuais, como El Niño e La Niña. Wahrlich *et al.* (2021) analisaram os padrões de vento nos municípios de Chapecó, Campos Novos, Lages, Indaial e Florianópolis, para um período de 42 anos de dados observados em estações meteorológicas. Esses autores verificaram que na localidade de Lages os ventos tendem a ter uma maior velocidade na primavera (setembro a dezembro), confirmando os resultados encontrados no presente trabalho.

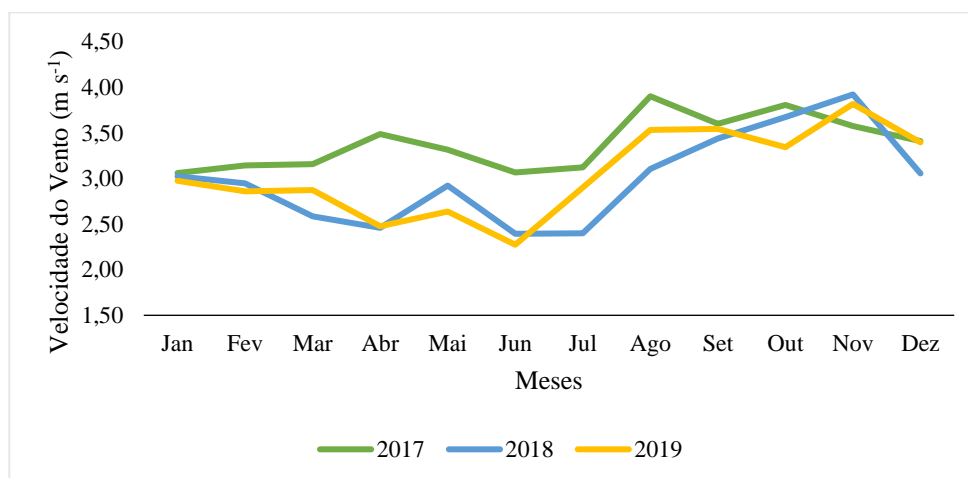


Figura 6: Série eólica analisada para o período de 2017 a 2019.

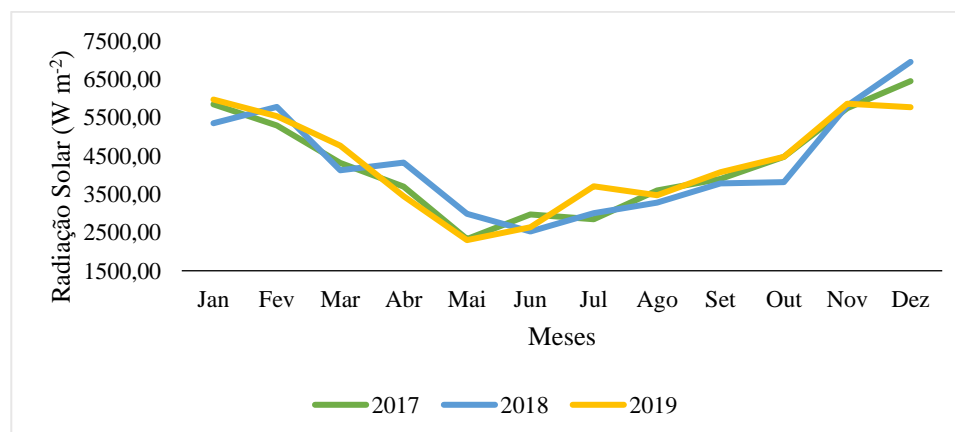


Figura 7: Série solar analisada para o período de 2017 a 2019.

As Figuras 8 e 9 mostram a ocorrência de complementaridade entre as fontes de energia hidráulica, eólica e solar fotovoltaica.

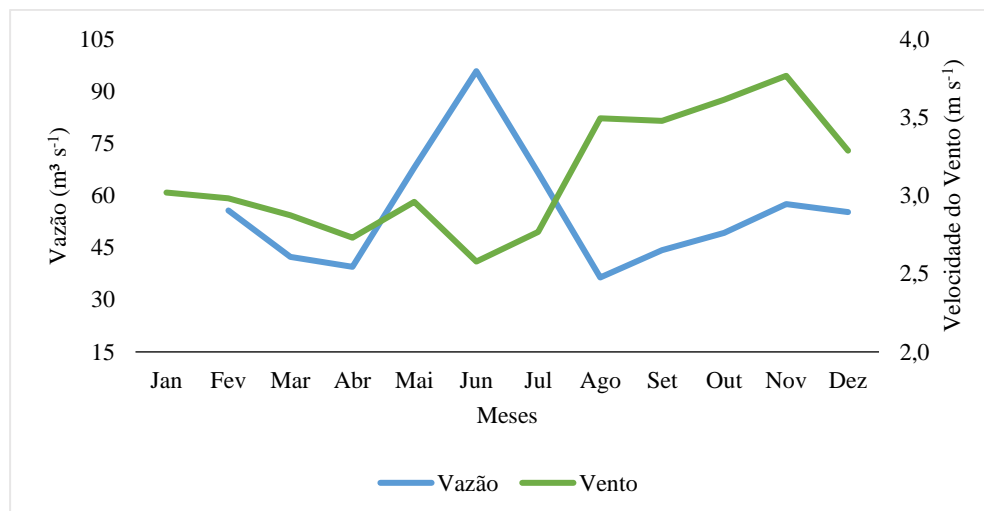


Figura 8: Complementaridade entre as energias hidráulica e eólica.

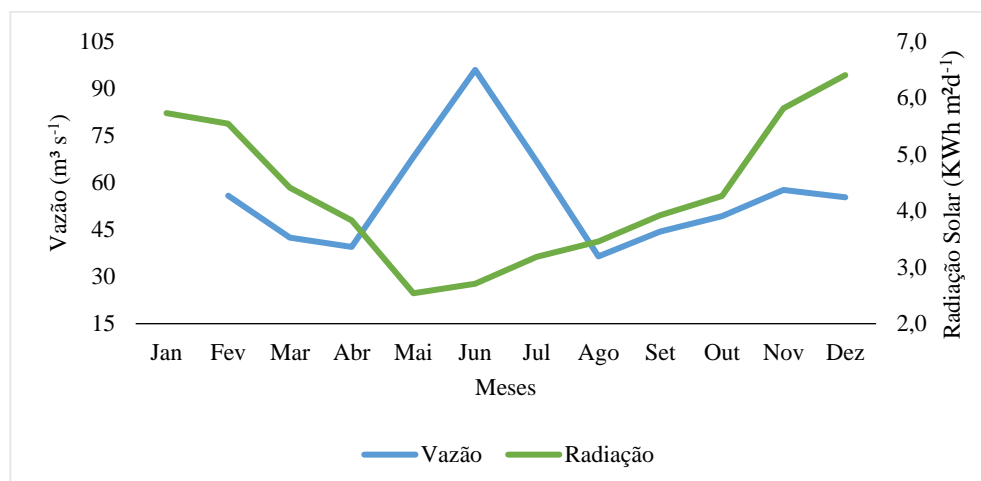


Figura 9: Complementaridade entre as energias hidráulica e solar.

Analisando a Figura 8 observa-se que nos meses de abril e junho, a geração de energia hidráulica supera a eólica. Já de julho a dezembro, a incidência de vento na região é mais intensa, o que contribui positivamente para a utilização de aerogeradores para produção de energia elétrica. Também isso ocorre em relação às fontes de energia hidráulica e solar fotovoltaica (Figura 9). Entretanto, o período mais propício para a geração de energia solar ocorre de agosto a dezembro, e de janeiro a março, confirmando a ocorrência de complementaridade entre os recursos. Na Tabela 4 é possível evidenciar a complementaridade entre as fontes por meio do coeficiente de Pearson.

Complementaridade	Coefficiente de Pearson
Energia Solar X Energia Eólica	0,41
Energia Hidráulica X Energia Eólica	-0,39
Energia Hidráulica X Energia Solar	-0,32

Tabela 4: Análise estatística da complementaridade.

Os coeficientes de Pearson evidenciam que, quando a vazão do rio diminui, há maior disponibilidade de vento e radiação solar na região. Já em relação às fontes solar e eólica não há complementaridade, visto que o coeficiente de Pearson foi positivo (0,41), indicando que os recursos são semelhantes em termos de disponibilidade.

Considerações Finais

O presente estudo objetivou avaliar a complementaridade entre três fontes de energia, e realizar o dimensionamento de dois parques (eólico e solar fotovoltaico), visando atender a demanda de geração de energia da CGH Caveiras, localizada na

região de Lages (SC). O coeficiente de Pearson foi utilizado para avaliar a ocorrência de complementaridade com base em dados de radiação solar, velocidade do vento e vazão para o período de 2017 a 2019.

Com base nos dados meteorológicos verificou-se que há complementaridade entre as fontes de energia hidráulica e eólica, bem como hidráulica e solar, nos meses de julho a dezembro, e de agosto a dezembro, respectivamente. No entanto, o fator de capacidade (25,14%) e a pequena quantidade de aerogeradores necessários para geração de energia (5), mostraram que a fonte eólica é mais favorável que a solar para suprir a demanda da região em períodos de seca extrema, quando a produção da CGH é afetada. Apesar da radiação solar incidente na região de estudo estar abaixo das médias nacional e do sul do Brasil, essa fonte de geração de energia também é viável, pois está dentro dos limites mínimos estabelecidos para esse tipo de aproveitamento no país.

Cabe ressaltar que o presente estudo utilizou dados de radiação solar, velocidade do vento, chuva e vazão num período em que ocorreu a transição entre El Niño e La Niña, permitindo avaliar a influência das variações climáticas da região.

Por fim, considerando que as fontes eólica e solar são menos poluentes e não causam impactos ambientais significativos em sua utilização, torna-se importante estudos desta natureza para a gestão e gerenciamento da geração de energia no país.

Para estudos futuros recomenda-se: medições de velocidade do vento no local da CGH, tendo em vista que os dados obtidos foram de uma estação meteorológica localizada na parte central do município de Lages; análise mais aprofundada para avaliação do potencial eólico usando outras distribuições de probabilidade; e avaliação da viabilidade econômica de um sistema híbrido para geração de energia.

Agradecimentos

As Autoras agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – Brasil (PROAP/AUXPE) e da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) sob Termo de Outorga No. 2021TR912.

Referências Bibliográficas

Amaral, B.M. 2011. **Modelos VARX para geração de cenários de vento e vazão aplicados à comercialização de energia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), 155 p.

Ananias, A. M. **Impactos ambientais da construção e operação de Usinas Hidrelétricas Reversíveis no Brasil**. 2022. TCC (Graduação), 71 p.

Aza-Gnandji, M.; Fifatin, F.X.; Hounnou, A.H.J.; Dubas, F.; Chamagne, D.; Espanet, C.; Vianou, A. 2018. Complementarity between Solar and Wind Energy Potentials in Benin Republic. **Adv. Eng. Forum**, p. 128–138.

Beluco, A.; Risso, A.; Canales, F. A. 2019. Simplified evaluation of energetic complementarity based on monthly average data. **MethodsX**, v. 6, p. 1194-1198.

Brasil. 2022. **Balanco Energético Nacional 2021: Ano base 2020**. Rio de Janeiro: EPE, 2021.

Campos, R.A. 2020. **Análise da complementaridade de geração de usinas solar e eólica e o papel do armazenamento de energia para usinas híbridas**. Dissertação (Mestrado), 87 p.

Campos, D.R.O.; Rodrigues, K.S.; Melgaço, J.C.A. 2022. **Impactos e consequências ambientais causados pela instituição de mecanismos geradores de energia**. *Ânima Educação*, 31 p.

Canales, F.A.; Jurasz, J.; Beluco, A.; Kies, A. 2020. Assessing temporal complementarity between three variable energy sources through correlation and compromise programming, **Energy**, v. 192.

Custódio, D.; Lorusso, J.; Cavalcante, L.A.N.; Lopes, R.F. 2022. **Usinas hidrelétricas e seus impactos ambientais**. Anais da Exposição Anual de Tecnologia, Educação, Cultura, Ciências e Arte do Instituto Federal de São Paulo, v. 2.

Diel, T. **Operação em tempo real no Centro de Operação da Geração (COG) do Parque Gerador da Celesc Geração em 2019**. TCC (Graduação), 102 p.

Eifler Neto, E.E.; Souza, J.; Beluco, A.; Risso, A.; Rossini, E.G. 2020. Effects of complementarity in time between wind and water resources on the performance of a wind hydro hybrid system in northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Development Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n.5, p. 30462-30478.

Fausto, A.C.; Guillermo, J.A. 2022. Chapter 2 - Metrics and indices used for the evaluation of energetic complementarity – a review. **Complementarity of Variable Renewable Energy Sources**, p. 35-55.

Ferreira, R.S. 2020. The negative effects caused by the construction and operation of hydroelectric plants. **Research, Society and Development**, 9(7):1-14.

Getirana, A.; Libonati, R.; Cataldi, M. 2021. Brazil is in water crisis – it needs a drought plan. **Nature**, v. 600, p. 218-220.

Gallardo, R.P. 2022. Chapter 12 – A comparative study of correlation coefficients used to assess the solar and wind complementarity in Mexico. **Complementarity of Variable Renewable Energy Sources**, p. 269-290.

Henaó, F.; Rodríguez, Y.; Viteri, J.P.; Dyner, I. 2019. Optimising the insertion of renewables in the Colombian power sector. **Renewable Energy**, v. 132, p. 81-92.

Júnior, O.M.; Souza, C.C. 2020. Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha. **Interações (Campo Grande)**, p. 379–387.

Jurasz, J. *et al.* 2020. A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions. **Solar Energy**, v. 195, p. 703–724.

Pereira, J.F.M. 2013. **Considerações a respeito da matriz energética de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado), 135 p.

Pereira, E.B. *et al.* 2017. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: Inpe, 2017.

Pinho, J.T.; Galdino, M.A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPREL-CRESESB, 2014.

Pinto, M. O. **Fundamentos de Energia Eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

Rabaia, M.K.H.; Abdelkareem, M.A.; Sayed, E.T.; Elsaid, K.; Chae, K.J.; Wilberforce, T.; Olabi, A.G. 2021. Environmental impacts of solar energy systems: A review. **Science of the Total Environment**, v. 754, 141989.

Wahrlich, J.; Silva, F.A.; Campos, C.G.C.; Rodrigues, M.L.G.; Medeiros, J. 2021. Characterization of the predominant wind speed and direction in Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23.

Xu, Y.; Li, J.; Tan, Q.; Peters, A.L.; Yang, C. 2018. Global status of recycling waste solar panels: A review. **Waste Management**, v. 75, 450-458.

Zhang, H.; Cao, Y.; Zhang, Y.; Terzija, V. 2018. Quantitative synergy assessment of regional wind-solar energy resources based on MERRA reanalysis data. **Applied Energy**, v. 216, p. 172-182.

ENERGIAS RENOVÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: IMPACTOS ECONÔMICOS, SOCIAIS E AMBIENTAIS

¹Rodrigo Pereira de Sousa, ²Cicero Joelson Vieira Silva

¹Instituto Federal da Paraíba-IFPB, e-mail: rodrigosp7@gmail.com; ²Instituto Federal da Paraíba-IFPB, e-mail: cjoelson@ymail.com

Palavras-chave: Energias renováveis; Construção civil; Impactos.

Resumo

A necessidade urgente de utilizar fontes renováveis de energia vem crescendo cada vez mais no mundo devido aos sérios problemas climáticos que nosso planeta enfrenta. Na construção civil não é diferente, sendo um dos setores que é responsável por mais consumir energia elétrica, é de fundamental importância a implementação e expansão do uso de energia limpa. Nessa perspectiva, busca-se através deste trabalho aprofundar a análise dos impactos, econômicos, sociais e ambientais da indústria da construção civil no consumo de energia, destacando a proteção crucial das fontes de energia renovável para promover a sustentabilidade nas edificações, bem como evidenciar o potencial do setor brasileiro quanto a essa questão. Para isso, adotou-se um estudo de abordagem descritiva e indutiva de caráter básico, baseado em uma revisão bibliográfica. Foram selecionadas diversas plataformas de pesquisa para obter perspectivas variadas sobre o uso de energias renováveis. Foram selecionados exemplares relevantes, atualizados e de autores renomados. Além da elaboração de fichamentos para organizar as informações encontradas. A pesquisa trouxe um debate, em um contexto global, mostrando que a transição para energias renováveis, torna-se uma medida de extrema importância para combater as mudanças climáticas e seus efeitos devastadores. Na indústria da construção civil, essa transição oferece uma alternativa promissora e ambientalmente amigável para a geração de energia. Em âmbito nacional, o Brasil é um país privilegiado para o desenvolvimento dessa indústria, com características de fauna e flora propícias à expansão do meio. No aspecto social, a adoção de energias renováveis destaca-se pela contribuição significativa para melhorar a qualidade do ar e promover a saúde pública. Outro ponto relevante é o impulso econômico e tecnológico proporcionado pela transição dessas fontes. A expansão da indústria de energias limpas cria novas oportunidades de emprego, estimula a inovação tecnológica e atrai investimentos em setores relacionados. Isso não apenas fortalece a economia, mas também fomenta o desenvolvimento sustentável em diferentes áreas, gerando benefícios a longo prazo para a sociedade como um todo. Diante desse cenário, é fundamental que decisões políticas e estratégicas sejam baseadas em análises completas e dados confiáveis. A promoção de políticas públicas favoráveis às energias renováveis, o incentivo a investimentos em pesquisa e desenvolvimento, bem como a conscientização da população sobre a importância da transição energética, são fatores cruciais para garantir um futuro mais seguro, saudável e ambientalmente responsável. Em síntese, a transição para fontes de energia renovável é uma necessidade incontestável na luta contra os desafios ambientais e climáticos globais.

Introdução

A Construção Civil é uma das atividades mais relevantes para o desenvolvimento econômico e social no mundo. No entanto, é importante ressaltar que, ao mesmo tempo, ela também é responsável por gerar severos impactos ao meio ambiente. A cadeia produtiva desse setor consome em média entre 20% e 50% dos recursos naturais do planeta, o que requer a busca por práticas mais atraentes. É urgente adotar tecnologias e soluções ecológicas que minimizem a degradação ambiental, garantindo um futuro mais equilibrado e sustentável para todos (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

O consumo de energia elétrica está diretamente ligado com a construção civil, segundo Marques (2017), esse campo de atividade apresenta uma utilização desses recursos pouco eficiente, tendo uma oportunidade significativa para reduzi-la. No entanto, o setor ainda encontra obstáculos consideráveis ao tentar melhorar a eficácia energética ao longo e após a conclusão das construções, já que é responsável por uma das maiores demandas de energia globalmente.

A questão energética global enfrenta um desafio significativo, pois o aproveitamento da energia não renovável ainda prevalece. Esse é um dos temas que vem sendo amplamente debatido mundialmente, o aproveitamento ainda não alcançou um patamar elevado, pois a maior parte da energia consumida no mundo é proveniente de fontes não renováveis, seja de origem mineral ou atômica (AZEVEDO, 2017).

Segundo Nascimento (2016), a crescente dependência de fontes não renováveis de energia traz preocupações constantes sobre seu esgotamento e as emissões de gases poluentes. Esse consumo excessivo gera problemas ambientais, sociais e econômicos em escala global. Os impactos ambientais provenientes da obtenção de energia têm um efeito significativo no desenvolvimento sustentável, tornando-os essenciais compreendê-los para analisar a implementação de projetos e planejamentos energéticos (INATOMI, 2023).

Visto esse cenário, a melhor opção para diminuição de emissão de gases poluentes devido a produção de energia, é o uso de energias renováveis. Nelas os recursos naturais empregados possuem a capacidade de proteção, sendo considerados inesgotáveis. Essa característica contribui para reduzir o impacto ambiental e evitar o uso de matéria-prima não renovável, promovendo um ambiente mais limpo (NASCIMENTO, 2016).

Ao adotar recursos energéticos renováveis, possibilita-se o alcance de uma utilização de energia limpa e sustentável. A crescente competitividade dessas tecnologias em diferentes países e cenários é notável, porém, ainda são necessários incentivos para promover sua implementação em diversas situações (MAGRASSI, 2019). Krell e Souza (2020) destacam que, na busca por um caminho em direção ao desenvolvimento sustentável, a produção de energia através de fontes renováveis desempenha um papel essencial. Essas fontes têm o potencial de mitigar os problemas ambientais associados aos combustíveis fósseis, priorizando a preservação do meio ambiente.

O Brasil possui um grande potencial para o crescimento das energias renováveis devido à sua abundância de recursos naturais garantidos, como sol, vento e água. Além disso, o país já possui uma matriz energética dependente de fontes renováveis, como hidrelétricas, com mais investimentos no setor e políticas públicas eficientes o país pode ser referência no setor. Essa extensão da produção de energia por meio de fontes renováveis teria efeitos positivos em diversos aspectos. Além de sustentar o crescimento econômico do país e combater a degradação ambiental, abriria espaço para o país assumir uma posição de liderança no cenário internacional e aumentar sua competitividade em relação aos demais (BONDARIK, 2018).

Entretanto, o Brasil ainda enfrenta desafios para atingir uma produção de energia eficiente baseada em fontes renováveis. Losekann e Tavares (2020), apontam que a matriz energética do país é majoritariamente composta por fontes não renováveis, sendo os combustíveis fósseis responsáveis por mais da metade da energia gerada (56,5%). Isso resulta na ausência de uma matriz energética ambientalmente sustentável. Embora as usinas hidrelétricas dominem a matriz elétrica nacional, essa dependência não pode ser mantida, e é preciso buscar alternativas para alcançar uma maior diversificação e sustentabilidade energética no país.

Com o propósito de enriquecer a discussão acerca do tema, o presente trabalho se dedica a analisar os impactos econômicos, sociais e ambientais das energias renováveis para a indústria da construção civil. Além disso, busca-se destacar o potencial que o Brasil tem para o uso de tais fontes, evidenciando-as como uma alternativa energética promissora e uma valiosa aliada na redução das emissões de gases de efeito estufa.

Fundamentação teórica

Sustentabilidade

O termo "sustentabilidade" tem origem no latim "sustentare", que engloba conceitos como sustentar, apoiar, conservar em bom estado, manter e resistir. A sustentabilidade ambiental busca assegurar uma vida mais digna para as pessoas em condições precárias, ao mesmo tempo em que preserva os recursos naturais. O desenvolvimento sustentável não se limita a um equilíbrio entre os aspectos ecológicos e biológicos, abrangendo todos os elementos do meio ambiente, sejam naturais, artificiais ou culturais (KRELL; SOUZA, 2020). Atualmente, a busca pela sustentabilidade é reconhecida como um dos maiores desafios globais, pensando que o desenvolvimento caminha em paralelo com a preservação do meio ambiente e o equilíbrio social.

Trabalhar em prol da sustentabilidade implica em adotar práticas responsáveis e conscientes, garantindo a satisfação das necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras. Segundo Diniz (2015), ao fazer uma avaliação do desenvolvimento sustentável das organizações, destaca-se o envolvimento de três dimensões básicas: econômica, social e ambiental. No aspecto econômico, é essencial garantir a viabilidade financeira da empresa. No contexto social, é importante proporcionar condições de trabalho adequadas e promover a diversidade cultural. No âmbito ambiental, deve-se priorizar a ecoeficiência dos processos produtivos, estabelecendo uma cultura organizacional comprometida com a preservação do meio ambiente.

Sustentabilidade x construção civil

A indústria da construção civil é uma das principais geradoras de impactos ambientais, e influenciam diretamente na qualidade de vida da sociedade, sendo alguns desses impactos inevitáveis, conforme Figura 1. No entanto, é possível e necessário reduzir tais impactos por meio da adoção de medidas mitigadoras ou corretivas. O desenvolvimento e implementação de novas tecnologias, métodos e produtos sustentáveis são essenciais para otimizar o uso e a qualidade dos recursos, além de reduzir o desperdício (SILVA, 2020).



Figura 1 – Impactos Ambientais Provenientes da Construção Civil; Fonte: Nações Unidas Brasil – ONU (2021)

A implementação de medidas ambientais nessa indústria é de extrema importância para sustentar a igualdade social, promover aspectos culturais e alcançar maior eficiência econômica. Além disso, visa reduzir o impacto ambiental em todas as fases do ciclo de vida das edificações: projeto, construção, utilização, reutilização e reciclagem. Essa abordagem tem como objetivo garantir a distribuição equitativa da matéria-prima e tornar as cidades e seus povos mais competitivos no contexto do desenvolvimento sustentável (SEVERIANO JUNIOR, 2021). Para alcançar uma construção mais limpa, é fundamental adotar princípios básicos, como a redução e otimização do consumo de materiais e energia, a redução dos resíduos gerados e o uso racional de água. Além disso, é importante aproveitar as condições naturais locais, preservar o ambiente natural e melhorar a qualidade do ambiente construído. Essas ações colaboram para um desenvolvimento mais responsável e equilibrado do setor da construção (SUL, 2013).

Energias renováveis

Os impactos provenientes da construção civil estão relacionados principalmente ao consumo de recursos naturais e energia, além da geração de resíduos. Esses impactos ocorrem tanto durante a fase de construção quanto no período de utilização dos edifícios. É vital buscar soluções eficientes para mitigar esses efeitos negativos ao meio ambiente ao longo de todo o ciclo de vida das edificações (SEVERIANO JUNIOR, 2021).

Conforme um estudo conduzido pela Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), se houver uma implementação de 2/3 de fontes renováveis na geração mundial de energia elétrica até 2050, é possível alcançar uma impressionante redução de 70% nas emissões do setor elétrico global. Esse cenário aponta para uma diminuição significativa do impacto ambiental e na emissão de gases, tornando evidente que a transição para uma matriz energética mais sustentável é não só viável, mas também imprescindível na luta contra as mudanças climáticas e na promoção de um futuro mais limpo e saudável para o nosso planeta.

O Brasil é um grande produtor de energias renováveis, de acordo com o Balanço Energético Nacional – BEN (2021), o país dispõe de uma matriz elétrica predominantemente baseada em fontes renováveis, destacando-se a fonte hídrica, que corresponde a 65,2% da oferta interna. As fontes renováveis, no geral, representam 84,8% da oferta interna de eletricidade no país, considerando tanto a produção nacional quanto as independentes, que também são majoritariamente de origem renovável. Nesse contexto, o setor elétrico brasileiro precisa buscar uma diversificação do mix de geração de eletricidade, levando em conta o potencial de crescimento das diversas fontes renováveis disponíveis. É determinante aproveitar os programas governamentais de incentivo à geração de eletricidade a partir de fontes limpas para garantir a sustentabilidade e a segurança energética do país (BONDARIK, 2018).

A implementação de fontes renováveis desempenha um papel chave na promoção da sustentabilidade ambiental. Ao adotar fontes como energia solar, eólica, hidrelétrica e geotérmica, vide Figura 2, é possível reduzir a emissão de gases de efeito estufa e diminuir a dependência de recursos não renováveis, contribuindo para a preservação do meio ambiente e a economia de recursos naturais. Além disso, tais iniciativas podem resultar em redução dos custos operacionais a longo prazo, impulsionar a inovação tecnológica e fortalecer a responsabilidade social corporativa das empresas envolvidas no setor (CORRÊA, 2020).

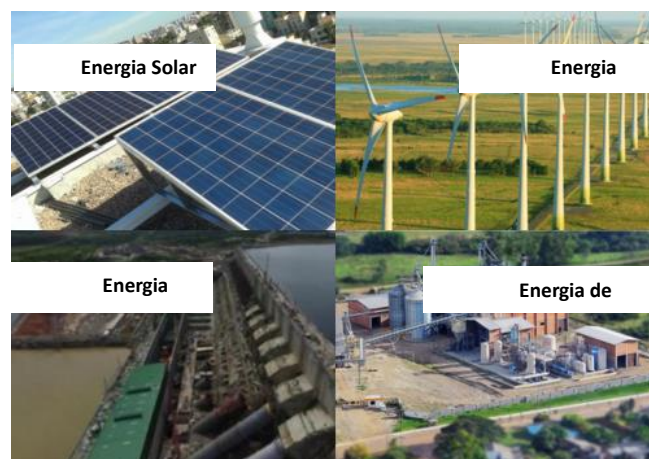


Figura 2 - Fontes de Energias Renováveis; Fonte: Fernandes (2016)

Materiais e métodos

Em relação aos aspectos metodológicos, o trabalho detém-se de uma revisão bibliográfica com uma abordagem qualitativa. Segundo González (2020), quando se refere a "Pesquisa Qualitativa" de maneira geral, não se refere a uma única entidade; ao contrário, essa expressão possui um caráter polissêmico, abarcando diversas práticas de investigação social. Assim, o escopo dessa pesquisa é amplo e variado, apresentando diversas características que são exploradas na literatura especializada.

No âmbito acadêmico, o uso de pesquisa qualitativa na investigação de fenômenos sociais tem sido amplamente aceita em diversas áreas. Junto com isso, surgem debates sobre a trajetória a seguir, as técnicas e instrumentos a empregar na busca do conhecimento. A construção e reconstrução de uma realidade específica são impulsionadas pela pergunta inicial, que orienta a definição do método a ser utilizado no processo de pesquisa (SOUSA; SANTOS, 2020).

Para alcançar o objetivo proposto nesta pesquisa, foram utilizadas ferramentas metodológicas de revisão sistemática bibliográfica e de literaturas, e análise das informações que forneceram suporte e embasamento para a análise dos dados coletados. Através da revisão, é possível conectar pesquisas com abordagens semelhantes e analisar as metodologias empregadas. Essa revisão oferece aos pesquisadores a oportunidade de desenvolver textos com uma perspectiva histórica sobre um tema específico, seja em âmbito nacional ou internacional, dependendo do escopo. Para o crescimento das pesquisas na área de estudo, é fundamental possuir expertise e conhecimento sólido como base (DORSA, 2020).

Revisão bibliográfica

Para a realização de uma busca sistemática na literatura, foram utilizadas diversas plataformas de pesquisa, como o Portal da CAPES, a Biblioteca Eletrônica Científica Online (SCIELO), o Science.gov, entre outros. Utilizando-se de palavras-chave relevantes, foram obtidos artigos científicos, livros, manuais, monografias, dissertações e teses relacionadas à temática proposta neste estudo.

Foram utilizados como critérios de inclusão os textos que tinham uma abordagem relevante sobre o assunto e trabalhos atuais, além da busca por autores renomados e instituições de pesquisa reconhecidas, garantindo a qualidade e a confiança das informações obtidas. Buscou-se também uma variedade de perspectivas, selecionando exemplares que apresentassem diferentes abordagens teóricas e visões. Isso permite uma análise mais abrangente e a compreensão das divergências e convergências entre os autores, enriquecendo o estudo com diferentes pontos de vista.

Elaboração de fichamentos

Para manter uma organização e clareza das ideias, foram elaborados fichamentos dos materiais utilizados para a pesquisa. Essa técnica foi adotada visando à organização e sistematização do conhecimento adquirido, o que facilita a elaboração subsequente do artigo científico, além de auxiliar na identificação das fontes e referências para a citação adequada dos autores consultados. Os fichamentos foram elaborados seguindo uma estrutura definida, contendo uma identificação completa da fonte, seguida por um resumo das principais informações e argumentos apresentados pelo autor, além de citações relevantes para a pesquisa. Essa abordagem garantiu uma forma eficaz de registrar e armazenar as informações necessárias para o desenvolvimento do estudo.

Foram considerados alguns critérios para a elaboração dos fichamentos, aspectos com: a) uma leitura atenta dos materiais, com o intuito de compreender integralmente o conteúdo e identificar informações relevantes; b) destaque de pontos-chave, como conceitos, teorias, argumentos e evidências apresentados pelos autores; c) resumo e síntese das informações mais relevantes de cada material, visando facilitar a consulta futura e a organização das informações; d) por fim, registro de citações utilizadas pelos autores, juntamente com as referências bibliográficas completas, garantindo a documentação correta e a citação das fontes. Esses aspectos foram considerados essenciais para a construção dos fichamentos.

Resultados e discussões

A demanda por energia primária, em 2022, teve um crescimento mais lento, registrando um aumento de apenas 1,1% em comparação com o avanço de 5,5% no ano anterior. As fontes renováveis contribuíram com apenas 7,5% na matriz energética global, apresentando um leve acréscimo de quase 1% em relação ao ano anterior, enquanto os combustíveis fósseis continuaram a dominar a maior parte, totalizando 82%. Esses números ressaltam a necessidade urgente de ampliar os esforços para a adoção de energias limpas e sustentáveis. O Relatório de Status Global de Renováveis 2021 (REN21), destaca que o cenário de risco de interrupções no fornecimento e os preços elevados dos combustíveis fósseis têm impulsionado consumidores de energia em todo o mundo a adotar sistemas de energia renovável no local e migrar para tecnologias eletrificadas em todos os setores de uso final (REN21, 2023).

Entre 2011 e 2021, o Consumo Total de Energia Final no Mundo (TFEC) aumentou em 16%. Nesse período, a contribuição das energias renováveis modernas no TFEC cresceu de 30 Exajoules (EJ) para 50 EJ. Apesar desse aumento na participação das energias renováveis, a parcela dos combustíveis fósseis no TFEC caiu de 81,2% em 2011 para 78,9% em 2021. No entanto, é importante notar que, durante esse mesmo período, o consumo geral de combustíveis fósseis aumentou em 35 EJ. Esses dados ressaltam a importância crescente das energias renováveis como uma alternativa promissora para a transição para uma matriz energética mais sustentável e com menor impacto ambiental. A Agência Internacional de Energias (IEA, 2022), afirma que o fornecimento de energias renováveis precisa acelerar para atingir cerca de 13% de expansão anualmente ao longo de 2023-2030 para se alinhar com o Cenário Zero Emissões (NZE). Apesar das adições recordes de capacidade de eletricidade renovável em 2022, o crescimento da oferta ainda estava significativamente abaixo desse nível. Será necessária uma implantação muito mais rápida de todas as tecnologias renováveis em todas as regiões do mundo para colocar o mundo no caminho certo com o Cenário NZE. O Gráfico 1 apresenta a distribuição da matriz energética mundial, destacando a significativa participação das energias não renováveis na oferta total de energia. É inadiável reconhecer essa realidade para que possamos compreender a importância de acelerar a transição para fontes de energia renovável, visando reduzir os impactos ambientais e garantir um futuro sustentável para as gerações futuras.

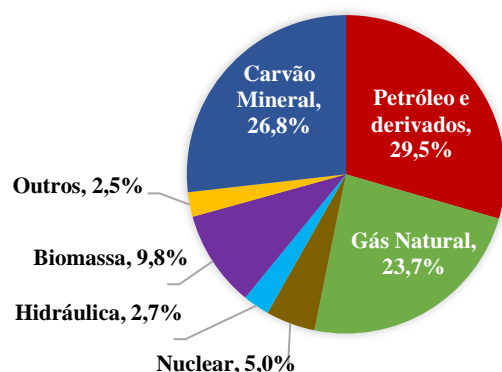


Gráfico 1 – Matriz energética mundial 2020; Fonte: Adaptado de IEA, 2022

É imprescindível aumentar o investimento em energias renováveis, pois elas apresentam vantagens notáveis em termos ambientais e econômicos. Em seu ciclo de vida, as energias renováveis emitem quantidades mínimas de carbono, contribuindo significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa e o combate às mudanças climáticas. Além disso, são fontes praticamente inexauríveis, garantindo uma oferta contínua e segura de energia no longo prazo.

Um dos principais benefícios das energias renováveis é a redução significativa na emissão de poluentes locais, como óxidos de nitrogênio, enxofre e partículas finas, resultando em um ar mais limpo e saudável para as comunidades ao redor. Isso contribui para a melhoria da qualidade de vida e a redução de problemas de saúde relacionados à poluição atmosférica. Outro aspecto importante é o potencial de geração de empregos que as energias renováveis oferecem. A transição para fontes limpas de energia impulsiona a criação de postos de trabalho em setores como instalação, manutenção, pesquisa e desenvolvimento de tecnologias sustentáveis. Essa expansão do mercado de trabalho pode fortalecer a economia local e global, ao mesmo tempo que contribui para uma matriz energética mais sustentável. De acordo com IEA (2022), no cenário NZE, as energias renováveis, principalmente as tecnologias eólica e solar, desempenham um papel determinante na redução global das emissões de CO₂ até 2030. Essas fontes oferecem uma alternativa viável ao investimento em novas usinas que utilizam combustíveis fósseis, além de substituírem as unidades de geração já existentes, positivamente para a meta de alcançar emissões líquidas zero.

O Brasil é um dos países que mais se destacam na produção de energias renováveis, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2022), a matriz energética brasileira se destaca pela sua diferença em relação à matriz mundial. Nela, o uso de fontes renováveis é mais expressivo do que em outras partes do mundo. Ao somar lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras fontes renováveis, elas representam 44,8% do total da matriz energética brasileira, quase a metade dela. O Gráfico 2 ilustra a composição da matriz de produção energética do Brasil.

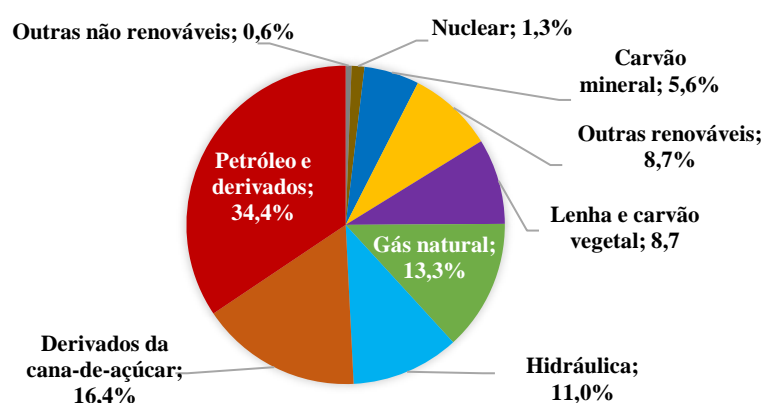


Gráfico 2 – Matriz energética brasileira 2021; Fonte: Adaptado de BEN, 2022

Ao realizar uma comparação entre as matrizes energéticas, torna-se evidente a significativa disparidade entre as produções de energias renováveis em âmbito mundial e nacional. Nesse contexto, o Gráfico 3 apresenta uma análise comparativa entre essas produções, proporcionando uma visão clara das diferenças e desafios que precisam ser enfrentados para impulsionar a transição para fontes mais sustentáveis de energia. Através da ilustração, pode-se identificar as oportunidades para ampliar o uso de energias renováveis em âmbito global e, ao mesmo tempo, avaliar o progresso nacional na adoção dessas fontes limpas e ecologicamente responsáveis.

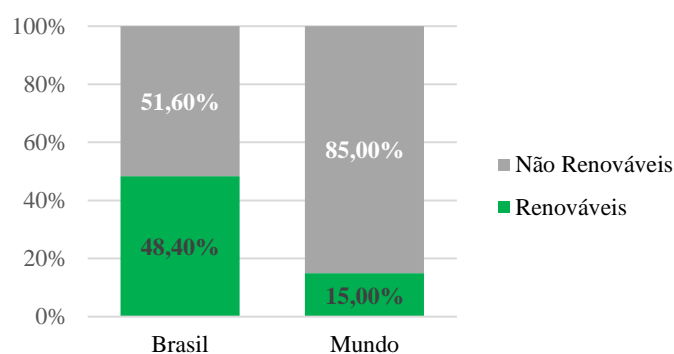


Gráfico 3 - Fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo em 2020; Fonte: Adaptado de EPE, 2022

A importância dessa característica em nossa matriz energética é significativa, pois são as fontes não renováveis as principais responsáveis pelas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Devido ao maior consumo de energia proveniente de fontes renováveis em comparação a outros países, a divisão das emissões de GEE pelo número total de habitantes no Brasil é mais favorável (EPE, 2022). Segundo Ben (2021), o país tem uma grande diversidade climática e a maior biodiversidade do planeta, com isso possui uma vantagem significativa em termos de disponibilidade de recursos naturais. Contudo, essa abundância exige um esforço considerável de gerenciamento para assegurar que a exploração desses recursos seja realizada de maneira sustentável, preservando o equilíbrio ambiental.

Um ponto relevante nos dados fornecidos pela EPE é o crescimento expressivo de mais de 50% na geração de energia eólica no Brasil entre 2015 e 2016. Esse avanço foi impulsionado pela inclusão das energias renováveis em leilões de energia a partir de 2009. No entanto, ainda é um valor considerado baixo em relação ao enorme potencial do país para produzir energia a partir dessa fonte. Por outro lado, a expansão da energia solar (fotovoltaica) ainda está em declínio. Somente em 2014 o governo passou a incluir a fonte solar em leilões de energia para abastecer o mercado regulado (KRELL; SOUZA, 2020).

A extensão territorial do Brasil e sua localização geográfica são fatores cruciais para a exploração das fontes de energia eólica e solar. Na energia eólica, essa configuração possibilita a instalação de parques eólicos em diversas regiões com diferentes padrões de ventos, gerados em fatores de capacidade mais altos para os parques vencedores dos leilões de energia, superando médias globais. Quanto à energia solar, a localização geográfica favorece altos índices de irradiação em praticamente todo o país, devido à incidência vertical dos raios solares na região. Além disso, a proximidade à linha do equador implica em pouca variação na incidência solar ao longo do ano, proporcionando bons níveis de irradiação mesmo durante o inverno (EPE, 2016).

Energias Renováveis na Construção Civil

As construções no Brasil correspondem a 48% do consumo de energia elétrica no país. Com o aumento atual do consumo e problemas relacionados a escassez de chuva, tem sido necessário acompanhar às centrais térmicas para suprir a demanda energética, o que acarreta aumento de emissões de CO₂ e custos adicionais. Além disso, se considerarmos o transporte e a produção de materiais durante a execução das edificações, o consumo de energia elétrica pode ultrapassar o valor inicial de 48% (SILVA, 2020).

Diante desse cenário, é fundamental que a Construção Civil busque métodos que minimizem ou eliminem danos ao meio ambiente. Em relação a esse aspecto, existem alternativas viáveis que podem aprimorar a construção, tornando-a mais sustentável e comprometida com a preservação ambiental. Uma das opções é o uso de energias renováveis, já que essa indústria é uma das que mais consome energia elétrica, para alcançar essa perspectiva, é indispensável que o edifício seja projetado de forma a aproveitar ao máximo a luz natural e reduzir o consumo de iluminação artificial. Além disso, ao orientar a edificação de acordo com a luz natural, é possível aproveitar o calor do sol quando necessário e também usufruir dos efeitos benéficos da luz natural para o bem-estar dos ocupantes. Essas práticas são fundamentais para promover a eficiência energética e o conforto ambiental nas edificações, esperanças para um ambiente mais saudável e ambientalmente consciente (SILVA; BEBER, 2022).

Impactos Econômicos

O aumento dos investimentos em políticas de energias renováveis pode impulsionar significativamente o desenvolvimento da economia nacional. Ao priorizar essas fontes limpas e sustentáveis de energia, o país abrirá espaço para o surgimento de novas empresas e oportunidades de negócios na área de energia renovável. Esse cenário promissor elevará o nível do país no contexto global, tornando-o mais atraente para investidores internacionais interessados no mercado de energias renováveis. Os benefícios dessa abordagem são abrangentes e impactam diretamente no desenvolvimento econômico do país. A criação de um ambiente favorável ao crescimento das energias renováveis resultará na geração de empregos em diversos setores, como instalação, manutenção, fabricação de equipamentos e pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias. Esse aumento da oferta de empregos fortalecerá a economia local e proporcionará maior estabilidade financeira para as famílias.

Além disso, o desenvolvimento da indústria de energias renováveis atrairá investimentos internacionais, gerando parcerias com empresas estrangeiras e abrindo portas para novas oportunidades de negócios no mercado nacional. Essa integração com o cenário global trará ganhos de conhecimento, tecnologia e inovação para o país, contribuindo para o avanço das soluções em energia limpa. O manual da Demanda de Energia 2050 destaca que, ao otimizar o uso dos recursos energéticos, por meio de práticas como o aproveitamento de energias renováveis, surge uma alternativa promissora para sustentar o crescimento econômico. Essa abordagem pode aumentar a produtividade, ao mesmo tempo em que reduz a necessidade de altos investimentos em infraestrutura e os impactos ambientais associados ao desenvolvimento. Portanto, é uma parte essencial do processo de busca por um desenvolvimento sustentável, promovendo um equilíbrio entre o progresso econômico e a preservação do meio ambiente (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE, 2014).

A maior resistência para a transição da matriz energética para fontes renováveis está relacionada aos altos custos de implementação da geração dessas energias limpas. Embora as energias renováveis ofereçam benefícios ambientais e a perspectiva de uma matriz energética mais sustentável, os investimentos iniciais para infraestrutura e tecnologias podem ser significativos, representando um desafio para muitos países e empresas. Para Alves (2021), no Brasil, enfrentamos desafios experimentais na implementação dessas fontes devido à complexidade e aos custos de iniciar projetos nessa área. Além disso, a conjuntura econômica e o volume de investimento são obstáculos a serem superados, bem como a competição com fontes tradicionais de energia. Para vencer essas barreiras, é essencial criar políticas públicas adequadas, oferecer incentivos financeiros e promover inovações tecnológicas que tornem as energias renováveis mais acessíveis e competitivas em relação às fontes não renováveis. Dessa forma, podemos sustentar a adoção de energias limpas e ansiosas, esperançosas para a redução dos impactos ambientais e promovendo um futuro mais sustentável para o país.

Impactos Sociais

A adoção de energias renováveis traz consigo uma série de impactos sociais positivos, que vão além das vantagens ambientais e econômicas. Em primeiro lugar, a geração de empregos é um aspecto relevante dessa transição. A implantação e operação de projetos de energias renováveis, como usinas solares e parques eólicos, demandam mão de obra qualificada, criando oportunidades de trabalho em diversas áreas, desde a instalação até a manutenção dessas infraestruturas. Freitas e Dathein (2013) destacam que, a quantidade de empregos gerados pelos setores produtivos é de extrema importância, pois afeta diretamente o nível socioeconômico do país. Com as mudanças no setor energético, surgem diversas situações em que novas empresas estão se estabelecendo para sustentar a produção de energias renováveis, o que pode contribuir significativamente para a geração de empregos e para o desenvolvimento sustentável do país.

Além disso, as energias renováveis têm o potencial de combater a pobreza energética. Em muitas regiões, especialmente em áreas rurais e de baixa renda, o acesso à energia é limitado ou inexistente. A adoção de fontes renováveis, como a energia solar descentralizada, permite levar eletricidade para essas comunidades, proporcionando melhorias significativas na qualidade de vida, acesso a serviços básicos e oportunidades de desenvolvimento econômico. Isso pode ter um impacto transformador nas condições de vida dessas populações. Freitas e Dathein (2013) afirmam que, o uso dessas energias alternativas desempenha um papel fundamental ao fornecer energia para sistemas isolados e áreas onde as redes de distribuição ainda não foram protegidas. A implementação desses programas tem sido eficaz na redução do déficit de distribuição de energia no Brasil, especialmente nas regiões rurais, garantindo o acesso mais amplo e sustentável à eletricidade.

Impactos ambientais

Um dos principais aspectos que contribuem para os impactos ambientais da geração de energia elétrica é a emissão de gases de efeito estufa. A queima de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, para a produção de eletricidade libera grandes quantidades de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) na atmosfera. Esses gases têm um papel crucial no aquecimento global e nas mudanças climáticas, contribuindo para o aumento da temperatura média do planeta e seus efeitos associados, como o derretimento de calotas polares, eventos climáticos extremos e alterações nos padrões de precipitação. Almeida (2020) destaca que, em nível de emissões de gases, o setor energético apresentou o maior crescimento anual médio entre 1990 e 2014. Suas emissões atmosféricas aumentaram de 189,7 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) para 479,1 milhões de toneladas de CO_2e durante esse período.

A melhor solução seria o uso das energias renováveis, pois apresentam diversos pontos positivos em relação aos impactos ambientais, tornando-as uma alternativa mais sustentável e amigável ao meio ambiente em comparação com as fontes de energia não renováveis. Segundo Santana (2020), o uso da energia, seja ela renovável ou não renovável, sempre resulta em algum impacto ambiental, que pode variar em sua extensão. No entanto, é possível reduzir esses impactos por meio do planejamento integrado de recursos, buscando alcançar um mundo mais sustentável por meio da implementação de medidas políticas e facilitadas. As renováveis contribuem significativamente nessa redução de impactos, tendo uma emissão de gás quase nula, ajudando a combater o aquecimento global e as mudanças climáticas.

O Brasil é reconhecido por não ser um grande produtor de gases de efeito estufa devido à sua produção de energia elétrica, uma vez que uma parte significativa de sua matriz energética é derivada de fontes renováveis. Freitas e Dathein (2013), apontam que a matriz brasileira não pode ser classificada como um grande emissor de Gases de Efeito Estufa (GEE), principalmente devido ao aporte significativo das usinas hidrelétricas na geração de energia elétrica, as quais emitem emissões praticamente nulas. Além disso, o aumento do uso de fontes renováveis de energia permite reduzir ainda mais as emissões de GEE no país.

A hidrelétrica é a principal fonte de geração de eletricidade no país, respondendo por uma parcela substancial da capacidade instalada. Além disso, o Brasil possui um enorme potencial para o uso de energia solar e eólica, que também contribuem para a redução das emissões de gases poluentes. Essa transição para fontes de energia limpa e renovável é um dos fatores que tornam o país menos dependente de combustíveis fósseis e com menor impacto ambiental associado à sua matriz energética, consolidando-se como uma vantagem importante para a sustentabilidade ambiental dele. De acordo com o boletim anual do Balanço Energético Nacional, referente ao ano de 2020, a matriz energética do Brasil apresentou os seguintes percentuais: fonte hidráulica com 62,5%, seguida por eólica (9,8%), biomassa (8,8%), solar (1,9%), nuclear (1,1%) e fontes não renováveis (15,9%). É notável o crescimento significativo do uso de outras fontes alternativas de energias no país, impulsionado pelas condições que permitem uma boa geração de energia ao longo de todo o ano (ARAÚJO, 2022).

Comentários Finais

A indústria da construção civil tem um grande impacto ambiental e afeta a qualidade de vida da sociedade, embora alguns desses impactos sejam inevitáveis. No entanto, é possível e necessário reduzir esses impactos por meio de medidas mitigadoras e corretivas. Mediante a implementação de novas tecnologias como energias renováveis, é viável otimizar o uso e a qualidade dos recursos e preservar o meio ambiente.

Visando a necessidade de adotar fontes de energia renováveis devido aos problemas climáticos que o mundo enfrenta atualmente. A busca por alternativas sustentáveis é necessária para mitigar os impactos negativos das mudanças climáticas e reduzir a poluição ambiental causada pelas fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis. A transição para essas fontes de energia é uma medida estratégica para promover a melhoria da qualidade do ar e da saúde pública, uma vez que essas fontes apresentam baixas emissões de poluentes em comparação com as tradicionais. Além disso, a adoção de energias limpas oferece oportunidades significativas para o desenvolvimento econômico e tecnológico, impulsionando a criação de empregos e estimulando a inovação em setores relacionados.

Essa transição para fontes de energia renovável é uma medida não apenas essencial, mas também vantajosa para o Brasil. O país possui um vasto potencial nesse campo, graças à abundância de recursos naturais garantidos, como sol, vento, água e biomassa. Essa mudança para energias limpas contribui não apenas para a sustentabilidade ambiental, mas também para a independência energética e a redução das emissões de gases de efeito estufa. Em relação aos impactos econômicos, eles se manifestam através do impulso ao desenvolvimento da economia, atração de investimentos internacionais e geração de empregos. No âmbito social, a adoção de energias limpas proporciona inclusão e desenvolvimento em comunidades antes desassistidas, melhorando a qualidade de vida da população. Já no aspecto ambiental, a transição para fontes renováveis é fundamental para preservar o meio ambiente, reduzir as emissões de gases poluentes e contribuir para um futuro mais sustentável. Cabe ao país promover políticas públicas adequadas, incentivos financeiros e inovações tecnológicas para superar os desafios e garantir que as energias renováveis sejam uma realidade cada vez mais presente na matriz energética brasileira. Através dessa transformação coletiva, o Brasil trilhará um caminho de prosperidade e sustentabilidade para as gerações presentes e futuras.

Referências bibliográficas

ALMEIDA, Francisco Thiago Rodrigues. **Estimativa das emissões de gases de efeito estufa e proposta de mitigação dos impactos ambientais gerados por um empreendimento de geração de energia elétrica: um estudo de caso.** 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/download/12304/10315>. Acesso em: 22 jul. 2023.

ALVES, Josivan Leite. **Energias renováveis no contexto da economia circular: um estudo bibliométrico da literatura internacional.** Disponível em: <https://iei-brasil.org/2023/03/17/artigo-em-revista-internacional-cita-animacao-kigalinha-do-iei-brasil/>. Acesso em: 22 jul. 2023.

ARAÚJO, Raiane Sodré de. **Fontes de energias renováveis: pesquisas, tendências e perspectivas sobre as práticas sustentáveis.** 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33893/28613>. Acesso em: 22 jul. 2023.

AZEVEDO, João Paulo Minardi de. **ENERGIA EÓLICA E OS IMPACTOS AMBIENTAIS: UM ESTUDO DE REVISÃO.** 2017. Disponível em: <https://revista.uninga.br/uninga/article/download/1340/958>. Acesso em: 15 jul. 2023.

BEN (2022), **Balanço Energético Nacional.** Ano Base 2021. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro e Ministério de Minas e Energia, Brasília, Brasil.

BEN. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL.** 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2023.

BONDARIK, Roberto. **UMA VISÃO GERAL SOBRE O POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL.** 2018. Disponível em: https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/10/680-HORST-43_10.pdf. Acesso em: 15 jul. 2023.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica:** reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/8v5cGYtby3Xm3Snd6NjNdtQ/#ModalTutors>. Acesso em: 18 jul. 2023.

CORRÊA, Juliana Ferraz. **Energias Renováveis:** Uma Realidade Possível. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ifrs.edu.br/index.php/ViverIFRS/article/view/3587/2728>. Acesso em: 19 jul. 2023.

DINIZ, Luciana Maria. **LEVANTAMENTO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA BRASILEIRA SOBRE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE.** 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/30641/1/TCC%20Luciana%20Maria%20Diniz.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2023.

DORSA, Arlinda Cantero. **O papel da revisão da literatura na escrita de artigos científicos.** 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/ctsj4sLz6CkZYQfZWBS4Lbr/?format=html&stop=previous&lang=pt#>. Acesso em: 27 jul. 2023.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. 2014. **Demanda de Energia 2050.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-458/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2023.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. 2016. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2023.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 29 jul. 2023.

FERNANDES, Tiago Grazziani. **Energias Renováveis:** Geração Distribuída. 2016. Disponível em: http://www.al.rs.gov.br/FileRepository/repdcp_m505/ComEspResiliente/Energias%20Renov%C3%A1veis%20-%20Tiago%20Grazziani.pdf. Acesso em: 29 jul. 2023.

FREITAS, Giovana Souza; DATHEIN, Ricardo. **AS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL:** uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/revnexeco/article/view/8359/9549>. Acesso em: 22 jul. 2023.

GONZÁLEZ, Fredy Enrique. **REFLEXÕES SOBRE ALGUNS CONCEITOS DA PESQUISA QUALITATIVA.** 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33361/RPQ.2020.v.8.n.17.322>. Acesso em: 27 jul. 2023.

IEA, Agência Internacional de Energias -. **Sistema de energias / Renováveis.** 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/renewables>. Acesso em: 22 jul. 2023.

INATOMI, Thais Aya Hassan. **ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE ENERGIA DENTRO DO PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS.** Disponível em: https://www.academia.edu/download/56458725/INATOMI_TAHI_IMPACTOS_AMBIENTAIS.pdf. Acesso em: 15 jul. 2023.

KRELL, Andreas Joachim; SOUZA, Carolina Barros de Castro. A sustentabilidade da matriz energética brasileira: o marco regulatório das energias renováveis e o princípio do desenvolvimento sustentável. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 157-188, maio/ago. 2020. Disponível em: 10.7213/rev.dir.econ.soc.v11i2.26872. Acesso em: 26 jul. 2023.

LOSEKANN, Luciano; TAVARES, Amanda. **TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E POTENCIAL DE COOPERAÇÃO NOS BRICS EM ENERGIAS RENOVÁVEIS E GÁS NATURAL.** 2020. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10712/6/TD_Transicao_energetica_oportunidades_Publicacao_Preliminar.pdf. Acesso em: 26 jul. 2023.

MAGRASSI, Fábio. **Sistema híbrido de energia solar versus usina fotovoltaica:** uma análise comparativa através de uma abordagem de ciclo de vida. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148118307249?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jul. 2023.

MARQUES, Cristian Teixeira. **Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando à sustentabilidade.** 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/wjvMydYMMNZ5SbPBXYCVmxG/?lang=pt#>. Acesso em: 18 jul. 2023.

NASCIMENTO, Raphael Santos do. **FONTES ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS DE ENERGIA NO BRASIL: MÉTODOS E BENEFÍCIOS AMBIENTAIS.** 2016. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/0859_1146_01.pdf. Acesso em: 15 jul. 2023.

ONU, Nações Unidas Brasil. **PNUMA: crises de clima, biodiversidade e poluição devem ser enfrentadas em conjunto.** 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/112574-pnuma-crisis-de-clima-biodiversidade-e-polui%C3%A7%C3%A3o-devem-ser-enfrentadas-em-conjunto>. Acesso em: 29 jul. 2023.

REN21. **RENEWABLES 2023 GLOBAL STATUS REPORT.** 2023. Disponível em: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2023_GlobalOverview_Full_Report_with_endnotes_web.pdf. Acesso em: 19 jul. 2023.

SANTANA, Julie Catherine Siqueira. **O USO E PRODUÇÃO DA ENERGIA LIMPA COMO MÉTODO DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL SUSTENTÁVEL.** 2020. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/53>. Acesso em: 29 jul. 2023.

SEVERIANO JUNIOR, Wagner Oliveira. **CONSTRUÇÃO VERDE: EMPREGO DE RECURSOS RENOVÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.** 2021. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/1719/708>. Acesso em: 19 jul. 2023.

SILVA, Mariana Almeida da; BEBER, Paola Costa. **Crise energética no Brasil: o papel da construção civil no desenvolvimento sustentável.** 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/245115/Vol.%208%201027%20-%201036.pdf?sequence=1>. Acesso em: 29 jul. 2023.

SILVA, Sabrina Soares da; REIS, Ricardo Pereira; AMÂNCIO, Robson. **Paradigmas ambientais nos relatos de sustentabilidade de organizações do setor de energia elétrica.** 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ram/a/wf3ChsSgFc8mcYCJ57RGnZQ/#>. Acesso em: 19 jul. 2023.

SILVA, Victor Augusto Azevedo Coelho. **Controlando os impactos ambientais e sociais da construção civil através de medidas mitigadoras.** 2020. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/421/259>. Acesso em: 26 jul. 2023.

SOUSA, José Raul de; SANTOS, Simone Cabral Marinho dos. **Análise de conteúdo em pesquisa qualitativa: modo de pensar e de fazer.** 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/RPDE>. Acesso em: 27 jul. 2023.

SUL, Sindicato da Indústria da Construção e Mobiliário do Rio Grande do. **Guia de Sustentabilidade na Construção Civil no Rio Grande do Sul.** 2013. Disponível em: http://www.sinduscon-rs.com.br/wp-content/uploads/2013/06/Cartilha_Sustentabilidade_WEB.pdf. Acesso em: 19 jul. 2023.

PANORAMA BRASILEIRO SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOMETANO

¹Gabriela Prado Fernandes, ²Roberto Carlos Moro Filho

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: gabrielafernandes@alunos.utfpr.edu.br; ²Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: robertoc@utfpr.edu.br

Palavras-chave: Biogás; Biometano; Energia.

Resumo

Recentemente, a pandemia mundial (COVID-19) deu lugar a um cenário de perdas drásticas afetando todos os mais diversos setores, destacando-se neste estudo o de energia. A digestão anaeróbica de diferentes resíduos, tais como resíduos sólidos urbanos (RSU), resíduos da indústria e da agricultura, lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto (ETEs), resíduos da silvicultura, entre outros, mostra-se como um dos caminhos mais promissores de energia renovável nos últimos anos, dando origem ao biogás. Essa fonte renovável de energia é capaz de fornecer inúmeros benefícios ambientais, sociais e econômicos. O presente estudo visa mostrar ao leitor um panorama da realidade brasileira frente a produção de biogás e biometano, apresentar as maiores dificuldades para implementação desta energia limpa no Brasil, além de destacar as potências mundiais na produção e implementação do biometano na matriz energética e quais os principais motivos que as levaram a essa posição. Diante do acima exposto, espera-se que o Brasil possa alcançar um papel de destaque no setor de energias renováveis em breve, especificamente na produção e uso do biogás e biometano.

Introdução

A transição energética para sistemas com baixa emissão de carbono surge como uma medida necessária em patamar mundial, dada a atual crise climática e econômica que permeia a realidade do século XXI. Recentemente, a pandemia mundial (COVID-19) deu lugar a um cenário de perdas drásticas afetando todos os mais diversos setores, destacando-se neste estudo o de energia. Tal crise evidenciou a fragilidade do atual mercado deste setor, mostrando assim a importância de investimentos para garantia de uma transição energética renovável visando o desenvolvimento sustentável e descentralizado. Fontes como a biomassa, seus produtos e subprodutos surgem como uma atrativa opção visando alterações no atual setor energético (LÁZARO *et. al.*, 2022).

A digestão anaeróbica de diferentes resíduos, tais como resíduos sólidos urbanos (RSU), resíduos da indústria e da agricultura, lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto (ETEs), resíduos da silvicultura, entre outros, mostra-se como um dos caminhos mais promissores de energia renovável nos últimos anos. Sabe-se que o processo de degradação natural da matéria orgânica por microrganismos em condições anaeróbicas tem como produto o biogás. A partir do biogás em sua forma bruta, pode ser produzido outro gás com alto poder energético e ainda mais benefícios socioambientais. Caso o biogás passe por um processo de purificação, onde impurezas como H₂S, CO₂ e H₂O são retiradas, ele é convertido em biometano, combustível análogo ao gás natural, o que torna possível a sua injeção na rede de distribuição de gás natural bem como atender as demandas como gás veicular (SCARLAT *et. al.*, 2018).

O biometano é uma renovável de energia capaz de fornecer inúmeros benefícios ambientais, sociais e econômicos. Socialmente, a produção de biometano traz a possibilidade de interiorização energética e geração de empregos, uma vez que abre espaço para pequenos produtores fornecerem substrato ou até mesmo produzirem sua própria energia através de biodigestores instalados em suas propriedades.

No âmbito econômico, ressalta-se a bioeconomia, que ganha espaço em todo o cenário da economia mundial, onde grandes potências investem seus recursos e implementam políticas internas de apoio a produção de energias renováveis. É necessário que haja a valoração de serviços ambientais, propiciando o fomento à economia de forma sustentável e distribuída.

Na esfera ambiental, a transição energética para uma matriz descentralizada e renovável, por si só, já é motivo suficiente para incentivar a produção deste gás energético. O uso e produção de energias de baixo carbono mostra-se como uma eficiente ferramenta para que as metas de descarbonização da matriz energética sejam cumpridas. Além disso, a produção de energia advinda de resíduos diversos é um dos mais proveitosos mecanismos para a adequada gestão de resíduos, ocasionando um aproveitamento integral desse substrato e gerando renda a partir de uma matéria-prima que anteriormente não teria valor agregado.

O presente estudo visa mostrar ao leitor um panorama da realidade brasileira frente a produção de biogás e biometano, apresentar as maiores dificuldades para implementação desta energia limpa no Brasil, além de destacar as potências mundiais na produção e implementação do biometano na matriz energética e quais os principais motivos que as levaram a essa posição.

Material e Métodos

Para que fosse possível atingir os objetivos propostos para este trabalho, foi utilizado como método de pesquisa a revisão de bibliografia. Deste modo, a pesquisa foi desenvolvida através da busca, na literatura nacional e internacional, de material relativo ao tema abordado, objetivando a produção de um arcabouço de conhecimento para desenvolvimento da pesquisa. Através de descritores previamente selecionados, a busca foi realizada nos bancos de dados disponíveis (Mendeley e

Google Acadêmico) que possuíam vasta quantidade de publicações sobre a temática analisada, bem como portais de notícia responsáveis por compartilhar informações do setor de biogás e biometano no Brasil e na União Europeia. Após a coleta de dados, foram mineradas e selecionadas as principais publicações para a construção do presente trabalho. Após essa etapa, foi realizada a leitura criteriosa do material selecionado e, dessa forma, a construção do presente trabalho, tendo como base informações disponibilizadas por diversos autores responsáveis pela análise da temática apresentada.

Resultados e Discussão

Estado da arte da produção de biogás e biometano no Brasil

O setor de biocombustíveis e energias renováveis encontra-se em crescente evolução, especialmente após o ano de 2015, onde a COP21 fez nascer um esforço global para mitigação das mudanças climáticas, envolvendo tanto países em desenvolvimento como grandes potências. No Brasil, o apoio ao setor também ganha força. Atualmente, a sociedade produz quantidades exorbitantes de resíduos orgânicos, resíduos esses que podem ser valorizados se utilizados como matéria-prima para produção de energia limpa. O biogás e o biometano possuem diferentes funcionalidades, porém se originam de um mesmo substrato: resíduos orgânicos cujo potencial não é aproveitado (IEA, 2020).

Após a conversão do biogás em energia útil, sua utilização em instalações de pequeno porte consiste basicamente na cocção e aquecimento. Já em instalações de grande porte, é utilizado predominantemente para sistemas de cogeração e eletricidade. Já o biometano, após purificação e atendimento aos parâmetros estabelecidos, pode tanto ser utilizado como gás veicular como para injeção na rede de distribuição juntamente ao gás natural, devido à similaridade destes dois gases energéticos (CLEMENTINO, 2021).

O Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBIOGÁS), através da ferramenta BiogásMap, disponibiliza dados referentes a produção de biogás no Brasil, de acordo com os respectivos estados e as fontes de substrato utilizadas. Com sua última atualização no ano de 2021, o volume total de produção de biogás no Brasil é de 2,82 bilhões de Nm³/ano, através de 811 plantas ativas distribuídas por todo o país (CIBIOGAS, 2021).

O estado com maior volume de produção de biogás é São Paulo, responsável por 1,05 bilhões de Nm³/ano da produção total do país e 69 plantas ativas. Em segundo lugar está o Rio de Janeiro, com uma produção de 413,91 milhões de Nm³/ano e 13 plantas ativas. Minas Gerais encontra-se em terceiro lugar, com produção correspondente a 308,60 milhões de Nm³/ano e 261 plantas ativas. Posicionado em quarto lugar, o estado do Paraná possui 270,06 milhões de Nm³/ano e 171 plantas ativas. Pernambuco conta com uma produção de 159,45 milhões de Nm³/ano e 8 plantas ativas, posicionando-se em quinto lugar (CIBIOGAS, 2021). A figura 1 ilustra os estados produtores de biogás no Brasil, destacando em vermelho aqueles com maior volume de produção.

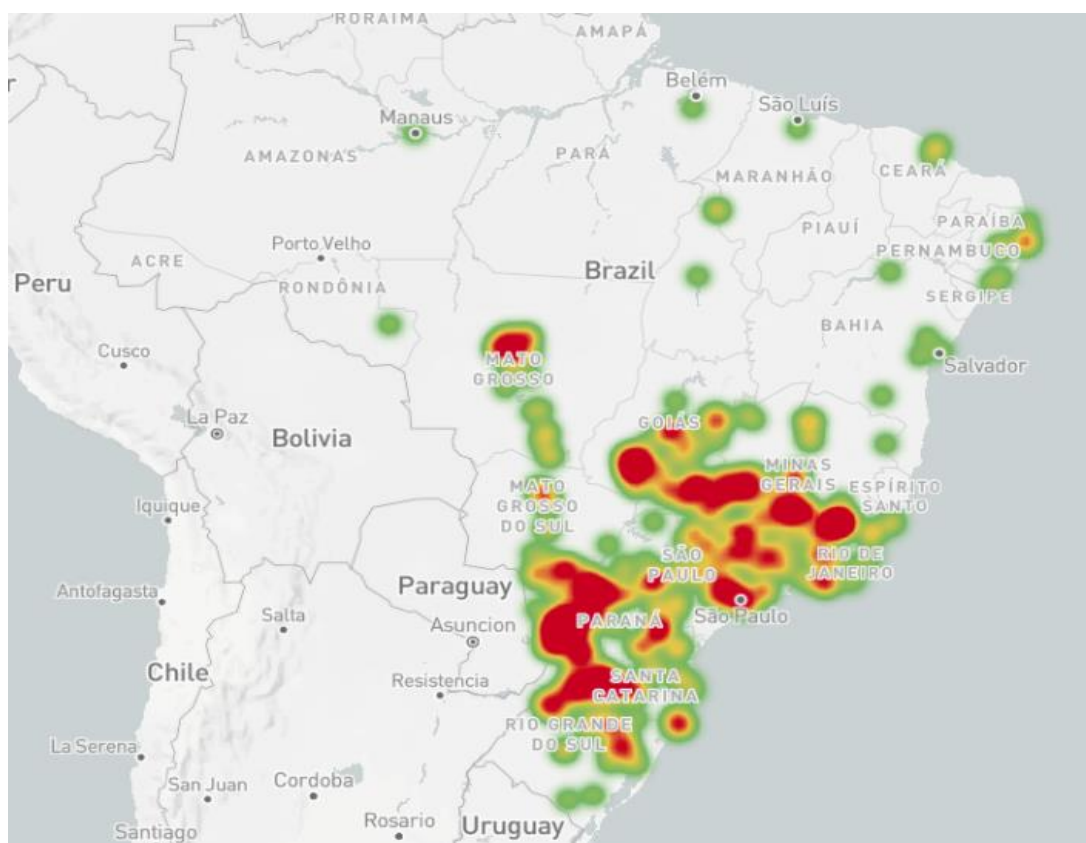


Figura 1: Estados produtores de biogás no Brasil (CIBIOGAS, 2021).

Em relação aos substratos de produção do biogás com maior utilização no Brasil, tendo como base os cinco estados citados acima, os resíduos sólidos urbanos (RSU) e lodo proveniente do tratamento de esgoto são responsáveis pela maior parte da produção de quatro deles, sendo: São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Pernambuco. Apenas o estado do Paraná tem a maior parcela de biogás produzida a partir de resíduos da indústria. Partindo de tais dados, percebe-se a predominância do uso de RSU e lodo de esgoto como matéria-prima na produção de biogás no Brasil (CIBIOGAS, 2021).

No que diz respeito a utilização do biogás, quatro dos cinco estados tem sua maior parcela de biogás produzido destinado a geração de energia elétrica, sendo eles: São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Pernambuco. Apenas o Rio de Janeiro tem a maior parte do biogás produzido destinado a purificação para geração de GNR-biometano (CIBIOGAS, 2021).

Com relação a produção de biometano, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), disponibiliza através do Painel Dinâmico dos Produtores de Biometano os dados referentes ao volume de produção brasileiro nos anos de 2020, 2021, 2022 e 2023, sendo o ano de 2023 contabilizado até o mês de junho. Em 2020, a produção total de biometano foi de 36 milhões de m³. No ano de 2021, a produção alcançou o valor de 49 milhões de m³ e, em 2022, um total de 58 milhões de m³. Já no ano de 2023, contabilizando a produção até o mês de junho, o valor total é de 35 milhões de m³, valor este satisfatório, visto que a produção já alcançou mais da metade do valor produzido no ano anterior em apenas 6 meses (ANP, 2023).

As plantas produtoras de biometano no Brasil encontram-se concentradas nas regiões sudeste e nordeste do país, especificamente nos estados Ceará, São Paulo e Rio de Janeiro. Em 2022, Ceará foi o estado com maior volume de produção de biometano, com um total de 28,66 milhões de m³. Em seguida, Rio de Janeiro produziu 28,61 milhões de m³ e São Paulo totalizou uma produção de 1,1 milhão de m³ (ANP, 2023).

Com os devidos esforços e investimentos, o setor do biogás e biometano pode chegar a resultados extremamente satisfatórios no Brasil, uma vez que o potencial de geração de matéria-prima no país é abundante. As dificuldades para a popularização e disseminação dessa prática incluem a incipiência de políticas regulatórias e de incentivo, a instabilidade no valor da molécula e a falta de informação acerca do assunto. No entanto, com a necessidade de descarbonização da matriz energética e cumprimento dos objetivos estabelecidos no Acordo de Paris, bem como o reconhecimento dos benefícios de ambas as fontes energéticas, pode-se afirmar que, embora recente e ainda falho, o potencial brasileiro na produção e uso de biogás e biometano é promissor.

O uso de biometano na forma de injeção na rede de gás canalizado como substituto ao gás natural é uma prática com chances reais de popularização no país. Atualmente, apenas o estado do Ceará já realiza esta atividade, porém, concessionárias de todos os estados visam a inserção do biometano em suas redes de distribuição de gás. Isso se explica devido aos inúmeros benefícios socioambientais advindos desta prática e, principalmente, pela possibilidade de interiorização da rede de gás, uma vez que, no Brasil, a atividade de distribuição de gás encontra-se restrita às regiões litorâneas e grandes capitais.

Com a inserção do biometano na matriz energética gasosa brasileira, será possível que a distribuição seja realizada próxima à fonte de produção deste gás e, dessa forma, abre portas a um mercado energético distribuído e descentralizado, através de pequenos ramais de interligação entre produtor/consumidor, sem que haja dependência direta da rede principal de gás canalizado. A carência de políticas de incentivo quanto a esta prática ainda é um fator limitante para a sua disseminação. No entanto, a especulação sobre o assunto faz crescer a chance de mudança no atual cenário.

A criação da Política Nacional de Biocombustíveis - Renovabio, desenvolvida pelo Ministério de Minas e Energia em 2016, pode ser vista como o início dos esforços por parte do governo brasileiro para fomentar o setor de biocombustíveis. Tendo como objetivo o delineamento de estratégias para alcançar o reconhecimento do papel dos biocombustíveis na matriz energética brasileira de acordo com seu real valor, o programa foi o primórdio responsável para colocar em pauta as discussões acerca do setor energético renovável no país (EPE, 2017).

Uma nova possibilidade de valorização da produção e distribuição do biometano surgiu no ano de 2023 no Brasil. O chamado Certificado de Gás Natural Renovável – GAS-REC, desenvolvido pelo Instituto Totum, consiste em uma certificação responsável pelo rastreamento dos atributos ambientais do biogás e biometano. Tal certificado tem como premissa a simplificação da contabilidade confiável de gases de efeito estufa, sendo compatível com diversos padrões internacionais de contabilidade de tais gases (TOTUM, 2023). Por ainda se tratar de uma novidade no mercado, a certificação traz consigo dúvidas e incertezas para toda a cadeia de produção e consumo de biogás e biometano, porém, um novo mercado se inicia em território nacional e, dessa forma, é possível afirmar que o crescimento e popularização do setor renovável brasileiro está, não somente ganhando espaço e visibilidade, como também valorização e monetização em seus processos e usos finais.

A potência mundial no setor de biogás e biometano: panorama da União Europeia

Sendo descoberto por cientistas italianos em 1776, o biogás teve como berço a Europa, de modo que seu desenvolvimento fez do continente uma referência no assunto. Vários são os motivos que fazem da União Europeia (UE) uma potência no setor de biogás e biometano. No entanto, de acordo com Xue et. al. (2022), destacam-se duas razões principais, sendo elas:

- Desenvolvimento *in loco*: desde o princípio, o desenvolvimento deste setor no continente europeu aconteceu de forma interna, sem haver a necessidade de contribuição de outros países, de maneira que cada região realizasse estudos e esforços para produzir e gerir seu próprio biogás.
- Política *in loco*: As políticas regulatórias e de incentivo à produção de biogás tem como base as condições nacionais, englobando as necessidades dos 27 estados membros e suas divergências geográficas e climáticas.

Confirmando sua posição de superioridade em relação ao resto do globo, a UE teve três usinas selecionadas como exemplo de desenvolvimento e utilização integrada de biogás e biometano: 1) A usina Korskro Biogas Plant, localizada na Dinamarca, que conta com uma proposta de produção a partir de uma cadeia de reciclagem econômica e ecológica. 2) A usina Bruck an der Leitha, localizada na Áustria, famosa por ser a primeira usina de biogás do mundo a utilizar uma unidade de membrana, além de ser líder na indústria do biometano. 3) A usina NSR, localizada na Suécia, que utiliza o biogás para a produção de combustível automotivo desde 1996 (XUE et. al., 2022).

A European Biogas Association (EBA) relata que a atual produção de biometano da UE é de 3 bilhões de m³, sendo a Alemanha o país com maior volume de produção. Em seguida, França, Itália e Espanha ocupam o segundo, terceiro e quarto lugar dentre os países com maior produção de biometano na Europa, respectivamente. Ainda, de acordo com as projeções realizadas no ano de 2022, o potencial de produção de biometano para o ano de 2030 é de 45,1 bilhões de m³ e para o ano de 2050 esse valor aumenta para 165 bilhões de m³ (EBA, 2022).

O número de plantas produtoras de biometano na União Europeia aumenta significativamente a cada ano. Em 2018, 483 plantas encontravam-se ativas. Em 2020, este número subiu para 729 plantas. No ano de 2021 foram contabilizadas 1.023 plantas e, por fim, até o mês de abril de 2023, a Europa alcançou um total de 1.322 plantas produtoras de biometano (EBA, 2023). Dessa forma, torna-se possível enxergar a concretização das projeções ambiciosas que o continente pretende alcançar nos anos de 2030 e 2050 em relação ao volume de produção de biometano.

A Comissão Europeia para uma Diretiva de Energia Renovável, lançada em novembro de 2016, estabelece a obrigatoriedade para os fornecedores de combustível da inclusão de uma parcela de combustíveis renováveis e de baixo carbono dentre os produtos comercializados, com o objetivo de alcançar a descarbonização do setor de transportes. Tal diretiva reforça os critérios de sustentabilidade da UE, concentrando esforços no fomento à bioenergia e aos biocombustíveis (SCARLAT et. al., 2018). De posse de tais informações, é possível afirmar que “a indústria de biogás na Europa está na vanguarda mundial no desenvolvimento e aplicação de processos, tecnologias e equipamentos” (XUE et. al., 2022).

No contexto recente, é possível afirmar que o aumento nos esforços da UE para a criação de novas usinas produtoras de biogás e consequente aumento no volume de produção de biometano se deu através da crise energética iniciada em 2022 como consequência da guerra entre Rússia e Ucrânia (SULEWSKI et. al., 2023). Tendo a Rússia como principal exportadora de gás natural para toda a UE e diversos países do mundo no geral, houve a necessidade de redução dessa dependência. É fato que essa necessidade gerou urgência na produção de biometano, como um mecanismo para substituição ao gás natural no abastecimento energético gasoso.

Seja pelos atributos socioambientais ou pela independência energética e interesses governamentais, a União Europeia que, desde a descoberta do biogás lidera este setor a nível mundial, está intensificando seus esforços ano após ano para a construção de uma matriz energética sustentável e renovável, o que pode servir de exemplo para os demais países interessados em ser parte da corrida mundial de energias renováveis. Os motivos para isso nem sempre serão a busca por um futuro sustentável, a manutenção e recuperação do meio ambiente, a geração de novos empregos ou até mesmo a descarbonização da matriz energética. No entanto, todos os itens acima citados serão consequências naturais dos esforços para diminuição do uso de fontes fósseis de energia.

Considerações Finais

Caminhando a passos lentos, a disseminação do uso de biogás e biometano como fonte energética no Brasil está tomando forma. Mesmo com todos os benefícios socioambientais e comerciais, é necessário ter plena consciência de que uma transição energética não é passível de se concretizar em um pequeno espaço de tempo. São necessários muitos anos, inúmeras tentativas e erros, bem como apoio governamental assíduo.

Com a disseminação da informação sobre o setor, estudos científicos em desenvolvimento e interesse por parte da indústria consumidora de tais insumos, cresce a pressão sobre o governo para dar novos direcionamentos as energias renováveis. Atualmente, a literatura traz diversos materiais acerca da produção e uso do biogás e biometano. No entanto, há uma lacuna no que diz respeito a conteúdos que expliquem quais os mecanismos para atingir o sucesso nessas práticas por aqueles países que já alcançaram um lugar significativo na corrida mundial de energias renováveis.

Quando o sucesso de um determinado setor encontra-se tão dependente de questões políticas e governamentais, nasce uma dificuldade que certamente está fora do alcance do público de interesse. Sendo exatamente este o caso do biogás e biometano no Brasil. O país possui um volume de produção de matéria-prima abundante para conversão em biogás e biometano, condições naturais propícias para o seu crescimento e grande interesse por parte do mercado consumidor. Resta agora, que o interesse por parte do governo aumente o suficiente para que as políticas do setor sejam revisadas e melhoradas, a fim de fornecer segurança para toda a cadeia de produção e consumo.

No que diz respeito ao volume de produção brasileiro de biogás e biometano, os números que ainda são baixos, estão em constante evolução e crescimento, o que pode ser considerado um bom começo de instalação do setor no país. Em comparação com a União Europeia, o Brasil está extremamente abaixo do alcançado pela potência das energias renováveis. Porém, é incompatível e inimaginável realizar essa comparação e esperar um resultado diferente deste, levando em conta que a UE possui um arcabouço legal bem estabelecido há muitos anos, é pioneira nos estudos sobre o assunto, conta com um mercado cativo que já normaliza a utilização do biometano em substituição ao gás natural e uma necessidade extrema de independência energética do maior fornecedor de gás natural do mundo, a Rússia.

Diante do acima exposto, espera-se que o Brasil possa alcançar um papel de destaque no setor de energias renováveis em breve, especificamente na produção e uso do biogás e biometano. Espera-se também o aumento no número de pesquisa e desenvolvimento nessa área, buscando melhor quantificar o desempenho e a rentabilidade nesse setor.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer à Universidade Tecnológica Federal do Paraná e à organização responsável pelo 7º Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis.

Referências Bibliográficas

ANP [Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis]; 2023. Painel Dinâmico dos Produtores de Biometano. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMzc1YTcyNTAtZmQ0MS00OTJLTlkZDktNDliMTA2Y2ZiNGM1IiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTYtNGI0Mi1iN2VmLTeyNGFmY2FkYzkyMyJ9&pageName=ReportSection>. Acesso em: jul/2023.

CIBIOGAS [Centro Internacional de Energias Renováveis]; 2021. BiogasMap. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiODc2NThhOGItOTc2Ny00ZDc1LWl5MTMtYjYwZTRlYjFiOWQ3IiwidCI6ImZOTg3ZmI3LTQ5ODMtNDA2Ny1iMTQ2LTc3MGU5MWE4NGVhNSJ9&pageName=ReportSection6ed365e9760a3c113b0d>. Acesso em: jul/2023.

Clementino, W.; 2021. Análise de condicionantes para injeção do biometano na rede de distribuição de gás canalizado. Repositório Unicamp.

EBA [European Biogas Association]; 2022. Biomethane production potentials in the EU - Feasibility of REPowerEU 2030 targets, production potentials in the Member States and outlook to 2050. Disponível em: <https://www.europeanbiogas.eu/biomethane-production-potentials-in-the-eu/#:~:text=Today%2C%203%20bcm%20of%20biomethane,and%2095%20bcm%20by%202050>. Acesso em: jul/2023.

EBA [European Biogas Association]; 2023. European Biomethane Map - Infrastructure for biomethane production. Disponível em: https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2023/05/GIE_EBA_Biomethane-Map-2022-2023.pdf. Acesso em: jul/2023.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]; 2017. Metodologia para projeção da oferta/demanda de combustíveis. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/renovabio>. Acesso em: jul/2023.

IEA [International Energy Agency]; 2020. Outlook for biogas and biomethane. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth>. Acesso em: mar/2023.

Lázaro, L. et. al.; 2022. Energy transition in Brazil: Is there a role for multilevel governance in a centralized energy regime?. Energy Research & Social Science, pp. 85-99.

Scarlat, N. et. al.; 2018. Biogas: Developments and perspectives in Europe. Renewable Energy, pp. 457-472.

Sulewski, P. et. al.; 2023. Development of the Biomethane Market in Europe. Energies, pp. 16-50.

TOTUM [Instituto Totum]; 2023. Regulamento Técnico - Certificado de Biogás/Biometano. Disponível em: <https://www.institutototum.com.br/index.php/servicos/412-certificacao-gas-rec>. Acesso em: jul/2023.

Xue, S. et. al. 2022. What can we learn from the experience of European countries in biomethane industry: Taking China as an example?. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 157.

UTILIZAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO PROJETO PÚBLICO DE IRRIGAÇÃO PIRAPORA, EM MINAS GERAIS

¹Fernanda Sales Saab, ²Pedro Kundera, ³Wilde Cardoso Gontijo Júnior

¹Universidade de Brasília, e-mail: saabfs@gmail.com; ²Universidade Federal de Minas Gerais, e-mail: pedrokunderaleite@gmail.com; ³Universidade de Brasília, e-mail: cardosowilde@hotmail.com

Palavras-chave: Energia solar; agricultura irrigada; ODS 7.

Resumo

A energia é um pilar essencial para o desenvolvimento sustentável em todas as esferas da sociedade, incluindo a produção de alimentos pela agricultura irrigada. No entanto, a utilização de energia proveniente de fontes não renováveis (combustíveis fósseis) trazem impactos negativos, como a emissão de gases de efeito estufa, poluição do ar e esgotamento de recursos naturais. Nesse contexto, a adoção de energia limpa, proveniente de fontes renováveis — por exemplo, energia solar —, oferece uma alternativa mais sustentável e ambientalmente amigável, contribuindo para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente o ODS 7 — Energia Limpa e Acessível que visa garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos.

O uso de energia fotovoltaica em perímetros públicos de irrigação tem se tornado uma opção cada vez mais viável e atrativa devido aos diversos benefícios gerados pela sua utilização, como a redução dos custos operacionais, aumento da resiliência devido à redução da dependência de fontes sujeitas a flutuações de preço e disponibilidade e não renováveis, além da mitigação das mudanças climáticas. Aliado a isso e aos avanços tecnológicos, a redução de custos e os incentivos governamentais favorecem a sua implantação e expansão.

Nesse contexto, surge o Projeto Público de Irrigação Pirapora, localizado no município de Pirapora/MG, que possui alta incidência direta de luz solar. Esse projeto foi a primeira experiência de agricultura irrigada no norte de Minas Gerais, cuja operação iniciada em 1978, promove a produção de insumos e alimentos, por meio da agricultura irrigada, numa área irrigável de 1.200 hectares. Desde 2020 conta com uma usina de energia fotovoltaica, construída com o objetivo de reduzir os custos de operação e garantir a sustentabilidade do empreendimento.

Dessa forma, o presente estudo teve por objetivo verificar os desafios e oportunidades da implantação da usina fotovoltaica e analisar os impactos e a viabilidade da usina de energia fotovoltaica na gestão desse importante empreendimento. Foram verificados alguns desafios durante a operação inicial, como o superaquecimento dos cabos — com consequente queima e necessidade de substituição dos mesmos —, defeitos nos inversores, com acionamento da troca no período de garantia, regularização de documentação e adequação da subestação para funcionamento na modalidade sem interligação com a rede de transmissão. Os resultados encontrados demonstraram que a utilização da energia fotovoltaica provocou impactos positivos: a redução dos custos operacionais devido à redução do consumo energético em horários com tarifas mais caras, redução de 48% na tarifa de água K2 variável, sendo um resultado significativo e importante para o alcance da sustentabilidade do empreendimento, redução da vulnerabilidade energética à escassez hídrica que se apresentou como uma das condições relevantes para evitar maiores acréscimos nas tarifas de água ocasionadas pelo aumento das tarifas energéticas nos períodos de crise hídrica, bem como a viabilidade de recuperação do investimento e da substituição de componentes durante o tempo de vida útil do sistema fotovoltaico.

O investimento em energia fotovoltaica no Projeto Públicos de Irrigação Pirapora se apresentou como uma estratégia eficiente para lidar com crises energéticas e reduzir os custos com energia, aumentando a resiliência do empreendimento, ao mesmo tempo em que contribuiu para a melhoria da eficiência e da sustentabilidade das práticas agrícolas e ambientais, favorecendo o alcance do ODS 7 e colaborar para a construção de uma sociedade mais resiliente e equitativa.

Introdução

A energia é essencial para realizar trabalho e impulsionar a sociedade moderna em todas as atividades humanas. No entanto, a dependência dos combustíveis fósseis para a produção energética tem causado preocupações ambientais devido às emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e à poluição, resultando em uma crescente demanda por fontes de energia limpa, como a hídrica, eólica e solar, que são sustentáveis, renováveis e que causam menor impacto ambiental.

O aumento da consciência ambiental com relação à matriz energética encontra-se refletida no ODS 7 – Energia Limpa e Acessível, que tem como meta assegurar o acesso universal, confiável, sustentável e moderno a serviços de energia, além de aumentar substancialmente a participação das energias renováveis na matriz energética global.

A energia desempenha um papel crucial no desenvolvimento econômico e o país possui uma matriz energética diversificada, com destaque para as fontes renováveis. Segundo Leite (2016), a principal matriz energética brasileira é a hidrelétrica, considerada renovável e não emissora de GEEs. No entanto, existem fatores que impactam a sua utilização, como os impactos ambientais decorrentes do alagamento de grandes áreas e alterações nos cursos naturais dos rios.

Outro fator referente à energia hidrelétrica, de acordo com o autor supracitado, é a dependência excessiva do setor elétrico nacional dessa matriz, deixando o país vulnerável às variações climáticas que afetam a geração e o abastecimento, principalmente, durante os períodos de crise hídrica.

Nesse contexto, a geração e abastecimento energético nacional, para a devida remuneração e incentivos para eficiência desse serviço tão essencial, são desenvolvidas e aplicadas metodologias de cálculo tarifário, contemplando as bandeiras, que consideram os fatores que afetam a geração, bem como fatores econômicos de incentivos à modicidade tarifária e sinalização ao mercado (TARIFAS..., 2023).

As bandeiras refletem, principalmente, as condições hidrológicas para a produção de energia elétrica, pois, quando ocorre a condição de escassez hídrica, torna-se necessário o acionamento das termoeletricas, que possuem um custo de produção de energia mais elevado por utilizarem combustíveis fósseis, para atendimento da demanda energética nacional (CEMIG EXPLICA BANDEIRAS..., 2022).

Nesse cenário, a energia solar fotovoltaica oferece oportunidades significativas para diversificar a matriz energética nacional, aumentar a resiliência do sistema energético nacional frente às variações climáticas, além de substituir os sistemas que utilizam combustíveis fósseis, que são uma fonte de energia não renovável, contribuindo para o alcance das metas do ODS 7.

O Brasil possui um grande potencial para energia solar devido à sua localização em uma região tropical, com uma das maiores irradiações solares do mundo. Aliado a isso, os avanços tecnológicos, redução de custos e incentivos governamentais conjugados à forte oscilação dos preços dos combustíveis fósseis e das tarifas de energia elétrica, acrescidos da necessidade de redução das emissões de gases de efeito estufa, têm impulsionado sua expansão (PAES, 2019).

Outro aspecto relevante da utilização dos sistemas fotovoltaicos, consiste na possibilidade de sua utilização em locais que não são abastecidos por redes elétricas (HAUPENTHAL *et al.*, 2021).

A utilização de energia fotovoltaica em perímetros públicos de irrigação tem se mostrado uma alternativa promissora e sustentável para suprir as demandas energéticas necessárias à operação dos sistemas de bombeamento de água para posterior adução e distribuição às unidades parcelares além de proporciona maior autonomia em termos energéticos, redução nos custos operacionais e, ainda, a substituição de fontes não renováveis de energia, atuando como um propulsor da agricultura sustentável, contribuindo para segurança alimentar, desenvolvimento econômico local e preservação do meio ambiente.

Considerando os benefícios advindos da implantação de sistemas fotovoltaicos, o emprego dessa tecnologia em perímetros públicos de irrigação se apresenta como inovação e sua utilização requer um planejamento adequado que deve considerar a capacidade de geração de energia necessária ao atendimento das demandas energéticas dos empreendimentos, o correto dimensionamento dos painéis solares com base na demanda hídrica para a irrigação e a previsão de armazenamento da energia excedente e/ou a integração com os sistemas de bombeamento de água. Também é essencial considerar a manutenção e a capacitação técnica para garantir o bom funcionamento desses sistemas ao longo do tempo, de modo que garanta a viabilidade da sua utilização (LEITE, 2016).

Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo analisar a utilização do sistema fotovoltaico de energia implantado no Projeto Público de Irrigação Pirapora para verificar desafios, oportunidades e a viabilidade da sua utilização.

Material e Métodos

O presente trabalho consiste num estudo de caso único por meio de abordagem quantitativa, de natureza aplicada, com objetivo exploratório, contemplando a análise documental para obtenção de dados secundários referentes ao ano de 2022.

Os dados referentes à concessionária de energia como enquadramento, consumo energético e tarifas foram obtidos junto às faturas emitidas. Os dados de implantação, manutenção e geração da usina fotovoltaica foram obtidos junto à AUPPI e as informações relativas às tarifas de água do PPI Pirapora foram obtidas junto à Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (Codevasf).

As etapas da análise contemplam a caracterização do Projeto de Irrigação Pirapora, levantamento de dados sobre o consumo de energia, enquadramento e tarifas aplicadas pela concessionária de energia, recolhimento de informações sobre o projeto, implantação e operação da usina fotovoltaica.

De posse dos dados, foram realizadas análises referentes à participação da geração da usina fotovoltaica no consumo energético total no HFP, impacto financeiro da geração fotovoltaica na tarifa de água K2 variável, resiliência às flutuações tarifárias de energia ocasionada pela escassez hídrica e a viabilidade econômico-financeira da usina.

Resultados e Discussão

Caracterização do Projeto de Irrigação Pirapora

O Projeto de Irrigação de Pirapora (PPI Pirapora), localizado no município de Pirapora/MG, foi implantado pela Codevasf e teve sua construção, iniciada em 1975, como a primeira experiência de agricultura irrigada no norte de Minas Gerais. O projeto entrou em operação em 1978, tendo a cogestão com a Associação dos Usuários do Projeto Pirapora (AUPPI), iniciada em 1987. A associação recebeu a transferência de gestão do projeto, por meio da Portaria nº 330, de 05 de abril de 2006, cabendo-lhe a responsabilidade da administração, operação, manutenção e conservação da infraestrutura de uso comum.

O PPI Pirapora é um grande gerador de emprego e renda, além de importante indutor da prática da agricultura irrigada para toda a região da sua área de influência, considerado um importante polo da fruticultura irrigada, apontado como referência nacional na produção de uva de mesa.

A infraestrutura de uso comum do perímetro conta com uma Estação de Bombeamento Principal, responsável pela captação da água junto ao rio São Francisco, composta por três conjuntos eletrobombas verticais, com vazão unitária de 1.250 m³/h e altura manométrica de 42 m.c.a., com funcionamento de 20 horas por dia. A água captada é conduzida até uma

Estação de Bombeamento e Pressurização (Booster) com vazão total de 4.270 m³/h, sendo composta de duas alas, a Sul, de alta pressão (86 m.c.a.), composta por quatro conjuntos moto bomba, com vazão total de 2.613,80 m³/h, unitária de 653 m³/h e potência de 300 CV e Norte de pressão média (68 m.c.a.), composta por três conjuntos moto bomba, com vazão total permitida de 1.656 m³/h, unitária de 552m³/h e potência de 250 CV, que pressuriza e distribui a água, por meio de tubulações, às unidades parcelares.

O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é o tropical úmido e temperado de altitude (Aw), com predomínio das chuvas no verão, evapotranspiração potencial em torno de 1.000 mm e insolação média anual de 2.400 horas. Segundo o Atlas Solarimétrico, da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), o município de Pirapora/MG possui alta incidência direta de luz solar, com valor anual de 5,872 kWh/m².

Segundo a Política Nacional de Irrigação, Lei 12.787/13, os custos referentes à administração, operação e manutenção (AOM) das infraestruturas de uso comum de perímetros públicos de irrigação devem ser rateados entre os irrigantes. Esse rateio é realizado pelo gestor do PPI por meio de um Planejamento Operacional Anual (POA), que calcula as tarifas com base no planejamento da operação. Essa tarifa, denominada tarifa de água K2, é subdividida em dois componentes, um fixo, representando os custos fixos de AOM — incluindo a demanda de energia, e cobrada com base na área irrigável de cada unidade parcelar — e um componente variável, que corresponde, majoritariamente, ao custo do consumo de energia elétrica cobrada com base no consumo de água de cada unidade parcelar.

Informações da concessionária de energia

O PPI Pirapora é atendido pela CEMIG, sendo o enquadramento tarifário definido como Classe Rural, Subclasse Serviço Público de Irrigação SUDENE/IDENE e Modalidade Tarifária THS Verde A4.

O consumo em sistemas de irrigação, a ser suprido pela energia fotovoltaica, deve ser analisado sob a perspectiva do Horário Fora de Ponta (HFP), das 06h00 às 17h00. Essa análise considera a correspondência com o horário da geração de energia fotovoltaica, as tarifas diferenciadas oferecidas pelas concessionárias de energia elétrica para o setor da irrigação no horário reservado, ou seja, no horário noturno, das 21h30 às 06h00, e ainda o planejamento da operação da infraestrutura de uso comum pelo período de 20 horas, não havendo, portanto, previsão de operação no Horário de Ponta, isto é, no horário de pico das 17h00 às 21h30, devido ao elevado custo desta tarifa.

Informações da usina fotovoltaica

O projeto de avaliação de viabilidade da usina fotovoltaica do PPI Pirapora considerou a geração de 60% da energia consumida no reservatório de armazenamento (Booster), no horário fora de ponta das 06h00 às 17h00. O dimensionamento resultou em uma potência operacional de 1,34 Mwp, com geração média de 168 Mwh/mês, contemplando 3.600 módulos fotovoltaicos ocupando uma área de 2,8 hectares, sendo prevista, ainda, a interligação na rede da concessionária de energia para injeção da carga com geração de créditos futuros (*on-grid*) e previsão de retorno do investimento (*Payback* simples) em um período de 10 anos.

A usina fotovoltaica do PPI Pirapora teve sua implantação iniciada pela AUPPI, por meio de financiamento próprio, em setembro de 2019. A instalação do PPI Pirapora ocorreu dentro da área destinada à implantação da infraestrutura de administração e apoio à produção, portanto, não houve custos na aquisição de terreno para a sua implantação.

A interligação da usina à rede de distribuição da concessionária de energia não foi possível em razão da necessidade de construção de uma rede de energia de aproximadamente um quilometro de extensão, que não estava prevista no projeto. Devido ao alto custo para a construção da rede, a AUPPI optou pela operação da usina na modalidade autoconsumo sem excedente e sem armazenamento.

A administração da operação e manutenção da usina contempla o acompanhamento da geração da usina fotovoltaica com anotação dos dados referentes ao seu funcionamento, manutenções de rotina e substituição de peças e componentes. Estas atividades foram absorvidas pela AUPPI, sem necessidade de ampliação da infraestrutura existente.

Dessa forma, os custos com a manutenção correspondem ao valor da aquisição de componentes visando sua substituição ao final da vida útil dos mesmos, sendo considerada a recomendação dos fabricantes de vida útil de 25 anos para o módulo fotovoltaico e 10 anos para os demais equipamentos (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2018).

A operação da usina teve início em setembro de 2020 e foi afetada por vários fatores, como o superaquecimento dos cabos com conseqüente queima e necessidade de substituição dos mesmos, defeitos nos inversores com acionamento da troca no período de garantia, regularização de documentação e adequação da subestação para funcionamento na modalidade, sem interligação com a rede de transmissão.

Diante das dificuldades observadas na operação inicial, verificou-se vários meses sem produção de energia pela usina fotovoltaica, tendo a usina apresentado uma geração consistente e sem interrupções a partir do ano de 2022, sendo este o período objeto da análise.



Figura 14 – Usina Fotovoltaica do Projeto Público de Irrigação Pirapora

Análise da participação da geração da usina fotovoltaica no consumo energético total no HFP

A análise da participação da usina no consumo total de energia foi realizada com base no consumo total da energia no HFP, representado pela somatória da energia fornecida pela concessionária no HFP e da energia gerada pela usina fotovoltaica durante o período analisado.

No ano de 2022, a usina fotovoltaica gerou 47% da energia total consumida no HFP, o que corresponde a 78% da energia prevista para ser gerada, conforme o projeto.

O comportamento do consumo total de energia no HFP, o consumo energético da concessionária de energia, bem como a geração fotovoltaica e sua porcentagem em relação ao consumo total mensal no HFP, para o ano de 2022, pode ser observado na Figura 2.

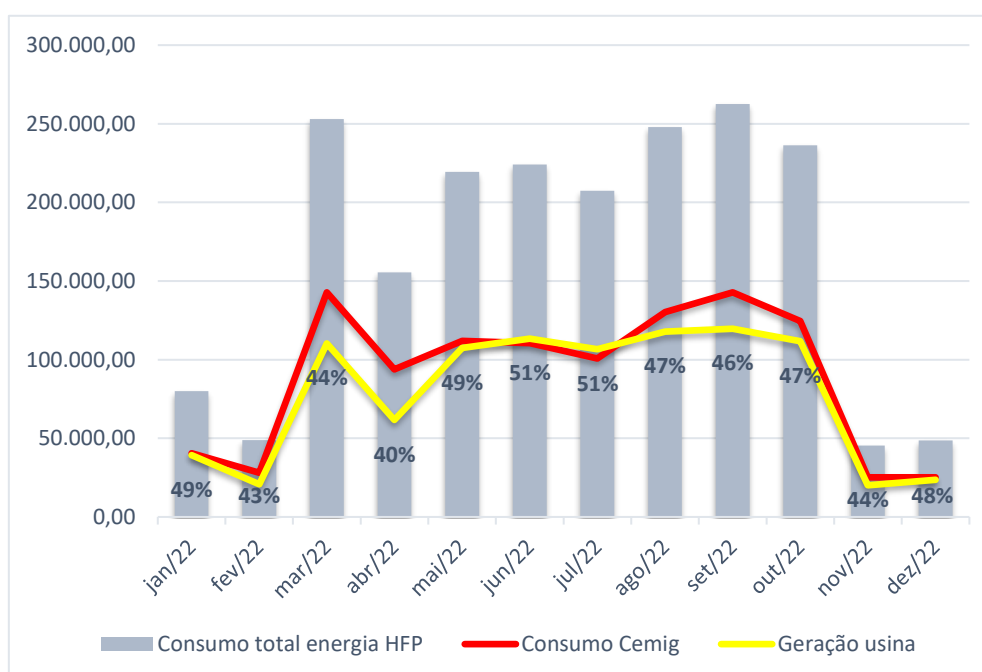


Figura 15 – Consumo energético total no HFP, consumo energético da operadora de energia e geração da usina com a porcentagem de participação na consumo total da energia no HFP de 6h da manhã às 17hs no ano de 2022

Análise do impacto financeiro da geração fotovoltaica na tarifa de água K2 variável

Considerando a modalidade de operação da usina que não contempla a geração de créditos futuros, a energia fotovoltaica gerada assume o mesmo valor da tarifa de energia cobrada pela concessionária. Nessa modalidade, a energia fotovoltaica gerada pode ser analisada como desconto no valor da fatura de energia da concessionária.

O cálculo do impacto financeiro da geração da energia fotovoltaica sobre a tarifa de água K2 variável foi realizada por meio de simulação do valor que teria sido pago à concessionária de energia elétrica caso não houvesse a geração de energia fotovoltaica sendo o valor dividido pelo consumo de água observado no ano de 2022, acrescido das despesas com energia da estação de captação.

Da mesma maneira, o cálculo do valor pago com a geração a energia fotovoltaica considerou os valores pagos à concessionária de energia elétrica acrescido das despesas com energia da estação de captação, dividido pelo volume de água fornecido no ano de 2022.

Desse modo, a economia com a geração da energia fotovoltaica representou uma redução de 48% no valor da tarifa de água K2 variável do ano de 2022.

Impacto na Tarifa de Água	2022
Volume fornecido em 1.000 m ³	10.356,22
Custo consumo total da energia sem energia fotovoltaica	R\$ 2.066.142,16
Custo consumo total da energia com energia fotovoltaica	R\$1.076.627,65
Tarifa sem geração fotovoltaica/1.000m ³	R\$ 189,17
Tarifa considerando a geração fotovoltaica/1.000m ³	R\$ 103,96
Redução na tarifa %	48%

Tabela 8 – Impacto da geração fotovoltaica na tarifa de água K2 variável no HFP

Análise da resiliência às flutuações tarifárias de energia ocasionada pela escassez hídrica

Devido ao agravamento da crise hídrica nacional, que culminou em 2021 no pior cenário dos últimos 91 anos, o governo implementou duas medidas preventivas visando a redução da demanda de energia no período de escassez hídrica, sendo a primeira a criação da bandeira tarifária escassez hídrica e a segunda, a implementação do programa de resposta voluntária da demanda para os consumidores cativos, na forma de bonificação no valor de R\$ 50,00 por 100 kWh, reduzidos a partir de setembro de 2021 até abril de 2022, limitado à faixa de economia entre 10% e 20% (INFORME ENERGIA ELÉTRICA..., 2021).

Nesse contexto, pode-se analisar o impacto da geração da energia fotovoltaica como economia gerada pela redução no pagamento da tarifa escassez hídrica, como consequência da redução do consumo de energia proveniente da concessionária e O recebimento de bônus referente à redução no consumo no período de setembro de 2021 a abril de 2022 também pode ser analisado sob a perspectiva da economia gerada.

Mês	Geração usina	Tarifa escassez hídrica (Kwh)	Economia tarifa de escassez hídria	Desconto
jan/22	39.378,00	R\$0,15	R\$5.749,73	R\$39.634,07
fev/22	20.756,00	R\$0,15	R\$3.030,66	R\$28.401,73
mar/22	110.225,00	R\$0,15	R\$16.094,36	R\$38.982,94
abr/22	61.600,00	R\$0,15	R\$8.994,45	R\$0,00
mai/22	107.440,00	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00
jun/22	113.469,00	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00
jul/22	106.662,00	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00
ago/22	117.775,00	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00
set/22	119.675,00	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00
out/22	111.746,00	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00
nov/22	20.121,00	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00
dez/22	23.548,00	R\$0,00	R\$0,00	R\$0,00
TOTAL	952.395,00		33.869,20	R\$107.018,74

Tabela 9 – Economia pela redução do valor pago pela bandeira escassez hídrica e bônus pela redução do consumo observados no ano de 2022

A economia total no ano de 2022 foi de R\$ 140.887,94, representando 7% do valor total pago à concessionária de energia pela energia consumida no Booster.

Esse resultado indica uma redução da vulnerabilidade energética ocasionada pela flutuações tarifárias de energia em função da escassez hídrica.

Análise da Viabilidade econômico-financeira

A análise da viabilidade econômico-financeira da usina foi realizada pelo emprego do payback simples, um indicador de recuperação do investimento, calculado a partir do custo total do investimento e pelo fluxo de caixa anual gerado pelas economias de energia elétrica. Esse fluxo de caixa representa a economia obtida com a redução dos gastos em eletricidade que o sistema fotovoltaico proporciona em relação ao uso convencional da rede elétrica.

O investimento foi considerado como o valor de implantação da usina, já com relação à manutenção foi considerada apenas o valor de substituição dos componentes ao final de sua vida útil, conforme preços de mercado, uma vez que a manutenção é feita pela AUPPI, sem necessidade de aumento da infraestrutura já em operação. Para a realização do cálculo desde o início da operação da usina, foi considerada a economia obtida com a redução dos gastos em eletricidade que o sistema fotovoltaico proporcionou nos anos de 2020 a 2022.

A partir de 2023, a geração observada em 2022 foi extrapolada para os anos posteriores, sendo considerada a manutenção da mesma tarifa praticada pela concessionária de energia no ano de 2022. Vale destacar que, para os anos extrapolados, não foram consideradas as tarifas de escassez hídrica e nem os descontos por redução do consumo por se tratar de componentes implantados em caráter excepcional, cuja previsibilidade de recorrência é baixa.

O cálculo do payback simples pode ser verificado na Tabela 3.

Ano	Investimento	Economia na Geração de Energia Elétrica	Manutenção	Payback simples
0	-R\$3.750.000,00	R\$-		-R\$3.750.000,00
1		R\$61.766,45		-R\$3.688.233,55
2		R\$70.496,72		-R\$3.617.736,83
3		R\$380.343,55		-R\$3.237.393,28
4		R\$239.455,61		-R\$2.997.937,67
5		R\$239.455,61		-R\$2.758.482,07
6		R\$239.455,61		-R\$2.519.026,46
7		R\$239.455,61		-R\$2.279.570,85
8		R\$239.455,61		-R\$2.040.115,24
9		R\$239.455,61		-R\$1.800.659,63
10		R\$239.455,61	-R\$309.323,14	-R\$1.870.527,17
11		R\$239.455,61		-R\$1.631.071,56
12		R\$239.455,61		-R\$1.391.615,95
13		R\$239.455,61		-R\$1.152.160,34
14		R\$239.455,61		-R\$912.704,73
15		R\$239.455,61		-R\$673.249,12
16		R\$239.455,61		-R\$433.793,52
17		R\$239.455,61		-R\$194.337,91
18		R\$239.455,61		R\$45.117,70
19		R\$239.455,61		R\$284.573,31
20		R\$239.455,61	-R\$309.323,14	R\$214.705,78
21		R\$239.455,61		R\$454.161,38
22		R\$239.455,61		R\$693.616,99
23		R\$239.455,61		R\$933.072,60
24		R\$239.455,61		R\$1.172.528,21
25		R\$239.455,61		R\$1.411.983,82

Tabela 3 – Payback simples

Devido a não integração da usina à rede de transmissão de energia elétrica com geração de créditos futuros, foi observado um aumento do Payback inicialmente previsto em 7,81 anos.

Considerando as variáveis aplicadas o Payback simples foi de 17,81 anos, havendo, portanto, a recuperação do investimento dentro da tempo de vida útil da usina fotovoltaica.

Considerações Finais

A utilização da energia fotovoltaica no horário correspondente ao horário fora de ponta, ou seja, no período das 06h00 às 17h00, promoveu a redução dos custos operacionais do Perímetro Público de Irrigação Pirapora devido à redução do consumo energético em horários com tarifas mais caras, além de aproveitar melhor a disponibilidade de energia solar, maximizando os benefícios econômicos e ambientais da utilização da energia fotovoltaica no contexto da irrigação.

A utilização da energia fotovoltaica representou uma redução de 48% na tarifa de água K2 variável no ano de 2022 sendo um resultado significativo e importante para a sustentabilidade do PPI Pirapora.

A adoção de sistemas de geração de energia fotovoltaica resultou em um impacto positivo na redução da vulnerabilidade às flutuações tarifárias de energia ocasionada pela escassez hídrica, sendo essas condições desejáveis para evitar maiores acréscimos nas tarifas de água ocasionadas pelo aumento das tarifas energéticas nos períodos de crise hídrica, uma vez que, nesses momentos, os perímetros de irrigação, em função da atividade da agricultura irrigada, estão sujeitos à redução no fornecimento de água, com consequente aumento das tarifas de água K2 e, ainda, redução da produção e produtividade, bem como área plantada, com impacto sobre a capacidade de produção e de pagamento dos irrigantes.

As análises demonstraram a viabilidade da usina através da recuperação do investimento e da substituição de componentes durante o tempo de vida útil do sistema fotovoltaico.

O investimento em energia fotovoltaica em Perímetros Públicos de Irrigação se apresentou como uma estratégia eficiente para lidar com crises energéticas e reduzir os custos com energia, ao mesmo tempo em que contribuem para a melhoria da eficiência e da sustentabilidade das práticas agrícolas e ambientais, além de favorecer o alcance do ODS 7, contribuindo para a construção de uma sociedade mais resiliente e equitativa.

A implementação de políticas públicas voltadas para o estímulo da geração de energia renovável e o incentivo à economia de energia por meio de programas, como o de resposta voluntária da demanda, podem trazer benefícios tanto para os consumidores quanto para o país, auxiliando na busca pela sustentabilidade energética nacional.

A redução nos gastos com energia elétrica e a diminuição da dependência de fontes hídricas fortaleceram a resiliência do Perímetro de Irrigação Pirapora, reduzindo os impactos negativos da escassez hídrica na gestão e operação desse importante empreendimento da agricultura irrigada.

Os resultados encontrados reforçam a importância e os benefícios econômicos e ambientais da energia fotovoltaica no contexto da irrigação, fornecendo um exemplo positivo para a adoção de práticas sustentáveis em perímetros públicos de irrigação.

Referências Bibliográficas

Cemig Explica Bandeiras tarifárias da conta de luz. Agência Minas, Belo Horizonte, 12 jan. 2022. Disponível em: <<https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/cemig-explica-bandeiras-tarifarias-da-conta-de-luz>>. Acesso em: 29 abr. 2023.

Dantas, Stefano Giacomazzi; Pompermayer, Fabiano Mezandre; 2018. Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

Hauptenthal, S. W.; Vilas Boas, M. A.; Siqueira, J. A. C.; Tokura, L. K.; 2021. Evolução do sistema de energia fotovoltaica aplicada ao bombeamento de água para irrigação. Latin American Journal of Energy Research, v. 8, n. 1. DOI: <https://doi.org/10.21712/lajer.2021.v8.n1.p22-35>.

Informe Energia Elétrica — Agosto 2021; 2021. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas (FGV Energia). Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/informe_energia_eletrica_-_agosto_3.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2023.

Leite, D. V. Análise do Potencial do uso da energia solar em sistemas de bombeamento para irrigação no perímetro irrigado Piauí no município de Lagarto/SE; 2016. 122 f. Projeto de Pesquisa (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) — Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão (SE), 2016.

Martins, L. Z. R. Geração centralizada de energia solar fotovoltaica e desenvolvimento local: estudo de caso da usina de Pirapora. 2017. 147 f. Monografia (Bacharelado em Administração Pública) — Curso de Administração Pública, Escola de Governo Professor Paulo Neves de Carvalho, Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 2017.

Paes, R. G. Desempenho de um sistema de irrigação fotovoltaico autônomo e com armazenamento de energia em baterias. 2019. 66 f. Dissertação (Magister Scientiae em Engenharia Agrícola) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG), 2019.

Pereira, Enio Bueno; Martins, Fernando Ramos; Gonçalves, André Rodrigues; Costa, Rodrigo Santos; Lima, Francisco J. Lopes de; Rütther, Ricardo; ABREU, Samuel Luna de; Tiepolo, Gerson Máximo; Pereira, Silvia Vitorino; Souza, Jefferson Gonçalves de; 2017. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2. ed. São José dos Campos (SP): Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Tarifas; 2023. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas>>. Acesso em: 14 maio 2023.

REFORMA DO ETANOL UTILIZANDO CATALISADORES DO TIPO HIDROTALCITA: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

¹Rafael Feliciano de Sousa, ²Ricardo Francisco Pires, ³Sandra Cristina Dantas

Universidade Federal do Triângulo Mineiro, ²e-mail: ricardo.pires@uftm.edu.br; ³e-mail: sandra.dantas@uftm.edu.br

Palavras-chave: produção de hidrogênio; níquel; cobalto

Resumo

A busca por rotas alternativas de energia, motivada por questões econômicas e ambientais, tem impulsionado o desenvolvimento de novas abordagens. Entre as opções, destaca-se a produção de hidrogênio por meio de reações de reforma utilizando fontes renováveis, como o etanol. A viabilidade econômica dessa produção está intrinsecamente ligada ao avanço de catalisadores eficientes e estáveis. Nesse contexto, os catalisadores derivados de hidrotalcita, ou hidróxidos duplo lamelares (HDLs), surgem como candidatos promissores, demonstrando resistência à formação de carbono. Apesar da vasta quantidade de pesquisas e revisões sobre a reforma do etanol, até o momento não foi conduzido um estudo bibliométrico abrangente nesse campo. Tais estudos oferecem uma valiosa ferramenta para rastrear a produção científica e identificar tendências acadêmicas. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi preencher essa lacuna, conduzindo uma análise bibliométrica para elucidar a importância da reforma do etanol com catalisadores de hidrotalcita. Utilizando a base de dados *Web of Science Core Collection*, um estudo bibliométrico foi realizado, abrangendo publicações das duas últimas décadas. A análise abordou os 20 documentos mais relevantes da área, explorando indicadores-chave de pesquisa. Essa abordagem permitiu uma compreensão aprofundada do panorama atual e das tendências emergentes, contribuindo para facilitar a colaboração e a disseminação do conhecimento entre pesquisadores. Nesse contexto, a análise bibliométrica não apenas esclareceu a relevância do tema, mas também lançou luz sobre os desafios e as oportunidades para o futuro. Esse estudo oferece uma base sólida para a pesquisa colaborativa, direcionando esforços para o desenvolvimento de processos mais eficientes e sustentáveis na produção de hidrogênio a partir do etanol, contribuindo assim para um futuro energético mais limpo e viável.

Introdução

Desde os primórdios da existência humana, a energia tem sido o elemento fundamental e de importância indiscutível. Nenhuma atividade pode ser realizada sem a presença desse recurso vital. Por exemplo, tanto seres humanos quanto animais consomem plantas como fonte de alimento, convertendo energia química em diversas outras formas energéticas, seguindo os princípios fundamentais da primeira lei da Termodinâmica. No entanto, a crescente dependência de combustíveis fósseis, formados por matérias orgânicas que repousam sob as profundezas da Terra por milhões de anos, levanta preocupações substanciais. Hoje em dia, nossa sociedade depende consideravelmente de combustíveis fósseis, como petróleo e carvão, para atender a demandas que variam desde produção de eletricidade até transporte e aquecimento. No entanto, essas fontes não apenas se esgotam gradualmente, mas também têm impactos prejudiciais na saúde humana e no ambiente, desencadeando uma necessidade urgente de buscar alternativas sustentáveis. O aumento contínuo no consumo de combustíveis fósseis é resultado direto das crescentes demandas do mercado e do crescimento populacional. Essa busca incessante tem um custo considerável para nosso planeta, manifestando-se por meio de impactos ambientais negativos e ameaças à saúde pública. A insustentabilidade inerente às fontes de energia tradicionais impulsionou a atenção global para a necessidade de identificar e adotar fontes alternativas que sejam ecologicamente amigáveis e renováveis (Ishaq et al., 2022; Boretti e Banik, 2021; Maeda et al., 2021).

Neste sentido, o hidrogênio como fonte de energia verde pode se tornar o caminho para uma matriz energética ambientalmente melhor, com menor ou praticamente zero emissões de CO₂. Do ponto de vista da busca pelo decréscimo da emissão de carbono, as energias renováveis (energia eólica, solar), bem como a energia nuclear, são hoje utilizadas apenas para a produção de eletricidade. O hidrogênio pode ser obtido a partir de diferentes tipos de processos de reforma, incluindo reforma a vapor, reforma de dióxido de carbono, reforma de oxidação parcial e trirreforma de diferentes combustíveis de hidrocarbonetos (metano, etanol, metanol, glicerol, butano, carvão) (Xing et al., 2020; Kumar et al., 2020; Ighalo e Adeniyi, 2019; Dantas et al., 2016; Dantas et al., 2010). Alia-se a isso, o fato da reforma de combustíveis de hidrocarbonetos ser um processo bem estabelecido para produzir gás de síntese e hidrogênio com aplicação potencial na exploração espacial (Okonkwo e Biswas, 2021). Dependendo da proporção de hidrogênio do gás de síntese para monóxido de carbono, ele pode ser usado em vários processos a jusante, incluindo síntese de metanol, síntese de Fischer-Tropsch, oxo-síntese e metanação (Méndez e Ancheyta, 2020; Song e Guo, 2006). O hidrogênio também tem o potencial de ser uma fonte de energia ecológica e está sendo usado em células de combustível de membrana de eletrólito de polímero (HT-PEMFC) para gerar eletricidade (Nazir et al., 2020).

Atualmente, existem muitos grupos de pesquisas interessados na reforma do etanol. Este pode se tornar um importante processo industrial, principalmente em países produtores de cana-de-açúcar, como é o caso do Brasil. Sabe-se que, o hidrogênio produzido a partir de etanol pode ser considerado como um vetor energético “neutro” em termos de emissão de CO₂ (Hou et al., 2015). Na tentativa de obter maior estabilidade, frente às reações de reforma do etanol, para os catalisadores Ni/Al₂O₃, que são os catalisadores utilizados industrialmente no processo de reforma do gás natural, alguns trabalhos adicionam aditivos básicos que neutralizem a alumina, como MgO e CaO, ou promotores que promovam a estabilidade do catalisador, como ZrO₂ e CeO₂ (Rouibah et al., 2017; Auprêtre et al., 2002). De acordo com Zhang et al. (2021), espécies

metálicas secundárias também têm sido adicionadas em catalisadores como promotor na resistência à formação de carbono para as reações de reforma.

Catalisadores obtidos a partir de precursores do tipo hidrotalcita, ou hidróxidos duplo lamelares (HDL), tem sido avaliados para as reações de reforma e têm se mostrado resistentes à formação de carbono (Guil-Lopez et al., 2011). Guil-Lopez et al. (2011) avaliaram o desempenho de catalisadores de Ni, Co ou Cu derivados de compostos do tipo hidrotalcita na produção de hidrogênio pela reação de reforma oxidativa do etanol. Elevadas cristalinidades dos precursores tipo hidrotalcita foram obtidas usando o método de hidrólise de uréia. Os autores observaram que os tamanhos de cristalitos dos óxidos de metal ativos decrescem com o aumento da cristalinidade do precursor do tipo hidrotalcita. Além disso, estes pequenos tamanhos de cristalitos favorecem fortes interações entre o metal ativo e a matriz amorfa dos cátions de Al-modificados, causando uma alta estabilização destas fases de metal ativas. Segundo os autores, o catalisador de cobre apresentou a menor atividade catalítica e menor formação de hidrogênio entre todos os catalisadores avaliados. Como constatado, o desenvolvimento de catalisadores ideais na reforma a vapor de álcool interfere diretamente no resultado final do processo. Assim, a seleção de suporte e os métodos usados em sua síntese são considerados fatores chave para seus desempenhos catalíticos. Para que o processo se torne viável, os catalisadores devem possuir algumas características como estabilidade, alta atividade e seletividade a H₂. Outra característica essencial é possuir alta área superficial e consequente baixo diâmetro dos cristalitos da fase metálica para que os processos de reforma de álcoois e hidrocarbonetos sejam ativos.

Nesse contexto, conhecendo as características de catalisadores do tipo hidrotalcita de níquel e/ou cobalto, espera-se que este catalisador seja uma boa opção para as reações de reforma do etanol. Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise bibliométrica com base na literatura referente ao tema. A bibliometria permite aos pesquisadores analisar, interpretar e desenvolver indicadores sobre a evolução e a dinâmica da informação científica em um determinado campo. Essa técnica analisa as características da literatura existente sobre um assunto para reconhecer as direções futuras de pesquisa e melhorar a tomada de decisão reduzindo a margem de erro. Esses indicadores podem apontar o estado mais recente de um tópico e são particularmente úteis para pesquisadores que iniciam uma nova pesquisa em um campo. Desta forma, ao examinar e interpretar a dinâmica da informação científica nessa área, busca-se fornecer uma base sólida para promover abordagens mais promissoras na produção de hidrogênio, contribuindo assim para um futuro energético mais sustentável e ambientalmente consciente.

Material e Métodos

De acordo com Köche (2009), a ciência é um processo de investigação em busca de relações existentes entre aspectos que envolvem fatos, situações, acontecimentos, fenômenos ou objetos. Segundo o autor, delimitar o problema a ser pesquisado resulta de um trabalho mental, uma construção teórica que visa entender a complexa rede de relações interdependentes entre os fatos. Portanto, o problema define os limites da dúvida e orienta tanto a pesquisa quanto o trabalho da equipe.

A coleta de dados para facilitar o acesso à informação é uma atividade de extrema importância. Assim, a proposta de análise bibliométrica da reforma a vapor é um dos focos deste estudo. Para isso, o método adotado para a análise bibliométrica envolveu pesquisas no banco de dados da *Web of Science*. Nesse banco de dados, estão armazenados artigos, trabalhos acadêmicos e pesquisas científicas, formando uma base rica de supostos acadêmicos.

A pesquisa abrangeu diversas áreas e ofereceu métricas que possibilitam uma análise ampla. Para avaliar a qualidade dos trabalhos selecionados, também foi realizada uma análise qualitativa, envolvendo a leitura dos artigos mais relevantes em cada etapa do desenvolvimento deste estudo.

As datas de pesquisa abrangeram o período de 01/02/2023 a 01/03/2023, englobando todos os artigos, publicações e materiais acadêmicos disponíveis até o momento da produção deste trabalho. Isso permitiu uma análise de estudos atualizados, que utilizam tecnologias mais avançadas. Além disso, levou em consideração a possibilidade de que estudos anteriores possam ter se tornado obsoletos em relação ao cenário atual, onde novas tecnologias podem trazer inovações relevantes para a problemática da reforma a vapor do etanol.

Para realizar essa pesquisa, foi utilizado o software *RStudio* e a base de dados obtida na plataforma *Web of Science*. Através do uso da ferramenta *Biblioshiny*, que é voltada para análise e mapeamento científico, gráficos e imagens (em inglês) foram gerados para ilustrar e apoiar os resultados deste estudo.

Dessa forma, o processo de pesquisa seguiu as seguintes etapas:

- a) Realização de pesquisa por palavras-chave (Keywords), incluindo: (“Ethanol reforming” AND “Hydrotalcite” AND “Cobalt” AND “Nickel”);
- b) Exportação dos arquivos .csv das bases contendo os índices de processamento;
- c) Criação de uma planilha de artigos agrupados, sem duplicações, contendo dados da base *Web of Science*, usando a ferramenta *Bibliometrix*;
- d) Análise dos principais resultados obtidos a partir de valores de fator de impacto, número de citações e ano de publicação.

Resultados e Discussão

Após a execução das etapas de produção descritas anteriormente, a pesquisa realizada no banco de dados da *Web of Science* produziu um total de 3506 resultados na fase inicial de filtragem de dados. No entanto, por meio da aplicação do funil de pesquisa proposto na metodologia, o número foi reduzido para 20 trabalhos, conforme demonstrado nas Figuras 1 e 2. Essas figuras detalham a distribuição desses trabalhos entre diferentes áreas de publicação.

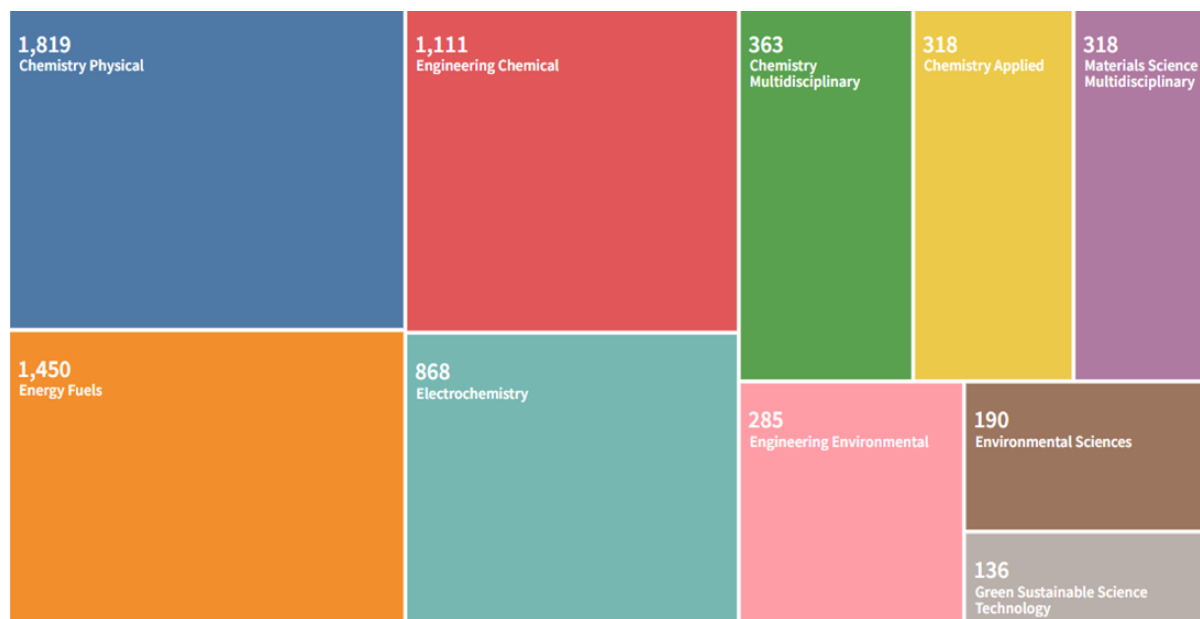


Figura 1: Filtragem de dados para a pesquisa de “Ethanol Reforming”

Ao observar as Figuras 1 e 2, fica evidente que a maioria dos resultados está concentrada na categoria "Chemistry Physical". Essa predominância é uma consequência da natureza dos catalisadores, que envolvem processos de transferência de massa dentro de seus interstícios. Atualmente, os esforços mais significativos são direcionados à busca da máxima eficiência na redução da energia de ativação do processo, visando facilitar e manter o rendimento do estudo em foco. Outras categorias, como Físico Química, Eletroquímica, combustíveis energéticos e Engenharia Química, ganham destaque devido aos estudos relacionados à eficiência, quantidade de energia gerada pelo processo, etapas quimicamente sustentáveis, e a química subjacente desde as etapas iniciais até a totalidade do processo, como ocorre nos estudos de aplicação e conhecimentos de engenharia química.

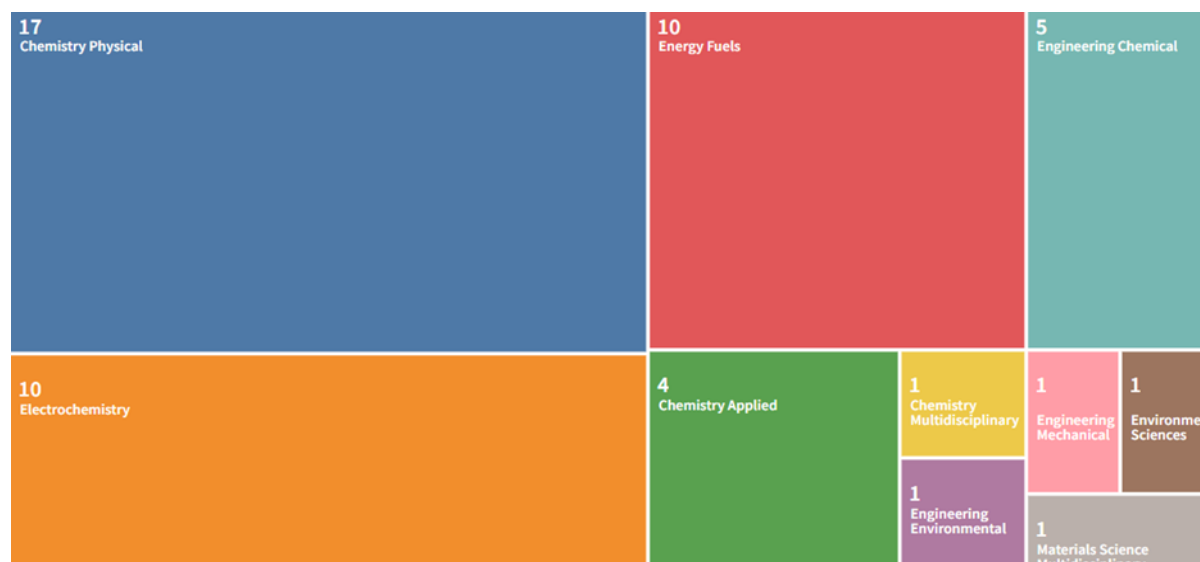


Figura 2: Filtragem de dados com a inclusão dos filtros “Hydrotalcite”, “Nickel”, “Cobalt”

Uma análise dos termos de pesquisa ao longo do período de 2005 a 2023 revela os termos mais proeminentes nas pesquisas, conforme mostrado na Figura 3. Observa-se que a busca por catalisadores à base de níquel em níveis de estudo tem experimentado um crescimento notável em comparação com outros termos. Isso pode ser atribuído a fatores como sua alta seletividade, relação de custo-benefício e eficiência aprimorada no processo, que não resulta em rápida inativação do catalisador. Por outro lado, o termo "bioetanol" mantém uma presença constante nas pesquisas, devido à natureza central do processo de pesquisa da reforma desse combustível. A análise dos resultados evidencia a importância crescente do estudo de catalisadores à base de níquel e sua relação com o processo de reforma do bioetanol. Essas descobertas sugerem tendências emergentes e áreas de foco prioritário no campo da reforma a vapor, que podem contribuir para um progresso mais eficaz e eficiente na produção de hidrogênio a partir do etanol.

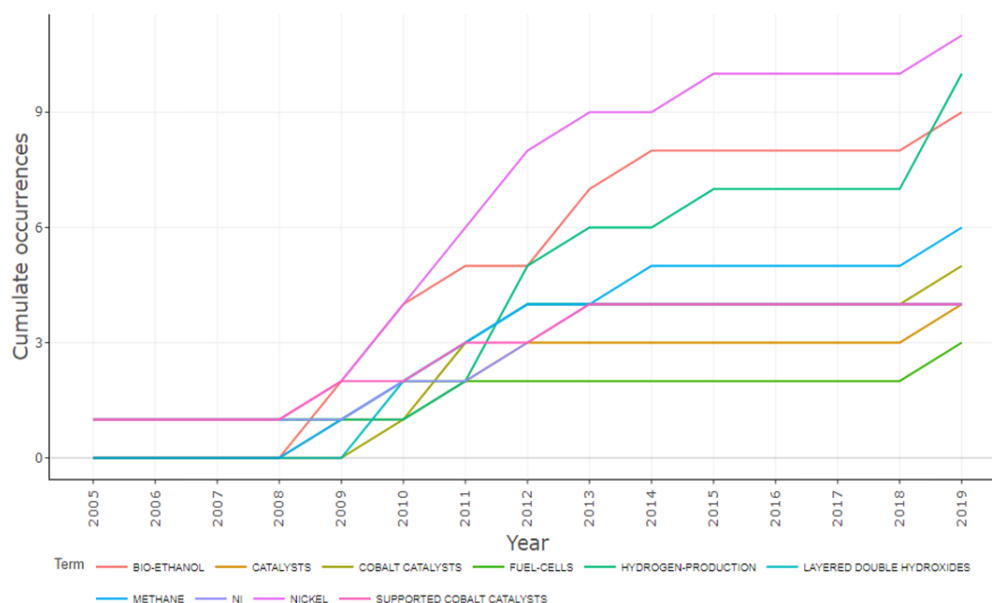


Figura 3: Termos mais explorados ao longo da faixa de pesquisa contido nas publicações.

Outro catalisador que se destaca é o cobalto, este apresenta número crescente de estudos, por decorrência similar ao níquel, entretanto a diferença entre os dois que agrega maior peso nas pesquisas se dá por conta do auxílio que o níquel fornece ao processo quando avaliado a estabilidade térmica. Geralmente, em diferentes processos reacionais de reforma, o níquel suporta temperaturas mais elevadas, enquanto o cobalto oxida mais rapidamente do que o níquel, dessa forma tendo menor destaque (Duan et al., 2022; Słowik et al., 2021).

Na representação gráfica do mapa temático na Figura 4, foram utilizadas as métricas: densidade (grau de desenvolvimento) e centralidade (grau de relevância). A centralidade representa o grau de relevância de determinado grupo para um campo científico, enquanto a densidade indica a interação de temas dentro do próprio grupo, representando o grau de desenvolvimento dos temas.

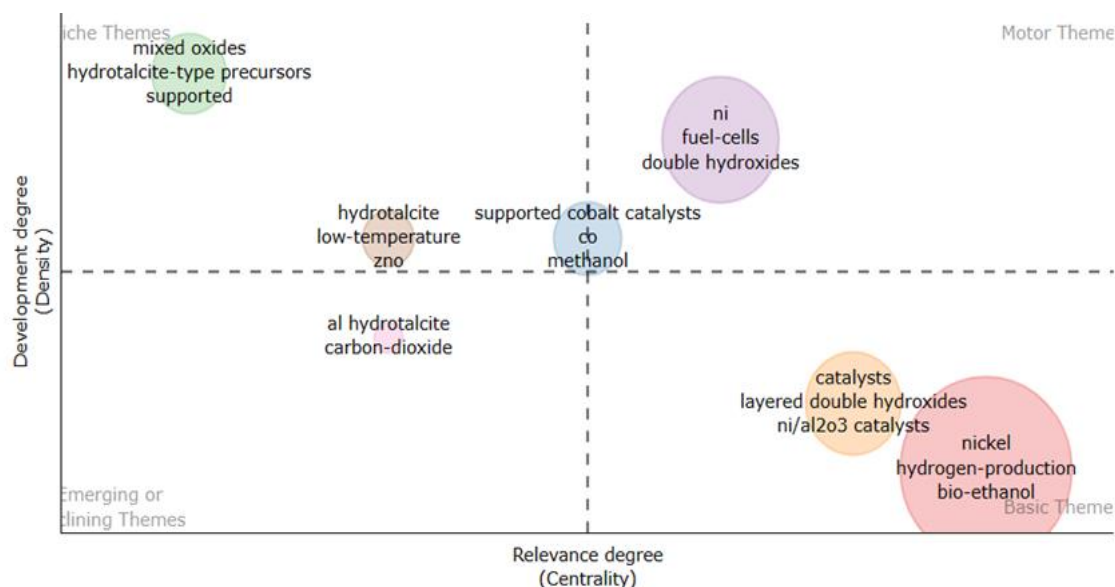


Figura 4: Análise dos temas mais relevantes dentro do processo em estudo

Analisando a Figura 4, identifica-se sete temas principais. O tema “nickel hydrogen-production bio-ethanol” apareceu com o mais desenvolvido, com forte centralidade, sendo um tema básico. Isso pode indicar que dentro da temática, a base de entendimento para os processos de produção de hidrogênio a partir do bioetanol, estão associados a catalisadores de níquel e este interage com diferentes áreas de pesquisa dos estudos analisados. O tema “ni fuel-cells double hydroxides” que se está atribuído a níquel, células a combustíveis, hidróxido duplo (associado à hidrotalcita) aparece como o mais desenvolvido no quadrante de tema motor, representando um papel crucial na evolução e desenvolvimento do processo de reforma do etanol. De modo geral, a presença de cobalto e níquel em catalisadores suportados sempre estão sendo aplicados a diversos temas,

enquanto centralizado está o estudo da utilização de cobalto suportado dentro da reforma do etanol na aplicação de um dos seus subprodutos o metanol. A partir disso, visando o reaproveitamento de todos os produtos e subprodutos para um destino economicamente mais favorável às indústrias, enquanto similarmente atua de forma mais verde, pelo fato da redução de desperdícios do processo.

Em meio a essa quantidade de produções de publicações, temos que os principais tópicos abordados, ou palavras nuvem (*wordcloud*) são demonstrados pela Figura 5.

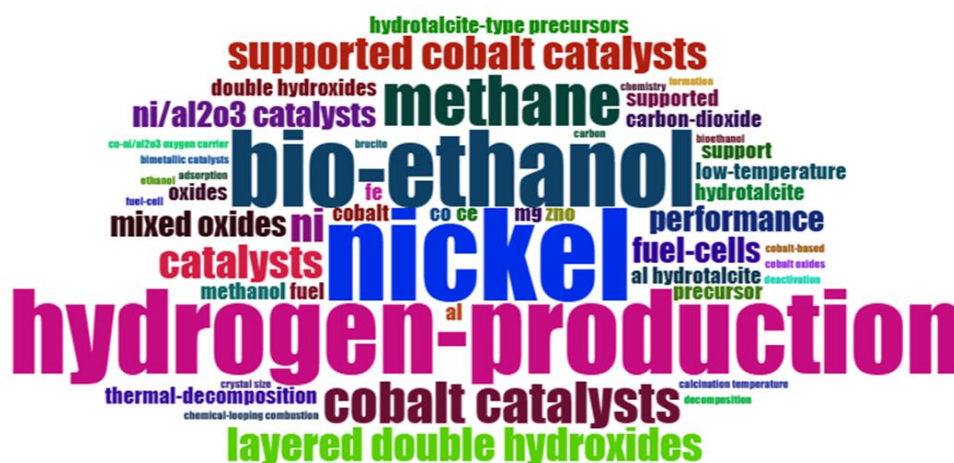


Figura 5: Palavras nuvem para a revisão bibliométrica.

Como é possível observar, alguns termos em destaques são abordados, como por exemplo Níquel, Bio-etanol e produção de hidrogênio. Essas palavras-chave ilustram a base sólida de conhecimento e pesquisa focada na eficiência e sustentabilidade da produção de hidrogênio a partir do etanol. Dessa forma, é possível afirmar que o desenvolvimento de níquel como catalisador e a alta taxa de desenvolvimento de pesquisas em função disso, se dá pela explicação da sua alta eficiência e a capacidade de suportar altas temperaturas sem a formação de coque, e desativação do catalisador.

Também foi avaliado quais os autores mais importantes, para a produção de conteúdo e a quantidade de publicações referente o tema analisado. Os resultados estão representados na Figura 6.

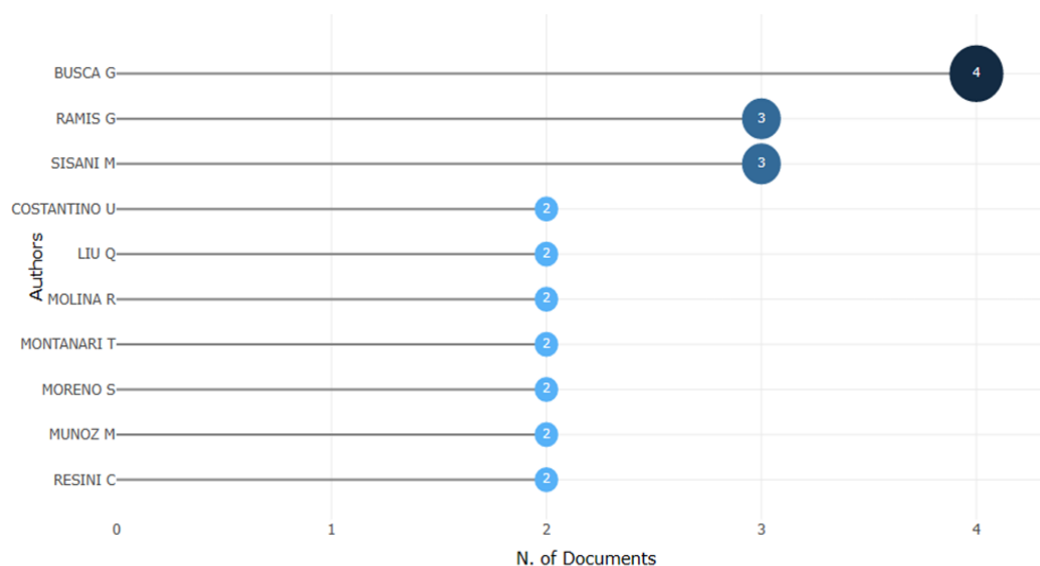


Figura 6: Autores e as quantidades de publicações para a Reforma do Etanol, empregando catalisador do tipo hidrotalcita de Cobalto e Níquel.

Como é possível analisar, pela Figura 6 o autor com maior quantidade produção intelectual foi Guido Busca, com a quantidade de 4 publicações, seguido por Gianguido Ramis e Michele Sisani com 3 publicações cada. Os três pesquisadores com maior quantidade de publicações apresentam trabalhos em conjunto, mostrando que o assunto é alvo de interesse do grupo de pesquisa em questão (Resini et al., 2009; Busca et al., 2010).

Munido das informações e compilação dos trabalhos acadêmicos de produção referente diretamente ao tema desse trabalho, optou-se por discutir três dos trabalhos de maior relevância.

Busca et al. (2010) utilizaram o método de hidrólise de ureia para a preparação dos precursores dos catalisadores do tipo hidrotalcita contendo Ni-Co-Zn-Al para a reação de reforma a vapor do etanol. De acordo com os autores, ficou evidente uma boa atividade catalítica dos catalisadores Co-Zn-Al e Co-Ni-Zn-Al preparados a partir de precursores duplo laminares semelhantes a hidrotalcita para reforma a vapor do etanol. Os autores observaram que a presença de cobalto aumenta a seletividade para H₂ e CO₂ e diminui a seletividade para metano na faixa de baixa temperatura 720-870 K. Catalisadores de cobalto parecem consequentemente se comportar melhor do que catalisadores à base de níquel nesta faixa de temperatura, e os autores afirmam que este comportamento é condizente com o que outros trabalhos apresentam mesmo com diferentes formulações de catalisadores. Os autores afirmam que a característica chave para a alta seletividade ao hidrogênio nesta faixa de temperatura está associada a uma estabilidade de um estado não completamente reduzido na superfície do catalisador, sendo a etapa determinante de seletividade mais relevante constituída pela evolução das espécies de acetato de superfície (intermediário chave da reação). De fato, sobre a superfície não reduzida do catalisador, as espécies de acetato evoluem produzindo dióxido de carbono e hidrogênio, enquanto sobre uma superfície mais reduzida elas evoluem dando origem a metano e COx. Supõe-se que a água tenha o papel principal de permitir que os sítios da superfície permaneçam em um estado não reduzido, pelo menos, na faixa de temperatura de 720-870 K.

Shejale e Yadav (2017) realizaram uma seleção sistemática na busca da melhor combinação de sistema catalisador-suporte para produção aprimorada de hidrogênio via reforma a vapor de etanol. Inicialmente, o níquel foi usado em suportes como MgO, Al₂O₃, CeO₂ e ZrO₂. Entre estes suportes, os autores verificaram que os suportes como MgO e Al₂O₃ foram muito superiores em comparação com outros suportes devido à sua maior estabilidade cíclica (até 4 ciclos) e atividade com menor formação de sub-produtos. Posteriormente, os autores sintetizaram material do tipo hidrotalcita de níquel calcinada (Ni/HTc) que produziu uma conversão de etanol ainda maior (90,3%) e concentrações de H₂ (>85% molar) em um único sistema, economizando assim custos para a produção de hidrogênio. Por fim, os autores sintetizaram um novo catalisador com adição de cobre e cobalto, do tipo Cu-Ni-Co/HTc, de modo a obter baixa formação de intermediários juntamente com alto rendimento de hidrogênio. O último catalisador produzido foi o melhor em termos de maior rendimento de hidrogênio (83,3%) em temperatura muito mais baixa. A presença de cobre, níquel e cobalto auxiliou na baixa formação de intermediários e coque (carbono depositado na superfície catalítica) com maior concentração de hidrogênio (93,6 mol%). A superioridade do catalisador foi ainda justificada por sua durabilidade multiciclo, tornando-o um potencial catalisador para aplicação em larga escala. Assim, os autores concluíram que o trabalho levou ao desenvolvimento de um sistema catalisador-suporte melhor e potencialmente atraente, estável, ativo e econômico para a produção sustentável de hidrogênio a partir do etanol.

Por último, o trabalho apresentado por Espinal et al. (2012) avaliaram catalisadores do tipo hidrotalcita Co/Mg/Al que foram carregados em um material estruturado do tipo monólito cerâmico e testados na reação de reforma a vapor do etanol para a produção de hidrogênio. Em contraste com os sistemas baseados em cobalto prévios, neste sistema, os autores observaram que a formação de carbono era escassa. Isso foi atribuído à formação única de vestígios de partículas metálicas de cobalto sob condições de reação, o que segundo o trabalho, foi confirmado pelas caracterizações realizadas durante a pesquisa. O melhor desempenho catalítico foi exibido pelo catalisador derivado da hidrotalcita com razão molar Co:Mg:Al de 1:2:1, onde foram identificados espinélio de CoAl e CoO interagindo fortemente com fases de MgO. Os autores concluíram que este é um resultado significativo, uma vez que a atividade catalítica em reações de reforma sobre sistemas à base de cobalto tem sido tradicionalmente atribuída apenas ao cobalto metálico.

Esses estudos, em conjunto, refletem o contínuo progresso na busca por catalisadores eficientes e estáveis para a produção de hidrogênio, fornecendo insights que podem moldar futuras abordagens de pesquisa e aplicações industriais, no âmbito da transição para fontes energéticas mais limpas e sustentáveis.

Comentários finais

É evidente que a busca por soluções inovadoras e eficientes na produção de hidrogênio a partir do etanol tem desempenhado um papel crucial no avanço da pesquisa científica. A análise bibliométrica e temática apresentada ofereceu uma visão profunda e abrangente sobre o estado atual das investigações nesse campo dinâmico e em constante evolução. A predominância dos catalisadores de níquel e cobalto na literatura reflete a relevância desses materiais na busca por alternativas sustentáveis para o fornecimento de hidrogênio.

A diversidade de abordagens e temas interconectados, conforme demonstrado nas figuras temáticas, revela o ambiente interdisciplinar em que esta pesquisa está inserida. A integração de diferentes campos, desde a química até a engenharia, é essencial para promover avanços significativos no desenvolvimento de processos catalíticos mais eficientes. A identificação de temas centrais, como "nickel hydrogen-production bio-ethanol" e "ni fuel-cells double hydroxides", destaca as áreas de maior concentração de conhecimento e destaca oportunidades de pesquisa futura.

Além disso, ao examinarmos os trabalhos selecionados em detalhes, percebemos que as pesquisas estão avançando em direção a catalisadores cada vez mais eficientes e processos otimizados. A partir deste estudo alguns pontos podem ser abordados para auxiliar pesquisas futuras no tema. Por exemplo, se desejasse estudar o uso de catalisadores do tipo hidrotalcita a base de níquel e cobalto para a produção de hidrogênio a partir da reforma do etanol, sabe-se previamente qual a metodologia e quantidade de cada metal empregada pelos autores avaliados que permitiram melhor desempenho catalítico. Então, pode-se propor uma metodologia experimental mais direcionada na tentativa de responder o que ainda não é consenso ou conhecido pela comunidade acadêmica. Em um panorama mais amplo, este estudo reforça a importância da pesquisa contínua e

colaborativa na busca por soluções energéticas mais limpas e viáveis. À medida que a transição para fontes de energia sustentáveis ganha urgência, a investigação detalhada dos catalisadores e processos envolvidos na reforma a vapor do etanol desempenha um papel importante na definição do futuro da produção de hidrogênio.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa APQ-00784-18 e a Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) pela bolsa de iniciação científica.

Referências Bibliográficas

- Aupretre, F., Descorme, C., Duprez, D. (2002). Bio-ethanol catalytic steam reforming over supported metal catalysts. *Catalysis Communications*, 3(6), 263-267.
- Boretti, A., & Banik, B. K. (2021). Advances in hydrogen production from natural gas reforming. *Advanced Energy and Sustainability Research*, 2(11), 2100097.
- Busca, G., Costantino, U., Montanari, T., Ramis, G., Resini, C., & Sisani, M. (2010). Nickel versus cobalt catalysts for hydrogen production by ethanol steam reforming: Ni-Co-Zn-Al catalysts from hydrotalcite-like precursors. *International journal of hydrogen energy*, 35(11), 5356-5366.
- Duan, X., Pan, J., Yang, X., Wan, C., Lin, X., Li, D., & Jiang, L. (2022). Nickel-cobalt bimetallic catalysts prepared from hydrotalcite-like compounds for dry reforming of methane. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(58), 24358-24373.
- Dantas, S. C., Escritori, J. C., Soares, R. R., & Hori, C. E. (2010). Effect of different promoters on Ni/CeZrO₂ catalyst for autothermal reforming and partial oxidation of methane. *Chemical Engineering Journal*, 156(2), 380-387.
- Dantas, S. C., Resende, K. A., Ávila-Neto, C. N., Noronha, F. B., Bueno, J. M. C., & Hori, C. E. (2016). Nickel supported catalysts for hydrogen production by reforming of ethanol as addressed by in situ temperature and spatial resolved XANES analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(5), 3399-3413.
- Espinal, R., Taboada, E., Molins, E., Chimentao, R. J., Medina, F., & Llorca, J. (2012). Cobalt hydrotalcite for the steam reforming of ethanol with scarce carbon production. *RSC advances*, 2(7), 2946-2956.
- Guil-López, R., Navarro, R. M., Peña, M. A., & Fierro, J. L. G. (2011). Hydrogen production by oxidative ethanol reforming on Co, Ni and Cu ex-hydrotalcite catalysts. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(2), 1512-1523.
- Hou, T., Zhang, S., Chen, Y., Wang, D., & Cai, W. (2015). Hydrogen production from ethanol reforming: catalysts and reaction mechanism. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 132-148.
- Ighalo, J. O., & Adeniyi, A. G. (2020). Factor effects and interactions in steam reforming of biomass bio-oil. *Chemical Papers*, 74, 1459-1470.
- Ishaq, H., Dincer, I., & Crawford, C. (2022). A review on hydrogen production and utilization: Challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(62), 26238-26264.
- Köche, J. C. (2009). Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa. In *Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa* (pp. 182-182)
- Kumar, R., Kumar, K., Pant, K. K., & Choudary, N. V. (2020). Tuning the metal-support interaction of methane tri-reforming catalysts for industrial flue gas utilization. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(3), 1911-1929.
- Maeda, T. C., Teixeira, L., Caixeta, L. C., Antonelli, R., Pinto, C. F., Dantas, S. C., ... & Malpass, G. R. P. (2021). Feasibility Of H₂ Production By Acid Corrosion Using H₂ Sif 6 And Waste Fe Sources. *Química Nova*, 44, 1226-1235.
- Méndez, C., & Ancheyta, J. (2020). Modeling and control of a Fischer-Tropsch synthesis fixed-bed reactor with a novel mechanistic kinetic approach. *Chemical Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124489>.
- Nazir, H., Muthuswamy, N., Louis, C., Jose, S., Prakash, J., Buan, M. E., ... & Kannan, A. M. (2020). Is the H₂ economy realizable in the foreseeable future? Part III: H₂ usage technologies, applications, and challenges and opportunities. *International journal of hydrogen energy*, 45(53), 28217-28239.

Okonkwo, O., & Biswas, P. (2021). Synthesis of Novel Catalysts for Carbon Dioxide Conversion to Products of Value. *Catalysis for Clean Energy and Environmental Sustainability: Petrochemicals and Refining Processes-Volume 2*, 527-556.

Resini, C., Montanari, T., Barattini, L., Ramis, G., Busca, G., Presto, S., ... & Costantino, U. (2009). Hydrogen production by ethanol steam reforming over Ni catalysts derived from hydrotalcite-like precursors: catalyst characterization, catalytic activity and reaction path. *Applied Catalysis A: General*, 355(1-2), 83-93.

Rouibah, K., Barama, A., Benrabaa, R., Guerrero-Caballero, J., Kane, T., Vannier, R. N., ... & Löfberg, A. (2017). Dry reforming of methane on nickel-chrome, nickel-cobalt and nickel-manganese catalysts. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(50), 29725-29734.

Shejale, A. D., & Yadav, G. D. (2017). Cu promoted Ni-Co/hydrotalcite catalyst for improved hydrogen production in comparison with several modified Ni-based catalysts via steam reforming of ethanol. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(16), 11321-11332.

Słowik, G., Greluk, M., Rotko, M., & Machocki, A. (2021). Influence of composition and morphology of the active phase on the catalytic properties of cobalt-nickel catalysts in the steam reforming of ethanol. *Materials Chemistry and Physics*, 258, 123970.

Song, X., & Guo, Z. (2006). Technologies for direct production of flexible H₂/CO synthesis gas. *Energy Conversion and Management*, 47(5), 560-569.

Xing, S., Zhao, C., Ban, S., Liu, Y., & Wang, H. (2020). Thermodynamic performance analysis of the influence of multi-factor coupling on the methanol steam reforming reaction. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(11), 7015-7024.

Zhang, H., Sun, Z., & Hu, Y. H. (2021). Steam reforming of methane: Current states of catalyst design and process upgrading. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111330.