

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISA EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO**

DANIELA WANCURA BARBIERI PEIXOTO

**CARACTERIZAÇÃO DA VARIAÇÃO TEMPORAL DE
SÓLIDOS EM SUSPENSÃO DA ÁGUA EM PCHS NO
RIO IVAÍ – RS A PARTIR DE DADOS LIMNOLÓGICOS
E DE SENSORIAMENTO REMOTO**

**PORTO ALEGRE, RS
2018**

DANIELA WANCURA BARBIERI PEIXOTO

**CARACTERIZAÇÃO DA VARIAÇÃO TEMPORAL DE SÓLIDOS EM
SUSPENSÃO DA ÁGUA EM PCHS NO RIO IVAÍ - RS
A PARTIR DE DADOS LIMNOLÓGICOS E DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Sensoriamento Remoto do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Área de Concentração Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Sensoriamento Remoto**.

Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli
(orientador)

Dr. Waterloo Pereira Filho (co-orientador)

PORTO ALEGRE, RS

2018

CIP - Catalogação na Publicação

Peixoto, Daniela Wancura Barbieri
CARACTERIZAÇÃO DA VARIAÇÃO TEMPORAL DE SÓLIDOS EM
SUSPENSÃO DA ÁGUA EM PCHS NO RIO IVAÍ - RS A
PARTIR DE DADOS LIMNOLÓGICOS E DE SENSORIAMENTO
REMOTO / Daniela Wancura Barbieri Peixoto. -- 2018.
96 f.

Orientador: Laurindo Antonio Guasselli.

Coorientador: Waterloo Pereira Filho.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em
Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Programa de Pós-
Graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre, BR-
RS, 2018.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Limnologia. 3.
Pequenas Centrais Hidrelétricas. I. Guasselli,
Laurindo Antonio, orient. II. Pereira Filho,
Waterloo, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Daniela Wancura Barbieri Peixoto

**CARACTERIZAÇÃO DA VARIAÇÃO TEMPORAL DE SÓLIDOS EM
SUSPENSÃO DA ÁGUA EM PCHS NO RIO IVAÍ - RS
A PARTIR DE DADOS LIMNOLÓGICOS E DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Área de Concentração Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Sensoriamento Remoto.**

Aprovado em 06 de setembro de 2018

Waterloo Pereira Filho, Dr. (UFSM)
(Presidente/Co-orientador)

Tatiana Mora Kuplich, Dra. (INPE)

Alberto Senra Gonçalves, Dr. (INPE)

Felipe Correa dos Santos, Dr.

Porto Alegre, RS
2018

*Dedico aos meus filhos Giovana e Camilo,
vocês são tudo!*

Agradecimentos

Ao meu esposo, Telmo Peixoto, pela paciência, compreensão e apoio nas horas difíceis e aos meus filhos, Giovana e Camilo, fontes inesgotáveis de energia e alegrias.

Aos meus familiares, pelo amor, carinho, ajuda e apoio incondicional, sem vocês não teria conseguido.

Ao Laurindo, meu orientador, pela tranquilidade, compreensão, força, apoio, pelos ensinamentos e sugestões.

Ao professor Waterloo, pela coorientação e seus ensinamentos que foram fundamentais.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto, pela possibilidade de cursar um ensino superior gratuito e de qualidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela oportunidade de bolsa de pós-graduação.

Aos que se dispõem a ficar com minhas principais jóias (Giovana e Camilo) nas idas a Porto Alegre e Santa Maria, o meu muito obrigada de coração.

A Andreise Moreira e a Carline Trentin amigas sempre dispostas a ajudar.

A Banca de avaliação Dra. Tatiana Kuplich, Dr. Felipe dos Santos e Dr. Alberto Senra, meu muito obrigada pelas contribuições.

Ao Tio Roberto e Alexandre Fruet, que foram incansáveis no apoio aos trabalhos de campo.

A COPREL pela disponibilidade de aplicar os estudos nas PCHs, ao Ivan Bitecourt sempre disposto a ajudar.

Aos *verdadeiros amigos* que sempre estiveram presentes, compartilhando e apoiando nos momentos difíceis.

Enfim, à todos que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho e que ajudaram a superar todos desafios.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto

CARACTERIZAÇÃO DA VARIAÇÃO TEMPORAL DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO DA ÁGUA EM PCHS NO RIO IVAÍ - RS A PARTIR DE DADOS LIMNOLÓGICOS E DE SENSORIAMENTO REMOTO

Autor: Daniela Wancura Barbieri Peixoto

Orientador: Laurindo Antonio Guasselli

Co-Orientador: Waterloo Pereira Filho

Data e Local da Defesa: Porto Alegre, 06 de setembro de 2018.

Os reservatórios hidrelétricos, além da geração de energia, apresentam outros benefícios socioeconômicos como a estocagem de água para usos futuros, controle de inundação, e abastecimento de água. Dentre os recursos naturais, a água é um dos que mais sofre alterações em suas características naturais, estas mudanças são devido às formas de exploração, degradação e erosão da bacia de captação. Neste sentido, o presente estudo tem por objetivo caracterizar a variação espaço-temporal dos constituintes opticamente ativos, a partir da integração de dados de Sensoriamento Remoto orbital, em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) no rio Ivaí-RS, as PCHs Ernesto Dreher, Cascata do Ivaí e Henrique Kotzian. Para a análise espaço-temporal foram utilizadas nove imagens do satélite Landsat 8-OLI. A área de estudo foi amostrada considerando o período de um ano hidrológico (junho de 2015-maio de 2016). Os dados de sólidos em suspensão foram obtidos em trabalhos de campo na mesma data de passagem do satélite. A partir das imagens Landsat obteve-se os dados de reflectância e foi aplicada a análise dos componentes principais. Dados de precipitação pluviométrica nas PCHs foram utilizados para complementar dados da área de estudo. Verificou-se que os valores de precipitação pluviométrica devem ser levados em consideração na análise dos dados de Sensoriamento Remoto e limnológicos, pois associados ao uso da terra apresentam fortes influências no transporte de material para a bacia de captação. No que se refere a análise dos componentes principais esta mostrou-se ser uma ferramenta estatística de extrema importância em estudos físico-químicos de águas, pois possibilitou a identificação de compartimentos aquáticos bem definidos. Outro item abordado foi a estimativa dos Totais de Sólidos Suspensos (TSS) em função da imagem de reflectância, sendo que nesse cenário de pequenos barramentos o modelo proposto mostrou-se indicado para a estimativa da concentração de sólidos suspensos. Desta forma, verificou-se que o estudo nos reservatórios das PCHs utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto foi de grande importância na extração e espacialização de informações, pois facilita o armazenamento e manipulação dos dados, favorecendo as análises como a disponibilização de produtos cartográficos, tais como mapas e figuras contendo os resultados.

Palavras-chave: Pequenas Centrais Hidrelétricas; Sensoriamento Remoto; Reflectância; Limnologia; Precipitação Pluviométrica.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Post-graduation program in Remote Sensing

CHARACTERIZATION OF THE TEMPORARY VARIATION OF SOLIDS IN SUSPENSION OF WATER IN PCHS IN RIO IVAÍ - RS FROM LIMNOLOGICAL DATA AND REMOTE SENSING

Author: Daniela Wancura Barbieri Peixoto

Advisor: Laurindo Antonio Guasselli

Co-Advisor: Waterloo Pereira Filho

Date and Place of the Defense: Porto Alegre, September the 6th 2018.

The hydropower plants, besides generating power, present other social-economic benefits such as the water storage for future uses, flood regulation and water supply. Amongst all the natural resources, water is one that most suffers changes on its natural characteristics. These changes are due to forms of exploitation, degradation and erosion of the river basin. Seen in these terms, the present study aims to characterize the temporal variation of the optically active constituents from the data integration of the Orbital Remote Sensing in Small Hydropower Plants (SHPs) in Ivaí River - Rio Grande do Sul: Ernesto Dreher, Cascata do Ivaí and Henrique Kotzian. For spatiotemporal analysis, 9 images from the Landsat 8-OLI satellite were used. The area of study was sampled considering the period of a hydrological year (june 2015-may 2016). The data from the suspended solids were obtained in field research on the same date of the satellite passage. From the Landsat images, the reflectance data and the Analysis of the Main Components was obtained. Rainfall data in the SHPs were used to complement field research data. The rainfall data values should be taken into consideration in the Remote Sensing and Limnological data, as those, associated to land use, present strong influence on the transportation of material for the river basin. In relation to the Analysis of the Main Components, it shows to be a statistic tool of extreme importance in physical-chemical studies of water, as it enables the identification of well-defined water compartments. Another item approached was the total suspended solids (TSS) estimation in relation to the image of reflectance being that in the scenario of small plants, the proposed model shows itself to be indicated for the concentration of Suspended Solids estimation. Thus, it was verified that the study in the reservoirs of the SHPs using techniques of Remote Sensing was of great importance in the extraction and spatialization of information as it facilitates storage and manipulation of data, promoting analysis such as the provision of map products, for example: maps and figures on the results.

Key-words: Small Hydropower Plants; Remote sensing; Reflectance; Limnology; Rainfall.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Localização da bacia de captação das PCHs do Ivaí, RS - Brasil.....	17
Figura 2: Gráfico do regime pluviométrico no município de Júlio de Castilhos	19
Figura 3: Fotos do uso do solo no período estudado	20
Figura 4:Esquema de representação de uma PCH.....	24
Figura 5: Situação das PCHs (1-30 MW de potência) outorgadas pela ANEEL	26
Figura 6: Características do espalhamento da água: (A) absorção e (B) da água pura	28
Figura 7: Comportamento espectral da água clara e da água com diferentes constituintes ópticamente ativos	29
Figura 8: Comportamento espectral da água em rios com diferentes quantidades de sedimentos.....	31
Figura 9: Restrições encontradas nas PCHs	34
Figura 10:Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa.....	35
Figura 11: Dados de precipitação pluviométrica disponibilizados pela empresa COPREL	37

Artigo 1

Figura 1:Localização da área de estudo.....	51
Figura 2: Mapa de declividade da bacia do Rio Ivaí.....	56
Figura 3: Mapa de solos da bacia do Rio Ivaí	57
Figura 4: Localização das PCHs em relação ao perfil longitudinal do rio Ivaí, índice de sinuosidade de 2,55	57
Figura 5: Fotos do uso do solo na área de estudo	58
Figura 6: Total de Sólidos em Suspensão nas PCHs do Rio Ivaí	59
Figura 7: Gráfico das correlações entre dados de TSS e reflectância	61
Figura 8: Valores de R ² referentes as correlações de Pearson entre Reflectância e TSS	61
Figura 9: Reflectância de superfície da banda 4 (655 nm) das PCHs do Rio Ivaí	62

Artigo 2

Figura 1: Localização das PCHs, rio Ivaí – RS	72
Figura 2: A- Imagem em composição colorida RGB (352) Landsat/OLI (15-11-15); B- CP 3 que melhor apresentou os compartimentos; C- Classificação não supervisionada da CP3	76
Figura 3: Comportamento do TSS, em 2015/2016, nas PCHs, rio Ivaí – RS	77
Figura 4: A- Imagem em composição colorida RGB (352) Landsat/OLI (27-08-15); B- CP 3 que melhor apresentou os compartimentos; C- Classificação não supervisionada da CP3	79

Artigo 3

Figura 1: Localização da bacia de captação das PCHs do Ivaí, RS – Brasil	89
Figura 2: Datas dos dados de campo e imagens selecionadas	91
Figura 3: Gráfico das correlações entre dados de TSS e reflectância	92
Figura 4: Identificação dos três barramentos nas imagens estimada de TSS	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de pequenas centrais hidrelétricas	23
Tabela 2: Cenário futuro da capacidade instalada de fonte de geração (MW) no Brasil	26
Tabela 3: Características do Landsat 8	38
Tabela 4: Data das imagens Datas das imagens e datas das coletas de dados Limnológicos nas PCHs, rio Ivaí – RS	38

Artigo 1

Tabela 1: Características gerais das PCHs, rio Ivaí – RS	51
Tabela 2: Classes de declividade relevo	52
Tabela 3: Data das imagens Datas das imagens utilizadas nas PCHs, rio Ivaí – RS	54
Tabela 4: Características altimétricas do rio Ivaí	55

Artigo 2

Tabela 1: Características gerais das PCHs, rio Ivaí – RS	71
Tabela 2: Datas das imagens utilizadas nas PCHs, rio Ivaí – RS.....	73
Tabela 3: Porcentagem de informações da imagem Landsat 8 de 15-11-15, nas PCHs, rio Ivaí-RS	75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	13
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Objetivo Geral:	16
1.1.2 Objetivos Específicos:.....	16
1.2 HIPOTESE.....	16
1.3 ESTRUTURA DA TESE	16
1.4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1 INTRODUÇÃO	21
2.2 PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS	22
2.3 SENSORIAMENTO REMOTO	27
2.3.1 Resposta espectral da água pura.....	27
2.3.2 Resposta espectral da água com elementos opticamente ativo.....	28
2.3.3 Sensoriamento Remoto em reservatórios.....	30
2.3.3.1 Sensoriamento Remoto em pequenos reservatórios.....	32
2.3.4 Análise de Componentes Principais.....	33
3. METODOLOGIA.....	34
3.1 DADOS LIMNOLÓGICOS	36
3.2 DADOS METEOROLÓGICOS	36
3.3 IMAGENS LANDSAT 8.....	37
3.4 ANÁLISE POR PRINCIPAIS COMPONENTES	38
4. REFERÊNCIAS	40
ARTIGO 1: INTERAÇÃO ENTRE O AMBIENTE FÍSICO DA BACIA HIROGRÁFICA DO RIO IVAÍ E AS PROPRIEDADES OPTICAS DA ÁGUA NAS PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS	48
INTERAÇÃO ENTRE O AMBIENTE FÍSICO DA BACIA HIROGRÁFICA DO RIO IVAÍ E AS PROPRIEDADES OPTICAS DA ÁGUA NAS PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS.....	49
Introdução	49
Área de estudo.....	50
Materiais e Métodos	51
Rede de Drenagem.....	52
Mapa de declividades	52
Mapa de Solos	52

Mapa de vegetação	53
Dados de Reflectância	53
Total de Sólidos em Suspensão.....	54
Resultados e Discussões.....	54
Considerações	62
Referências	63
ARTIGO 2: ENVIADO A REVISTA GEOCIÊNCIAS UNESP	67
DEFINIÇÃO DE COMPARTIMENTOS AQUÁTICO EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO RIO IVAÍ COM A UTILIZAÇÃO DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	67
DEFINIÇÃO DE COMPARTIMENTOS AQUÁTICO EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO RIO IVAÍ COM A UTILIZAÇÃO DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	68
Resumo	68
INTRODUÇÃO	69
Descrição da Área de Estudo.....	70
MATERIAIS E MÉTODOS.....	72
COMPONENTES PRINCIPAIS	73
TOTAL DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO.....	73
RESULTADOS E DISCUSSÕES	74
CONSIDERAÇÕES	79
REFERÊNCIAS	80
ARTIGO 3- PUBLICADO – REVISTA DE GEOCIÊNCIAS UNESP.....	86
ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO A PARTIR DE IMAGENS LANDSAT 8 EM PCHS NO RIO IVAÍ-RS.....	86
ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO A PARTIR DE IMAGENS LANDSAT 8 EM PCHS NO RIO IVAÍ-RS.....	87
INTRODUÇÃO	87
DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	88
MATERIAIS E MÉTODOS.....	90
Dados de Precipitação Pluviométrica	91
Análise de Regressão	91
RESULTADOS E DISCUSSÕES	91
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
REFERÊNCIAS	94
CONSIDERAÇÕES GERAIS	95

INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A energia elétrica é considerada uma fonte vital para o desenvolvimento de uma nação, no entanto, sua importância também é indireta nos benefícios sociais que ela produz. O desenvolvimento econômico tanto do meio rural como urbano, e conseqüentemente do incremento tecnológico, requerem cada vez mais um aumento da oferta de energia (HICKS, 2004).

O crescimento expressivo da população urbana e da industrialização no Brasil nas últimas décadas motivou a construção de reservatórios como forma de suprir a demanda de água de abastecimento e geração de hidroeletricidade. Quando o crescimento da demanda ultrapassa a capacidade de geração do sistema de energia, torna-se necessário a construção de novas unidades de geração em grande quantidade (SCALON, 2017).

As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) são construídas geralmente em rios de pequeno e médio porte com desníveis suficientes para gerar potência hidráulica para mover as turbinas da usina (CARDOSO *et al.*, 2015). As PCHs são, de modo geral, projetos de menor volume de investimentos, de simples concepção e operação, menor prazo de conclusão, maior facilidade de integração com locais isolados e maior facilidade na liberação de licenças ambientais. Além disso são subsidiadas e possuem tarifas diferenciadas, o que compensa o valor mais alto do MW/h quando comparado às grandes usinas hidrelétricas e outras fontes de geração de energia, isto para que o retorno do investimento seja maximizado e os impactos ambientais minimizados (CARVALHO, 2014). A construção de represas proporciona o desenvolvimento com o aproveitamento e usos múltiplos dos recursos hídricos, entretanto, trazem como consequência uma série de alterações e impactos de caráter hidrológico, principalmente na qualidade da água (KERN e FILL, 2014).

Para Ribeiro (2005), o crescente aumento da consciência ambiental para preservação da natureza, consolida uma das bases do desenvolvimento sustentável ligada à necessidade de melhorar o desempenho das centrais hidrelétricas com baixo impacto ambiental. Também motiva a consideração das práticas de modernização, repotenciação e baixo custo de manutenção e operação.

As distintas origens dos ambientes lênticos e os impactos das atividades antrópicas nas condições naturais desses sistemas conferem aos reservatórios diferentes características, em especial quanto à qualidade da água (KIMMEL *et al.*, 1990; ESTEVES, 1998; TUNDISI *et al.*, 1999; REBOUÇAS, 2006).

O desenvolvimento desta pesquisa visa entender a qualidade da água condicionada à ocupação antrópica no entorno dos corpos d'água, especificamente relacionadas às atividades desenvolvidas na bacia, que podem gerar efeitos como a erosão urbana, agrícola e a sedimentação que ocorre nas margens e nas áreas de ingresso de tributários nos reservatórios. É evidente a necessidade de avaliar esses condicionantes antes de se pensar em manejo integrado do corpo d'água (PEREIRA, 2008).

Neste sentido, de acordo com Pereira Filho (2000) os fenômenos presentes na bacia hidrográfica são registrados em parte pela água, tornando-se um desafio identificar as suas relações entre os sistemas aquáticos e terrestres. Segundo o autor, as variáveis limnológicas são fortemente relacionadas com as variáveis da superfície terrestre, tais como: relevo, vegetação, geologia e impactos antrópicos.

Além disso, não é possível apresentar a melhor opção de alocação de recursos hídricos sem monitorar a qualidade da água. Desta forma, o Sensoriamento Remoto fornece a capacidade de mapear a água que já passou pelo leito do rio e facilita a obtenção de dados terrestres, possibilitando a identificação e o monitoramento de usos de água anteriormente desconhecidos e também oferecer uma alternativa viável para estudos de estimativas de variáveis limnológicas para uma extensa região geográfica (ZHANG *et al.*, 2014; GIRARDI *et al.*, 2016).

Técnicas de Sensoriamento Remoto podem ser utilizadas para detectar as propriedades ópticas da água, sanando as dificuldades de amostragem em campo e contribuindo para a melhoria da informação espacial e temporal suprindo as necessidades impostas atualmente às PCHs.

Entre as características que podem ser detectadas pelos sensores remotos estão: presença de plantas aquáticas, quantidade de sólidos em suspensão, níveis de clorofila e transparência da água. Todos estes parâmetros alteram a coloração da água.

A reflectância de um dado sistema aquático contém informações sobre a concentração e o tipo de componentes opticamente ativos no volume da água, sendo eles os sedimentos em suspensão, os pigmentos fotossintéticos e a matéria orgânica dissolvida.

A água pura apresenta baixa reflectância entre 0,38 μm a 0,70 μm , entretanto, a reflectância da água pura pode ser alterada quando introduzidas substâncias que aumentem seu coeficiente (KONG *et al.*, 2015). Essa característica é importante para estudos de estimativas a partir de dados de Sensoriamento Remoto em diferentes corpos de água.

Diversos produtos de Sensoriamento Remoto com diferentes resoluções temporais, espaciais, espectrais ou radiométricas são disponibilizados gratuitamente no *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e da NASA, pelo *site* da USGS. Dentre estes as imagens do

satélite norte-americano LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*) - sensor TM (*Thematic Mapper*); do satélite indiano ResourceSat - sensor LISS3 e do Landsat 8 – OLI (*Operational Land Imager*) Inserido neste contexto, este projeto propõe o uso de metodologias relacionadas ao Sensoriamento Remoto para caracterizar a dinâmica de circulação dos Constituintes Opticamente Ativos (COAs), a partir da integração de dados de Sensoriamento Remoto orbital e dados limnológicos, em Pequenas Centrais Hidrelétricas no rio Ivaí.

A presente proposta está relacionada ao projeto “*Caracterização Espectral e Limnológica de Ambientes Lênticos no Rio Grande do Sul, com Abordagem Espaço-Temporal*”, coordenado por Waterloo Pereira Filho, e financiado pelo CNPq nº 484712/2007-1. Envolve alunos e docentes/pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria, do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral:

Caracterizar a variação espaço-temporal dos Constituintes Opticamente Ativos da água, a partir da integração de dados de Sensoriamento Remoto orbital, em Pequenas Centrais Hidrelétricas no rio Ivaí-RS.

1.1.2 Objetivos Específicos:

- Compreender a estrutura espaço-temporal das variáveis limnológicas nos reservatórios das PCHs (UHE) Ernesto Dreher e Henrique Kotzian do rio Ivaí, no contexto de sua bacia hidrográfica;
- Detectar mudanças na água e nos compartimentos aquáticos, a partir de Componentes Principais;
- Estimar a concentração de sólidos em suspensão nas PCHs no rio Ivaí, a partir da reflectância da banda 4 do satélite Landsat 8 sensor OLI.

1.2 HIPÓTESE

Desta forma, a hipótese de pesquisa é a de que ocorrem diferenças nas propriedades ópticas da água na escala espaço-temporal dos reservatórios em função das características do uso e ocupação do solo e do relevo na área de estudo, além dos referentes ao seu efeito em cascata, e ainda possibilidade de identificar as causas destes fenômenos a partir da análise de características climáticas e de uso da terra da bacia hidrográfica.

1.3 ESTRUTURA DA TESE

A Tese está organizada na forma de artigos científicos. Inicialmente são apresentadas a caracterização da área de estudo e uma revisão sobre os temas envolvidos na pesquisa.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os reservatórios no curso do rio Ivaí no município de Júlio de Castilhos (Figura 1), foram construídos com a finalidade de geração de energia elétrica. O rio Ivaí tem suas nascentes a Leste e nas proximidades da cidade de Tupanciretã, dirige-se inicialmente na direção nordeste, e muda para sudeste até encontrar margem direita o rio Jacuí.

A Bacia Hidrográfica do rio Ivaí abrange sete municípios, porém somente dois municípios são atingidos pelas PCHs. Na margem direita, Júlio de Castilhos e na margem esquerda o município de Salto do Jacuí.

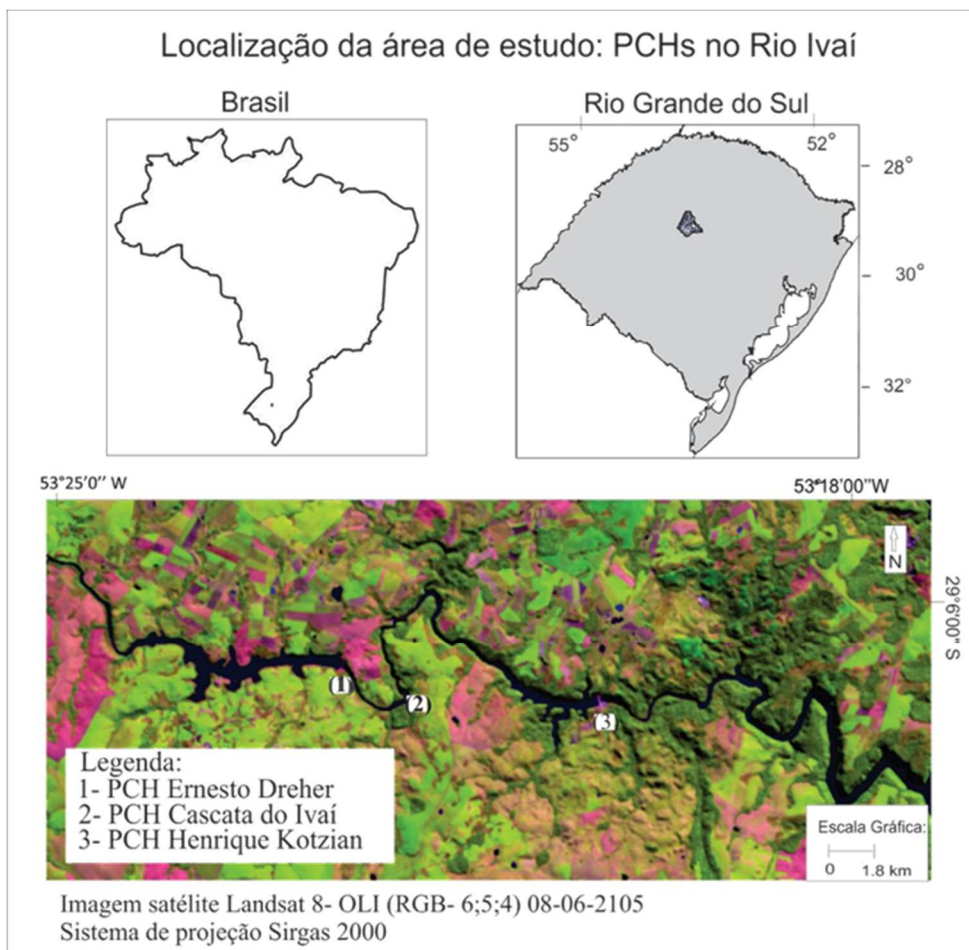


Figura 1: Localização da bacia de captação das PCHs do Ivaí, RS - Brasil

A partir da década de 1950 foi inaugurada a primeira Pequena Central Hidrelétrica do Ivaí, hoje conhecida como Cascata do Ivaí. Após esta data foram construídas mais duas, uma a sua montante, a PCH Ernesto Dreher, e outra a sua jusante denominada Henrique Kotzian.

A primeira central hidrelétrica da série em cascata Eng. Ernesto Dreher possui uma potência instalada de 17.870 kW com uma vazão de 33,78 m³/s, esta energia é capaz de abastecer 124 mil consumidores. A área de drenagem do local onde está localizada a PCH Ernesto Jorge Dreher é de 1.552 km². A segunda da série é a menor, possui uma potência de 700 kW (ANEEL, 2007), e a terceira tem uma potência instalada de 13.000 kW e uma vazão de 48,25 m³/s, sua área de drenagem é de 1.640 km², com uma profundidade máxima de aproximadamente 38 m.

A energia produzida na PCH Henrique Kotzian é direcionada à subestação da Usina Leonel Brizola que é interligada com o Sistema Interligado Nacional (SIN). Essa imensa “rodovia elétrica” abrange a maior parte do território brasileiro provenientes das regiões de origem: Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte (MEES, 2018). As outras duas PCHs são destinadas apenas para abastecimento local e regional, conforme informação da Distribuidora de energia – COPREL.

A distância entre os reservatórios é pequena, com declive acentuado do leito do rio ao longo de seu percurso, o primeiro barramento está a uma elevação de aproximadamente 275 m, enquanto o terceiro está a 200 m, em apenas 8 km de distância.

Em relação ao clima, na região Sul predomina o clima subtropical, sendo este uma transição entre o clima tropical, predominante no Brasil, e o clima temperado das médias latitudes. As estações do ano são bem definidas, assim como os índices pluviométricos. Ao sul do Estado do Rio Grande do Sul, a precipitação média situa-se entre 1.299 e 1.500mm e, ao norte a média está entre 1.500 e 1.800mm (SARTORI, 1993). Neste sentido deve-se considerar que a sazonalidade das precipitações reflete no comportamento temporal da vazão.

No entanto de acordo com Sartori (2016) a sazonalidade dos sistemas atmosféricos regionais é responsável pela gênese dos estados de tempo, que caracterizam o clima ao longo do ano no Rio Grande do Sul, em especial na sua região central. Os fatores de natureza dinâmica associados aos de natureza geográfica, especialmente latitude, altitude, relevo, continentalidade e vegetação, determinam os atributos climáticos básicos que caracterizam região central. Com base nas Normais Climatológicas do Sartori (2016) afirma que na região as temperaturas no inverno variam entre 7 e 15°C e no verão de 24 a 32°C, as temperaturas médias anuais variam entre 16 °C e 18 °C no topo do Planalto, as precipitações anuais segundo a autora ficam entre 1500 e 1750 mm e são essencialmente de origem frontal (Frente Polar Atlântica).

A Figura 2 mostra o regime pluviométrico do município de Júlio de Castilhos conforme a normal climatológica. Sartori (2016) afirma que novembro é o mês menos chuvoso e

setembro/outubro os mais chuvosos na região central, no entanto, esta afirmativa pode ser verificada na Figura como verifica-se os meses com maior quantidade pluviométrica.

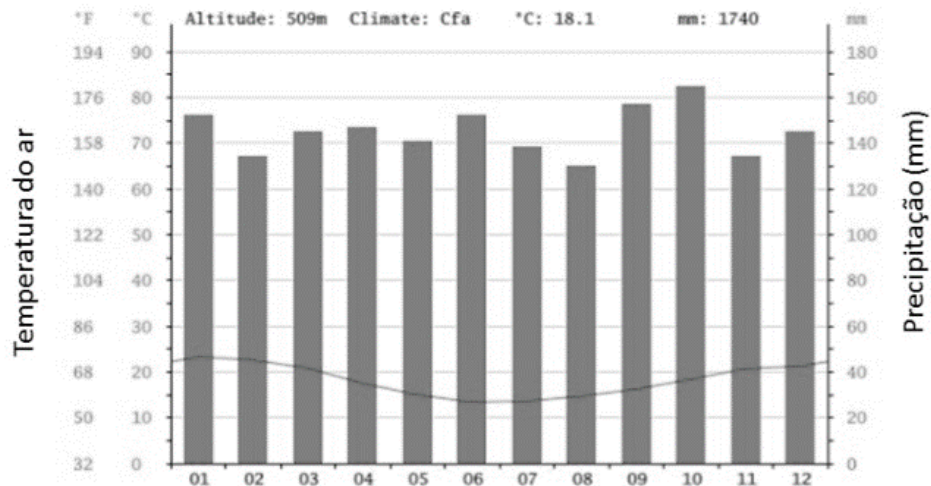


Figura 2: Gráfico do regime pluviométrico no município de Júlio de Castilhos

Fonte: Prefeitura Municipal de Júlio de Castilhos.

Na porção à montante dos reservatórios há intensa exploração agrícola, intensificando o carregamento de sedimentos para o reservatório na fase de preparo do solo. Trabalhos desenvolvidos por Pereira Filho e Galvão (2007), Pereira Filho *et al.*(2013), Santos *et al.* (2015) e Pinto *et al.* (2014) abordam a questão de pulsos de sedimentos na água conforme o uso e cobertura da terra. Em épocas de plantio, geralmente na primavera, os solos ficam expostos à ação da intempérie, e com as chuvas tornam-se susceptíveis de serem erodidos e transportados superficialmente em direção ao reservatório (FIGURA 3).

A bacia do rio Ivaí, conforme Wachholz (2011), apresenta apenas 2 hab./km². Aproximadamente 50% das áreas ocupadas com a agricultura são de predomínio da soja, o trigo é cultivado na bacia no período do inverno, porém com ocorrência de menos de 7%.



Figura 3: Fotos do uso do solo no período estudado: A) Foto: 15-06-2015; B) Foto:18-01-16

Os reservatórios hidrelétricos, que por serem sistemas de transição entre ambientes aquáticos lênticos e lóticos, apresentam maior tempo de residência das águas (Novo, 2005). No entanto, deve-se considerar que o tempo de residência da água é tempo de percurso de determinada massa de água desde o momento que aflui ao sistema até o momento de sua saída deste sistema. Desta forma, não há informação sobre o tempo de residência das águas nas PCHs estudadas e também não há dados suficientes para que se possa realizar o cálculo deste tempo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica está organizada da seguinte maneira: primeiramente uma abordagem sobre corpos d'água, após Pequenas Centrais Hidrelétricas, Sensoriamento Remoto, Resposta espectral da água, Resposta espectral da água de acordo com seus Constituintes Opticamente Ativos, Sensoriamento Remoto em Reservatório e Componentes Principais.

2.1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios da ecologia aquática hoje é conhecer o funcionamento de base dos ecossistemas aquáticos e compreender suas respostas decorrentes de perturbações introduzidas pelas atividades humanas, de modo a prever os impactos dessas sobre suas condições de sustentabilidade em médio e longo prazo. A ação do homem no ambiente terrestre interfere no sistema aquático, especialmente em áreas de intensa ocupação agrícola e/ou urbana. Isto pode ser verificado pelas alterações de algumas variáveis limnológicas da água como: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica, transparência, turbidez, sólidos em suspensão, compostos orgânicos, clorofila-*a*, entre outras (SANTOS, 2012).

Os corpos d'água são constituintes da paisagem tanto do ponto de vista morfológico quanto econômico (SCHAFER, 1984), estabelecendo comunicação direta com a bacia hidrográfica e gerando fluxos de energia e matéria. A bacia hidrográfica é configurada por um conjunto de superfícies inclinadas, na qual a água do escoamento superficial segue uma trajetória rica em interações (vegetação, culturas, cidades) e orientada pela maior inclinação do plano definido pelo comprimento de rampa e a intensidade do fluxo de energia que aumenta conforme a declividade do terreno (D'AGOSTINE, 1999). A rede de drenagem é o produto de intensificação do escoamento superficial e dos processos erosivos, ocorrentes em uma bacia hidrográfica.

Diante dessas questões, a utilização de recursos de Sensoriamento Remoto para auxiliar no monitoramento da qualidade de águas continentais de usos múltiplos, desponta como instrumento de grande interesse por parte da sociedade como um todo, uma vez que permite monitorar e controlar a qualidade de um recurso natural de vital importância para as condições de saúde pública. Principalmente no caso de lagos naturais e reservatórios hidrelétricos, que por serem sistemas de transição entre ambientes aquáticos lênticos e lóticos, apresentam maior tempo de residência das águas (NOVO, 2005).

Informações espaço-temporais obtidas por Sensoriamento Remoto em reservatórios representam um ganho nas análises, uma vez que a natureza e a relação homem-natureza são dinâmicas.

2.2 PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

A energia é considerada uma fonte vital para o desenvolvimento (JEBARAJ; INIYAN, 2005). A finalidade da energia elétrica não está em si mesma, mas nos benefícios sociais que ela produz. De acordo com Hicks (2004) o desenvolvimento econômico, tanto do meio rural como urbano e conseqüentemente do incremento tecnológico requer cada vez mais um aumento da oferta de energia.

Uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) pode ser definida como um sistema que captura a energia gerada pelo fluxo de água em um curso regular, convertendo esta energia em energia elétrica (ELETROBRÁS, 1997).

O potencial de geração dos rios nacionais é aproveitado através da construção de reservatórios e de usinas hidrelétricas de grande (UHE) e pequeno porte (PCH), classificação feita pelo potencial instalado, podendo ser classificadas como isoladas ou em cascata (SCALON, 2017). No entanto, hidrelétricas instaladas em um mesmo curso hídrico podem atuar de forma integrada de controle de vazão. Usinas localizadas “rio acima” - a montante - podem usar seus reservatórios para regular o fluxo de água utilizado pelas usinas localizadas “rio abaixo” - jusante (FARIA, 2012).

As PCHs necessitam apenas de um rio com o mínimo de declividade e de vazão, sendo essa condição encontrada em boa parte do território brasileiro. Para ser considerada uma PCH o potencial instalado deve ter entre 1 MW e 30 MW, e caso haja reservatório este não poderá passar de 3 km². No entanto, por meio da Lei nº 13.097/2015, que, alterou a legislação do setor elétrico, foram feitas mudanças na regulação das autorizações para as PCHs. A principal alteração foi aumentar a capacidade mínima dos projetos desses empreendimentos de 1 MW para 3 MW. As PCHs podem ser classificadas quanto à potência e quanto à queda de projeto (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação de pequenas centrais hidrelétricas

CLASSIFICAÇÃO	POTÊNCIA – P
DAS PCHs	(kW)
MICRO	$P < 100$
MINI	$100 < P < 1.000$
PEQUENAS	$1.000 < P < 30.000$

Fonte: Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas - Eletrobrás-DNAEE, 2007.

Existem basicamente dois tipos de PCHs: (a) usina de represamento (Figura 4), onde se tem um reservatório para regularizar a vazão a ser turbinada, localizados na cabeceira dos rios, em locais de altas quedas d'água, dado o seu grande porte permitem o acúmulo de quantidade de água e funcionam como estoques a serem utilizados em períodos de estiagem. Além disso, como estão localizadas a montante das demais hidrelétricas, regulam a vazão da água que irá fluir para elas, de forma a permitirem a operação integrada do conjunto de usinas; e (b) usina a fio d'água, onde parte do canal do rio é desviada para a casa de máquinas, utilizando praticamente a vazão natural (SCALON, 2017; MEES, 2018). A Figura 4 mostra a representação de uma PCH de represamento.

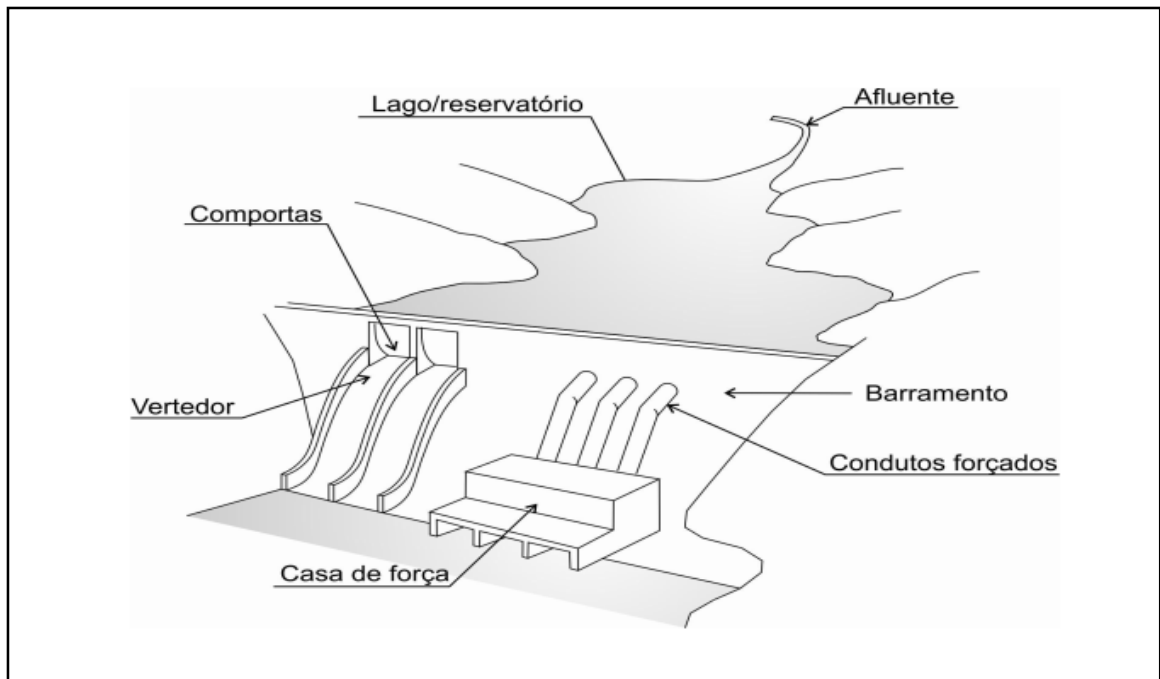


Figura 4: Esquema de representação de uma PCH

Fonte: MESS (2018)

A instalação de PCHs apresenta algumas vantagens, tais como: (a) permite a exploração do potencial hidroelétrico sem a construção de grandes represas já que em muitos casos utiliza água corrente, com pouca ou nenhuma represa ou estocagem de água; (b) substitui as fontes fósseis com utilização de energia renovável, contribuindo para a diminuição da emissão global de carbono; (c) produz energia com custo apropriado para eletrificação rural em países em desenvolvimento; e (d) produz energia limpa, sem contaminação de rios (THORNBLOOM, 1997; FREY & LINKE, 2002; PAISH, 2002; HICKS, 2004, MEES, 2108).

Porém Bermann (2018) destaca algumas desvantagens, dentre elas: i) alteração do regime hidrológico, comprometendo as atividades a jusante do reservatório; ii) comprometimento da qualidade das águas, em razão do caráter lântico do reservatório, dificultando a decomposição dos rejeitos e efluentes; iii) assoreamento dos reservatórios, em virtude do descontrole no padrão de ocupação territorial nas cabeceiras dos reservatórios, submetidos a processos de desmatamento e retirada da mata ciliar; iv) aumento do volume de água no reservatório formado, com conseqüente sobrepressão no solo e subsolo pelo peso da massa de água represada, em áreas com condições geológicas desfavoráveis.

No entanto, o desenvolvimento energético brasileiro é caracterizado por grandes centrais hidrelétricas que servem principalmente para abastecimento de grandes centros. Devido a isto, os municípios isolados ou as áreas rurais muitas vezes são negligenciados devido

aos custos para interligação dessas localidades. Ainda que a implementação de PCH não venha a resolver as necessidades de geração de energia elétrica no país, é inegável que o Brasil poderá aumentar a capacidade de geração por meio das PCH, privilegiando projetos de geração para sistemas isolados e atendimento às comunidades e propriedades rurais não-energizadas (BERMANN, 2018).

Neste contexto, a implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas é uma opção para suprir energia em municípios distantes e sem conexão ao sistema, como também sua maior importância, pois permite um menor impacto por alagarem pequenas extensões de terras.

As PCHs já desempenham um papel importante no desenvolvimento da economia de algumas áreas rurais remotas. A eletrificação rural na China, por exemplo, está baseada em energia hidrelétrica em pequena escala, onde existem mais de 45.000 PCHs que totalizam 55 GW e produzem 160 TWh por ano. Muitas dessas usinas são usadas em redes centralizadas de eletricidade, e constituem um terço da capacidade total de energia hidrelétrica da China (IPCC, 2012).

Segundo BIG (2017) os empreendimentos hidrelétricos de grandes e pequenas usinas hidrelétricas são responsáveis por 64,6% da produção brasileira de energia elétrica, o que corresponde a 98 GW. Estão previstas para os próximos anos a construção de 28 PCH em todo país, com obras já iniciadas, e outros 123 empreendimentos ainda não iniciados.

No Brasil somam-se 157 empreendimentos hidrelétricos em operação (com potência superior a 30.000 kW). O Estado do Rio Grande do Sul soma 71 PCHs em operação, com 0,6532 GW de potência, representando 12% do potencial brasileiro (ANEEL 2016).

Destaca-se que as PCHs, por sua vez, encontram-se em bacias e rios de menor porte e a sua concentração ocorre, principalmente, nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste (EPE, 2012) (FIGURA 5).

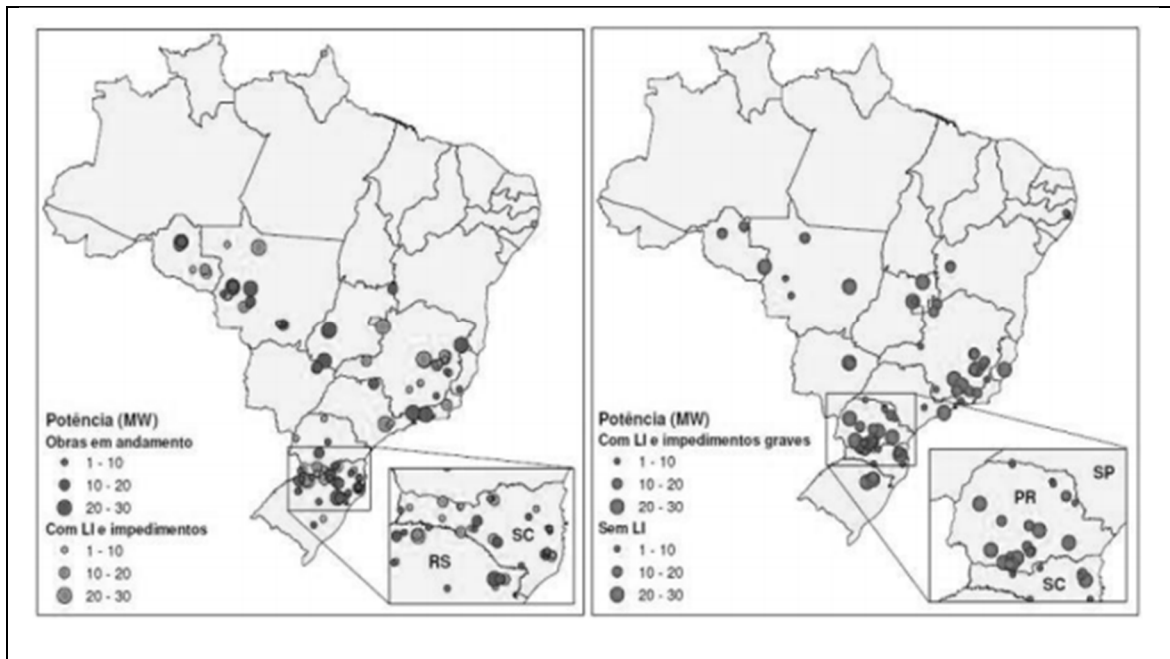


Figura 5: Situação das PCHs (1-30 MW de potência) outorgadas pela ANEEL

Fonte: EPE, 2012

O setor de PCHs tem se desenvolvido rapidamente desde 1998, de modo que em 10 anos, evoluíram de cerca de 850 MW de PCHs em operação para 2.998 MW em agosto de 2009 (CARVALHO, 2014). A Tabela 2 mostra a evolução futura projetada pela EPE (2012) para instalação de novas PCHs.

Tabela 2: Cenário futuro da capacidade instalada de fonte de geração (MW) no Brasil

Fonte de energia	2017	2018	2019	2020	2021
PCH	5.578	5.858	6.168	6.688	7.098

Fonte: EPE (2012)

As PCHs são, de modo geral, projetos de menor volume de investimentos, de simples concepção e operação, menor prazo de conclusão, maior facilidade de integração com locais isolados e maior facilidade na liberação de licenças ambientais, além de serem subsidiadas e de possuírem tarifas diferenciadas. Esses fatores compensam o valor mais alto do MW/h quando comparado às grandes usinas hidrelétricas e outras fontes de geração de energia (CARVALHO, 2014). Neste sentido, a escolha do ponto mais adequado para a construção de uma estrutura de

PCH é realizada buscando-se locais onde seja possível obter o maior desnível para a queda d'água, menores comprimentos de barramento e o mínimo de áreas alagadas, isto para que o retorno do investimento seja maximizado e os impactos ambientais minimizados (MEES, 2018).

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO

A água representa uma mistura complexa de diversos materiais dissolvidos ou particulados. Esses materiais possuem propriedades ópticas diversas, ou seja, interagem com a luz de maneiras diferentes, em função de sua concentração e natureza. A presença desses componentes na coluna d'água é responsável por modificações em sua cor, pois eles absorvem ou espalham seletivamente a luz incidente (ALCÂNTARA, 2006).

Neste ítem será abordado a resposta espectral da água pura, resposta espectral da água com elementos opticamente ativos, Sensoriamento Remoto em reservatórios, Sensoriamento Remoto em pequenos reservatórios e componentes principais.

2.3.1 Resposta espectral da água pura

O fluxo de energia radiante que atravessa a interface ar/água está sujeito a dois processos básicos: absorção ou espalhamento nos comprimentos de onda mais curtos, propriedades ópticas inerentes que dependem apenas do meio aquático. O valor atribuído a esses coeficientes depende, exclusivamente, da composição do corpo d'água, ou seja, da concentração e do tipo de substâncias opticamente ativas presentes no mesmo. Tais substâncias são aquelas que podem afetar o espectro de absorção e espalhamento da água pura (DEKKER, 1993; NOVO, 2001; ALCÂNTARA, 2006; RIBEIRO *et al*, 2008; KONG *et al.*, 2015).

O coeficiente de absorção da água pura é alto na região compreendida entre 400 e 600 nm, aumentando rapidamente na região do infravermelho. Ao contrário, o coeficiente de espalhamento da água pura é máximo na região do azul, e decresce exponencialmente em direção ao infravermelho. Entretanto, a absorção da luz no meio aquático se deve a quatro componentes do sistema que passam a ser determinantes na reflectância de corpos d'água: substância orgânica dissolvida, biota fotossintetizadora, partículas orgânicas e inorgânicas em suspensão e a própria água (ALCÂNTARA, 2006; BARBOSA, 2007).

A água possui comportamento espectral distinto de acordo com as formas como se apresenta. A água líquida apresenta reflectância (menor que 10%) em comprimentos de onda na faixa do visível (entre 380 -700 nm), sendo que nas demais regiões do espectro óptico há absorção da radiação incidente (DEKKER, 1993, JENSEN, 2009) (FIGURA 6).

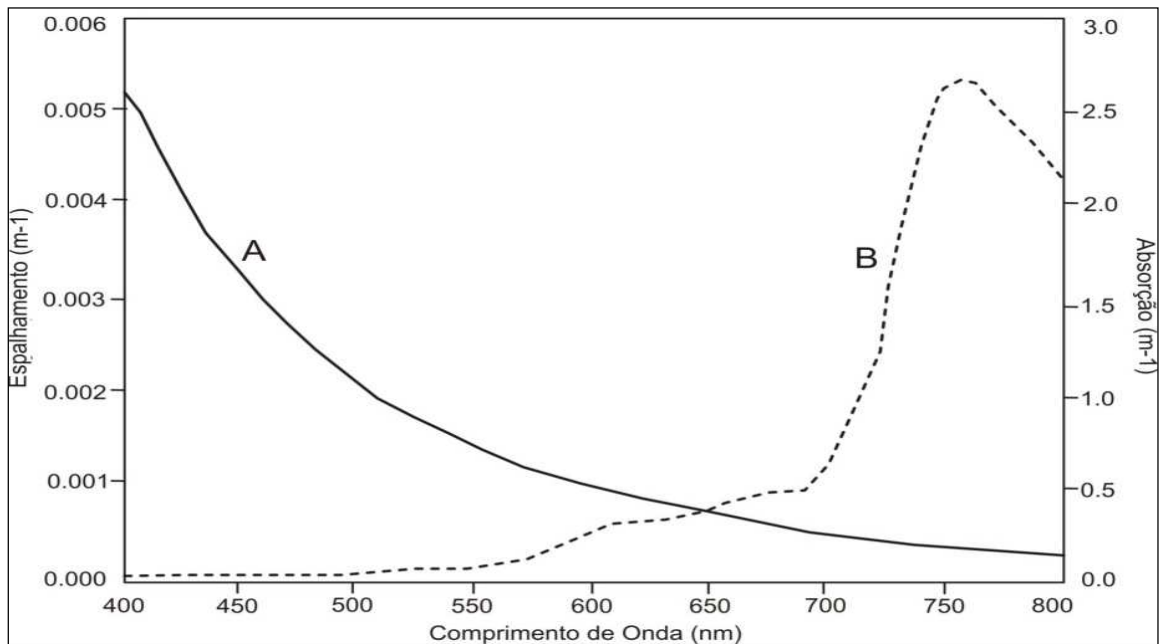


Figura 6: Características do espalhamento da água: (A) absorção; (B) água pura
Fonte: Dekker (1993).

A absorção da radiação ocorre de maneira exponencial em sentido negativo com a profundidade, além de ser um processo que varia em função do comprimento de onda. Na água pura, ocorre pouca absorção da radiação em comprimentos de onda curtos e nos comprimentos de onda mais longos são bastante absorvidas. Portanto, a faixa de maior coeficiente de absorção é geralmente o vermelho e especialmente o infravermelho, decrescendo significativamente em direção ao azul (ESTEVES, 2011; FAN, 2014).

2.3.2 Resposta espectral da água com elementos opticamente ativos

Em águas continentais, componentes orgânicos e inorgânicos conferem a cor apresentada pela água, sendo algumas passíveis de detecção por técnicas de Sensoriamento Remoto. Dentre estas substâncias e/ou partículas se destacam os pigmentos fotossintéticos como a Clorofila *a*, presente nos organismos fitoplanctônicos aquáticos, as partículas inorgânicas suspensas provenientes principalmente das bacias de captação do sistema aquático

e o carbono orgânico dissolvido resultante da decomposição do material orgânico que pode ser particulado ou dissolvido. Todos estes elementos imprimem características únicas aos dados de Sensoriamento Remoto, o que permite a identificação dos componentes, e consequente monitoramento do ambiente aquático (CORAZZA, 2010; SHI *et al.*, 2015).

Segundo Kirk (1994) a radiação visível de um corpo natural de água é determinada pelas propriedades ópticas inerentes a partir dos constituintes opticamente ativos (COAs) que se encontram na coluna d'água. No entanto, em alguns casos a influência de COAs, principalmente sedimentos suspensos e dissolvidos, fitoplâncton e matéria orgânica, auxiliam na identificação e compreensão de formas e feições em espectros de reflectância (DIAS *et al.*, 2005; RUDORFF, 2006; BINDING *et al.*, 2007).

O coeficiente de absorção da água é influenciado, tanto pelas próprias moléculas de água como pelas substâncias húmicas dissolvidas: baixa absorção na faixa do vermelho e aumento desta com a diminuição do comprimento de onda (FAN, 2014; SHI *et al.*, 2015).

Nos espectros de água é possível identificar duas fortes feições de absorção no azul e no vermelho devido aos pigmentos fotossintéticos (KIRK, 1994). Uma diferença encontrada nos espectros dessas águas é a reflectância média ser um pouco maior, e o pico de reflectância em 559 nm ser bem definido. Estas características de acordo com Kirk (1994) e Binding *et al.* (2007) são indícios de que tais águas possuem maior quantidade de fitoplâncton distribuído na coluna d'água durante a vazante, embora ainda em baixa concentração (FIGURA 7).

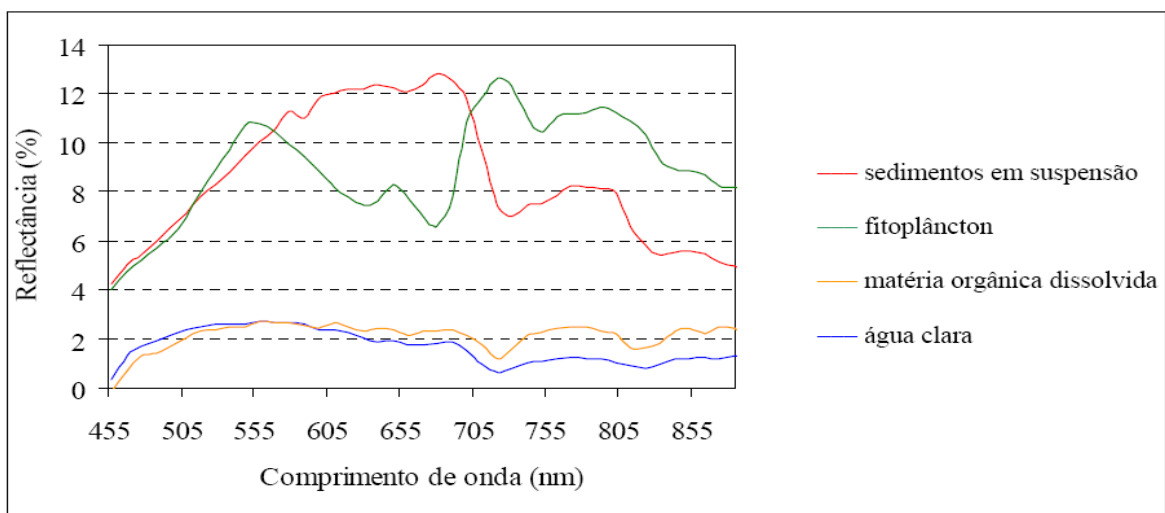


Figura 7: Comportamento espectral da água clara e da água com diferentes constituintes opticamente ativos
Fonte: Rudorff (2006).

A interpretação dos espectros de reflectância da absorção da água e de seus componentes opticamente ativos servem como base para a avaliação e monitoramento do estado trófico de ambientes lênticos utilizando-se apenas métodos de Sensoriamento Remoto (LISNNER; GUASSELLI, 2013).

Neste contexto, entender a relação da reflectância espectral da água com os fenômenos/características de uma bacia hidrográfica facilita a estimativa da distribuição e da concentração de sólidos em suspensão sobre águas, sejam elas continentais, reservatórios, lagos ou em rios.

2.3.3 Sensoriamento Remoto em reservatórios

Os reservatórios, por se tratarem de ambientes lênticos, são mais propícios a impactos na qualidade da água, pois com o represamento o tempo de residência da água aumenta consideravelmente. O mecanismo de transporte de materiais, responsável pelo carreamento de substâncias no sentido montante-jusante é consideravelmente reduzido. Neste sentido, os principais impactos ocorridos em reservatórios são o assoreamento e a eutrofização, fatores estes possíveis de monitoramento por Sensoriamento Remoto (VILELA, 2017).

A aplicação do Sensoriamento Remoto (SR) ao estudo do ambiente aquático é uma constante dentro das ciências ambientais em todo o mundo. No Brasil, há uma larga aplicação do SR para analisar a qualidade dos corpos d'água em diversos ambientes, sejam eles rios, lagos, lagoas ou reservatórios artificiais (MACHADO e BAPTISTA, 2016).

O Sensoriamento Remoto tem sido amplamente utilizado para detectar e quantificar parâmetros de qualidade da água em corpos d'água naturais e em reservatórios. Sensores com ampla variedade de resoluções espectral, espacial e temporal têm sido utilizados para avaliar poluentes químicos, sólidos suspensos e quantidade de clorofila (TIAN *et al.*, 2014; KONG *et al.*, 2015). Segundo Goodin *et al.* (1993), entretanto, um dos principais problemas em Sensoriamento Remoto da água é separar os efeitos da turbidez causados por sedimentos em suspensão dos efeitos causados pela clorofila das algas. Isto é especialmente importante em lagos e reservatórios, pois o nível de clorofila é indicador de estado trófico e indicador indireto de poluição por fertilizantes, pesticidas e herbicidas.

No entanto, o estudo de reservatórios a partir de dados espectrorradiométricos e orbitais são formas de acesso às características limnológicas. Ao considerar a extensão e quantidade de corpos hídricos, fica evidente a necessidade de novas ferramentas para monitorar a dinâmica e características desses ambientes (BREUNIG *et al.*, 2011). O monitoramento da qualidade da água em reservatórios serve para verificar a sua situação e os seus problemas emergentes, bem

como para definir planos, prioridades e programas para o gerenciamento da qualidade da água e avaliar a efetividade das medidas tomadas (CUNHA *et al.*, 2013).

A utilização de Sensoriamento Remoto para estudo limnológicos possibilita avaliar e caracterizar grandes áreas e relacionar a resposta espectral da água com dados limnológicos obtidos em campo (DEKKER, 1993; KONG *et al.*, 2015). O aumento de sólidos em suspensão e a conseqüentemente diminuição da transparência da água ocasiona um aumento da refletância em direção aos comprimentos de onda mais longos (FIGURA 8). Ou seja, a presença de sedimentos em suspensão ou materiais inorgânicos causa crescente refletância na região do visível do espectro eletromagnético. Há uma correlação positiva entre a concentração de sedimentos em suspensão e a refletância nos comprimentos de onda visíveis e NIR (KARABULUT e CEYLAN, 2005). A própria granulometria dos sólidos pode afetar a reflexão do corpo de água, pois para um dado valor constante de sólidos em suspensão, a resposta do sensor tende a aumentar à medida que o sedimento em suspensão torna-se mais fino (PEREIRA FILHO, 1997 ; SARI *et al.*, 2015).

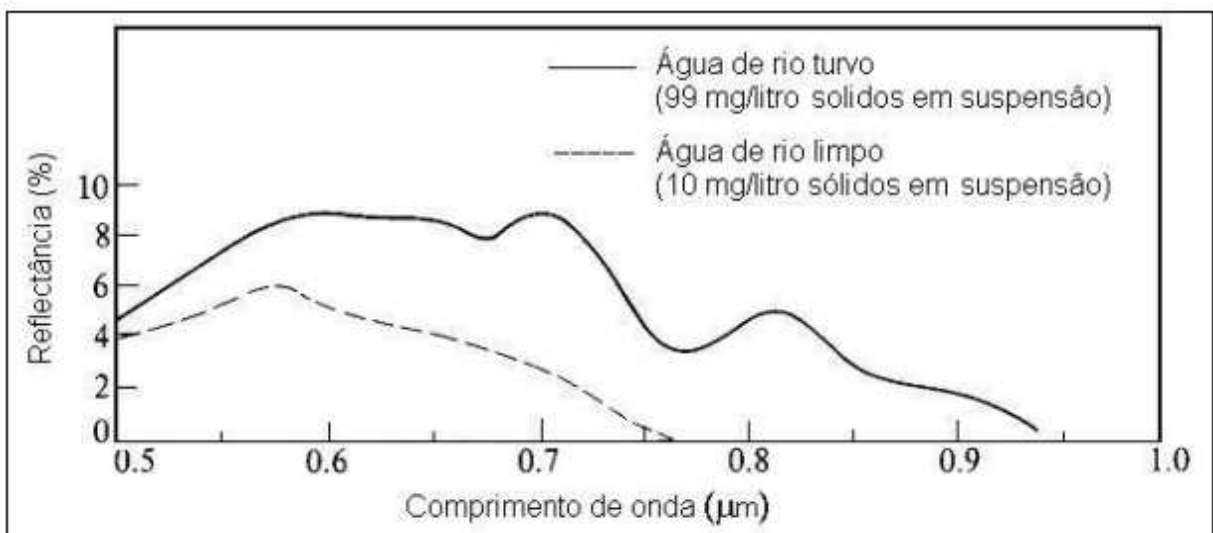


Figura 8: Comportamento espectral da água em rios com diferentes quantidades de sedimentos. Fonte: Ferreira e Pereira Filho (2009), adaptado de Lillesand e Kiefer (1994)

Assim, o Sensoriamento Remoto é uma ferramenta importante para obter dados espectrais sobre qualidade de corpos de água, e pode monitorar grandes áreas em um curto espaço de tempo em uma base repetitiva. Também, é possível atualizar dados de Sensoriamento Remoto, o que permite o monitoramento contínuo dos cursos de água. Pelo fato do Sensoriamento Remoto fornecer uma visão sinótica dos corpos d'água com baixo custo pela informação, os

gestores e órgãos públicos estão, portanto, interessados em analisar a qualidade da água através destas informações. (KARABULUT e CEYLAN, 2005).

2.3.3.1 Sensoriamento Remoto em pequenos reservatórios

Em bacias hidrográficas com instalações de armazenamento de água, a disponibilidade de informações regularmente atualizadas sobre pequenos reservatórios é de suma importância para a efetiva gestão desses sistemas (AVISSE *et al.*, 2017). Os reservatórios são essenciais para o desenvolvimento e gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, independentemente do seu tamanho (LEEMHUIS *et al.*, 2009).

Sendo assim, separar espectralmente a água da terra ou da vegetação pode ser difícil devido aos componentes da cobertura terrestre, do subpixel ou da qualidade da água que pode variar ao longo de um corpo de água (JI *et al.*, 2009; GAO *et al.*, 2012; AVISSE *et al.*, 2017).

Alguns estudos analisaram pequenos reservatórios com pequena superfície de água utilizando sensores ópticos como Landsat (LIEBE *et al.*, 2009; RODRIGUES *et al.*, 2012; AVISSE *et al.*, 2017) e imagens de radar quando havia problemas de cobertura de nuvens (LIEBE *et al.*, 2009). Baup *et al.* (2014) utilizaram dados de altimetria de satélite juntamente com imagens de alta resolução espacial para estimar o volume de um lago. Sima e Tajrishy (2013) fizeram o mapeamento de um pequeno lago, utilizando dados de altimetria de radar e imagens de satélite para calcular as características de volume, área e elevação.

Avisse *et al.* (2017), aplicaram um método de monitoramento em pequenos reservatórios na China em áreas de conflito de guerra civil, validado a partir de medições *in situ* disponíveis em Reservatórios jordanianos. O método baseia-se apenas em modelos digitais de elevação e imagens de satélite Landsat para a área da superfície da água, para estimar quantitativamente variações de armazenamento. De acordo com os autores a maior dificuldade em estudo de pequenos reservatórios é a não visibilidade por parte do satélite de pequenas áreas.

Neste sentido, o Sensoriamento Remoto tem um potencial para superar estas limitações, por proporcionar um meio alternativo de monitoramento da qualidade de água sobre uma pequena faixa de escalas temporal e espacial.

2.3.4 Análise de Componentes Principais

A Análise de Componentes Principais (ACP) é um método de estatística multivariada que permite a análise de dados em escala espaço-temporal, a partir de matrizes de variâncias-covariâncias ou de correlações entre os parâmetros considerados (LANDIM, 2000; ODDEN e KVALHEIM, 2000). Quando utilizada para análise e processamento de imagens de Sensoriamento Remoto, a primeira componente (CP1) contém as informações comuns entre as bandas, enquanto que a segunda componente (CP2) expressa as mudanças ocorridas entre as datas, sob a vantagem da obtenção de resultados sem necessidade de calibrações e correções atmosféricas (CHAVEZ e KINNON, 1994).

A Análise de Componentes Principais (ACP) apresenta grande potencial para a detecção da dinâmica e das mudanças no uso e cobertura da terra, como nos casos de inundações, incêndios e no desenvolvimento de culturas. As ACP resultam em um novo conjunto de bandas, ordenado segundo os autovalores de variância das bandas (JIAJU, 1988; GREEN *et al.*, 1988).

As três primeiras componentes principais podem conter mais de 90% da informação do que o restante das bandas geradas, assim, estes cálculos têm sido amplamente utilizados na detecção remota para classificar a superfície da terra e detectar mudanças ambientais (ESTORNELL *et al.*, 2013).

Estudos estão sendo realizados com a aplicação de ACP, entre eles pode-se destacar Braga *et al.* (2003) aplicaram ACP e encontraram alta correlação entre as componentes principais das bandas do Landsat 5 e concentrações de clorofila-a medidas em campo e profundidade do disco de Secchi. Pulliainen *et al.* (2001) empregaram análise por componentes principais para classificação de tipos de lagos e verificaram que esta análise requer a utilização de apenas informação da forma de espectro, e apontam uma distinção clara entre os tipos de água dos diferentes lagos.

Bernardi *et al.* (2009) aplicaram ACP para estudar a composição físico-química das águas da Bacia do Rio Madeira verificando a possibilidade de discriminar a formação de três grupos baseados em três variáveis condicionantes: condutividade, pH e sólidos em suspensão. Neste sentido, a ACP tornou-se uma ferramenta estatística muito interessante que se mostrou adequada para estudar a composição físico-química das águas da Bacia do Rio Madeira.

Corazza (2015) aplicou componentes principais no Lago Guaíba-RS e verificou que esta técnica ampliou as correlações das imagens com os dados de clorofila e cianobactérias em relação ao NDVI.

3. METODOLOGIA

Para a realização da presente pesquisa em Pequenas Centrais Hidrelétricas do rio Ivaí a metodologia utilizada foi organizada em três etapas: laboratório de processamento de imagens; obtenção de dados em campo; e determinação de dados em laboratório de limnologia (FIGURA 10).

Para tanto foram utilizados 3 pontos amostrais do rio Ivaí sendo um em cada PCH, totalizando 18 coletas em 9 missões de campo. A pequena quantidade de pontos se deve a dificuldade e ao grau de periculosidade ao acessar esses pequenos reservatórios. Além disso o acesso não era permitido a partir do rio (FIGURA 9), o acesso ao local de estudo foi autorizado pela empresa COPREL em visita ao seu estabelecimento em Ibirubá- RS.



Figura 9: Restrições encontradas nas PCHs

Foram utilizadas imagens de satélite Landsat 8 para representar o período de estudo compreendido entre junho de 2015 e junho de 2016. As atividades de coleta de campo foram utilizadas para verificar a verdade terrestre e estimar as correlações com os dados de reflectância e classificação das imagens de Sensoriamento Remoto.

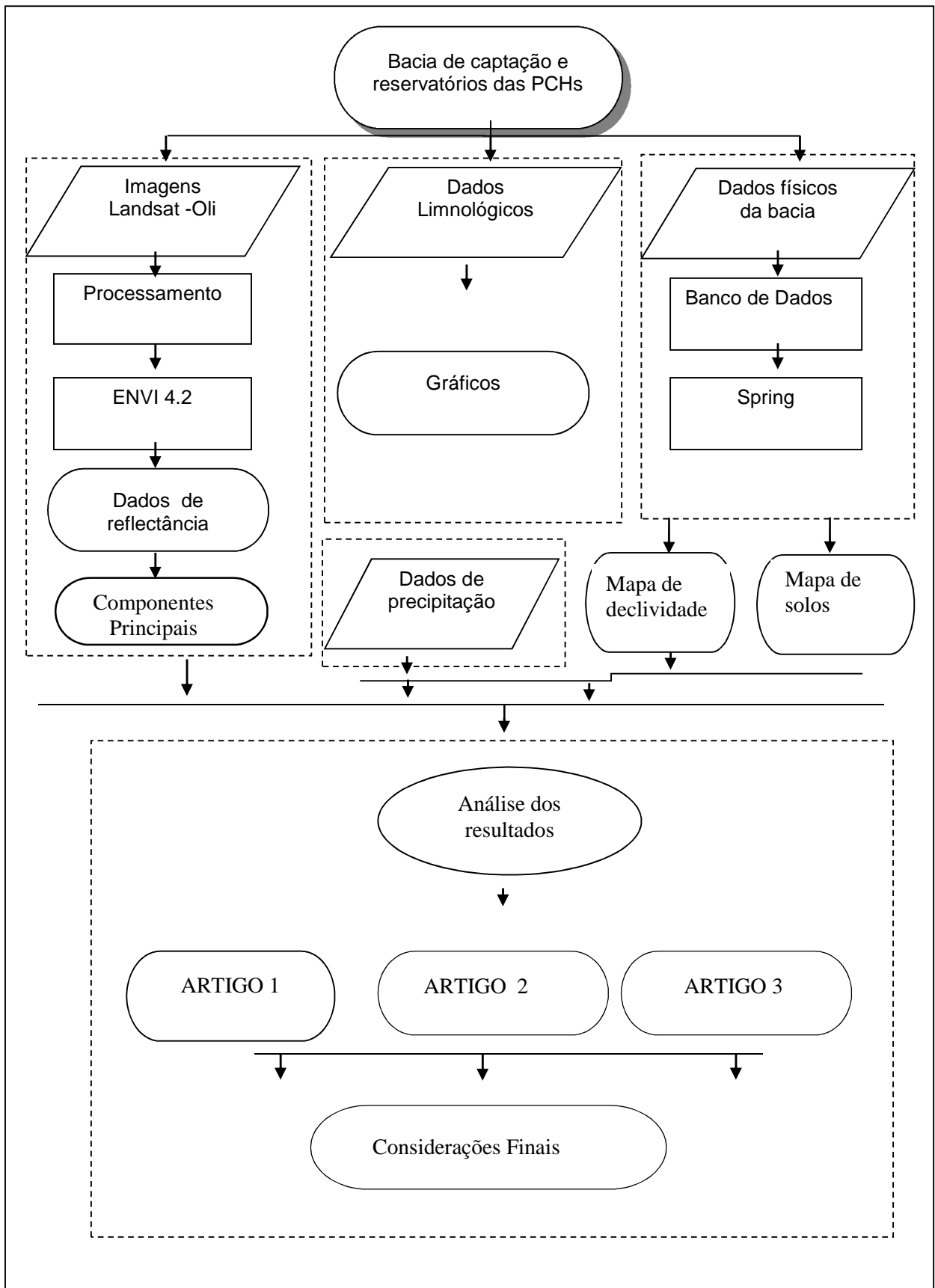


Figura 10: Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa

3.1 DADOS LIMNOLÓGICOS

Foram realizadas 18 coletas de água nos três pontos amostrais em sub-superfície, na profundidade aproximada de 30 cm. As variáveis Total de Sólidos em Suspensão (TSS) e turbidez foram determinadas no Laboratório de Geotecnologias (LABGEOTEC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

A determinação dos valores de TSS em laboratório foi realizada conforme apresentado em APHA (2005). Para a filtragem foram utilizados bomba de vácuo e filtros de celulose. Os filtros foram secados previamente por 24 horas em estufa a uma temperatura de 50°C, a fim de eliminar a umidade. Posteriormente à secagem, os filtros foram pesados em balança analítica para obtenção do peso inicial. Após a filtragem da água, os filtros retornaram à estufa, onde permaneceram por 24 horas em 50°C novamente. Após, foi obtido o peso final com a pesagem dos filtros na mesma balança e determinada a concentração de totais de sólidos em suspensão em mg/L. Os valores de turbidez foram obtidos com a sonda multiparâmetros Horiba modelo U-53.

3.2 DADOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Os dados de precipitação pluvial foram adquiridos junto ao Banco de Dados das PCHs em estudo, disponibilizados pela empresa de gerenciamento COPREL. Também foram obtidos dados de precipitação administrados pela Cooperativa Agropecuária de Júlio de Castilhos-COTRIJUC, que utiliza estes dados para pesquisas em agricultura de precisão. O ponto de coleta é a Estação de Ivaí, localizada na área de estudo.

Os dados de precipitação são do mesmo período da coleta de dados, ou seja, de junho de 2015 a junho de 2016. Os totais diários foram obtidos no pluviômetro em horários determinados, às 8:00 e 17:00 h, e realizada a média aritmética para obtenção do valor total (FIGURA 11).

PLUVIÔMETRO		MÊS	ANO	
DIA	LEITURAS DO PLUVIÔMETRO (mm)	HORA		OBSERVAÇÕES
		INICIAL	FINAL	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11	35,0			
12	10,0			
13				
14				
15	25			
16				
17				
18				
19				

Figura 11: Dados de precipitação pluviométrica disponibilizados pela empresa COPREL

3.3 IMAGENS LANDSAT 8

O projeto Imageador Operacional da Superfície (OLI) é a mais avançada tecnologia de sensores a bordo do satélite Landsat-8. As imagens pancromáticas têm resolução espacial de 15 metros e as demais bandas de 30 metros ao longo de uma faixa de 185 quilômetros de largura cobrindo grades áreas da paisagem da Terra, fornecendo resolução suficiente para distinguir características como centros urbanos, fazendas, florestas e outros usos da terra. O Landsat-8 possui dois sensores: o OLI e o Thermal Infrared Radiometer Suite (TIRS), e imageia a superfície terrestre em todas as partes visíveis e térmicas do espectro. Comparado aos sensores antecedentes do Landsat, o OLI tem características avançadas, que incluem a sua resolução radiométrica de 12 bits e a adição de uma banda centrada a 443 nm (PAHLEVAN, 2017).

O banco de dados foi elaborado no aplicativo SPRING desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram organizados os dados cartográficos e as séries temporais no período de um ano (junho de 2015 a junho de 2016) com imagens de satélite dos sensores Landsat 8 (Tabela 3), As imagens possuem resolução espacial de 30 metros e já são corrigidas e calibradas para efeitos atmosféricos. Elas foram obtidas gratuitamente por meio de solicitação na página Earth Explorer.

Tabela 3:Características das bandas OLI/Landsat 8

Bandas	Comprimento de onda central (nm)
Banda 1 –Aerosol	443
Banda 2- Azul	483
Banda 3 – Verde	561
Banda 4 – Vermelho	654
Banda 5- Infravermelho próximo	864
Banda 6 – Infravermelho médio	1609
Banda 7 – Infravermelho	2201
Banda 8- Pancromática	590
Banda 9- Cirrus	1370

Fonte: GAROFALO *et al.*, (2015).

Os dados de campo foram obtidos em datas próximas às passagens do Landsat 8 (Tabela 4), e serviram para identificar e descrever a variabilidade da distribuição de COAs e reflectância.

Tabela 4: Datas das imagens e datas das coletas de dados limnológicos nas PCHs, rio Ivaí – RS

	Data da imagem	Data do Coleta em campo
1	15-06-2015	15-06-2015
2	27-08-2015	27-08-2015
3	12-09-2015	11-09-2015
4	05-10-2015	05-10-2015
5	15-11-2015	16-11-2015
6	08-12-2015	08-12-2015
7	18-01-2016	18-01-2016
8	13-03-2016	14-03-2016
9	07-04-2016	07-04-2016

3.4 ANÁLISE POR COMPONENTES PRINCIPAIS

Para a detecção das mudanças ocorridas no espelho d'água foi utilizada a ACP, aplicada a um conjunto de 9 imagens, cada uma com 6 bandas, totalizando 54 CP. O resultado gerado foi um novo conjunto imagens descorrelacionadas. Este novo conjunto de imagens apresentou

as seguintes características: a primeira componente, denominada de 1ª Componente Principal (CP1), contém as informações que são comuns a todo o conjunto de dados de entrada; a 2ª Componente Principal (CP2) contém as feições espectrais mais significantes do conjunto de dados e assim por diante. Portanto, as primeiras componentes contém as feições espectrais mais significativas enquanto as CPs de ordens mais altas contém as informações menos significativas (CROSTA, 1992).

Para a pesquisa foi utilizado o software Spring versão 5.2.7 disponibilizado pelo INPE e ENVI versão 4.7. Foram geradas ACPs a partir das 6 bandas do Landsat/OLI, disponíveis para cada data de passagem, totalizando 9 imagens no decorrer de um ano.

4. REFERÊNCIAS

AVISSE, N.; TILMANT, A.; MÜLLER, M. F.; ZHANG, H. Monitoring small reservoirs' storage with satellite remote sensing in inaccessible áreas. **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 21, p. 6445–6459, 2017.

ALCÂNTARA, E.H. **Análise da turbidez na planície de inundação de Curuaí (PA, Brasil) integrando dados telemétricos e imagens MODIS/TERRA**. 2006. 220 p. (INPE-14621-TDI/1200). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/02.15.17.09>>. Acesso em: 08 dez. 2011.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Resolução Homologatória Nº 114, de 20 de Abril de 2004, Publicado no D.O de 22.04.2004, seção 1, p. 179, v. 141, n. 76. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/reh2004114.pdf>. Acesso em: 20 de setembro de 2017.

BAUP, F. *et al.* Combining high-resolution satellite images and altimetry to estimate the volume of small lakes. **Hydrology Earth System Sciences**. Toulouse, v. 18, p. 2007-2020, 2014.

BERMANN, C. Impasses e controvérsias da hidroeletricidade. Estudos avançados. 2007. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142007000100011>. Acesso em: 15-04-2018.

BERNARDI, J. *et al.* Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no Alto Rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**. v. 23. 2009.p.79-90.

BINDING, C.E.; *et al.* Spectral absorption properties of dissolved and particulate matter in Lake Erie. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 4, 2007. p. 1702- 1711.

BRAGA, C.Z.F; VIANNA, M.L.; KJERFVE, B. Environmental characterization of a hypersaline coastal lagoon from Landsat-5 Thematic Mapper data. **International Journal of Remote Sensing**. v.24, p.3219-3234, 2003.

BRANDO, V.E.; DEKKER, A.G. Satellite hyperspectral remote sensing for estimating estuarine and coastal water quality. **IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing**. vol. 41, no. 6, 2003, p. 1378-1387.

BREUNIG, F.M.; *et al.* Caracterização limnológica do reservatório Rodolfo Costa e Silva. **Revista Geográfica Brasileira**. vol. 5, p.85-97, 2011.

CARDOSO, O. R. *et al.* Análise de fragilidade ambiental na bacia do rio Pardo - RS, frente à instalação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. vol. 20 , no.2 p. 507 – 522, Porto Alegre, abr./jun. 2015.

CARVALHO, N.B. de. **Avaliação dos Impactos Sinérgicos e Cumulativos de Pequenas Centrais Hidrelétricas Construídas em Sequência**. 154 p. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

CHAVEZ, P.S.; KINNON, M. D.J. Automatic detection of vegetation changes in South United States using remotely sensed images. **Photogrametric Engineering & Remote Sensing**, v.60, n.5, p.571-583, 1994.

CMSAPAR- **Participações S.A BME Energia**. Disp. em: <http://www.cmsapar.com.br/bme.php?lang=pt>. Acessado em: 24/7/2018.

COAJU - Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí. **História do Sistema Jacuí**. Disponível em: <www.upf.br/coaju/download/Historia_Sistema_Jacui_1.ppt> Acesso em: 11 de setembro de 2013.

CORAZZA, R. **Relações entre variáveis espectrais e limnológicas no Reservatório da Usina Hidrelétrica Dona Francisca –RS**. 103f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

CROSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. IG/UNICAMP, Campinas, SP, 170p. 1992.

CRUZ, P.T. **100 Barragens Brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 1996.

CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C.; LAMPARELLI, M.C. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs. **Ecological Engineering**, v. 60, p. 126-134, 2013.

D'AGOSTINI, L.R. **Erosão: o problema mais que o processo**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999. 131 p.

DEKKER, A.G. **Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing**. 222f. 1993. Doctor Thesis (Hyperspectral remote sensing of water quality). Vrije Universiteit, Amsterdam, 1993.

DIAS, N.W.; *et al.* Sensoriamento Remoto para a caracterização do aporte de sedimentos e compostos orgânicos da Represa de Paraibuna, São Paulo. **Ciências Agrárias**. 2005. p. 1-18. Disponível em <<http://www.agro.unitau.br/dspace>>. Acesso em 11/08.

ELETROBRÁS - DNAEE. **Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas, Volume 1 - Metodologia**. 2007. Disponível em: <<http://www.eletrabras.com.br>>. Acesso: 10 de agosto de 2015.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética, 2012. Plano Decenal de Expansão de Energia 2021 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2012.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

ESTORNELL, J.; MARTI-GAVILA, J.M.; SEBASTIÀ, M.T.; MENGUAL, J. Principal component analysis applied to remote sensing. **Modelling in Science Education and Learning**, v.6 (2), n.7, p. 83-90, 2013.

FARIA, I. D. **O que são usinas hidrelétricas “a fio d’água” e quais os custos inerentes à sua construção?**. Disponível em: < <http://www.brasil-economia-governo.org.br/wp-content/uploads/2012/03/o-que-sao-usinas-hidreletricas-a-fio-d%E2%80%99agua-e-quais-os-custos-inerentes-a-sua-construcao.pdf>>. Acesso em: 24-07-2018.

FERREIRA, A. B; PEREIRA FILHO, W. Avaliação da reflectância espectral de corpos d’água em Santa Maria-Rs por meio de espectrorradiometria de campo. *Revista Geoambiente-ONLINE*. Jataí, n.13, p. 194-207. 2009.

FREY, G.W.; LINKE, D.M. Hydropower as a renewable and sustainable energy resource meeting global energy challenges in a reasonable way. **Energy Policy**, v. 30, p. 1261–1265, 2002.

GAO, H.; BIRKETT, C.; LETTENMAIER, D. P. Global monitoring of large reservoir storage from satellite remote sensing, **Water Resour.** Vol. 48, 2012.

GIRARDI, R. *et al.* Water quality change of rivers during rainy events in a watershed with different land uses in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 21, n. 3, p. 514-524, Porto Alegre, jul./set. 2016.

HAN, L.; RUNDQUIST, D.C. Comparison of NIR/RED ratio and first derivative of reflectance in estimating algal-chlorophyll concentration: a case study in a turbid reservoir. **Remote Sensing of Environment**, 62, 1997, p. 253-261.

HICKS, C. Small hydropower in China a new record in world. **Refocus**, p.36-40, 2004.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012. Special Report on Renewable Energy Sources. Draft final. Working Group III.

JEBARAJ, S.; INIYAN S. A review of energy models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 10, n. 4, p. 281-311, 2006.

JI, L.; ZHANG, L.; WYLIE, B.: Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index, **Photogram. Eng. Remote Sens.**, 75, 1307–1317, 2009.

JIAJU, L. Development of principal component analysis applied to multitemporal Landsat TM data. **International Journal of Remote Sensing**, v.9, n.12, p.1895-1907, 1988.

KARABULUT, M.; CEYLAN, N. The Spectral Reflectance Responses of Water with Different Levels of Suspended Sediment in The Presence of Algae. *Turkish J. Eng. Env. Sci.* vol. 29 , 351 – 360, 2005.

KERN, R.; FILL, H.D.O.A.; Método de Regionalização para Avaliar a Energia Garantida Incremental de PCHs a Fio de Água Integradas na Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.19,n.2,p.53-65,p.2014.

KIMMEL, B.L.; LIND, O.T.; PAULSON, J.L. Reservoir Primary Production. In: **Reservoir Limnology: Ecological Perspectives**. Edited by K.W, B.L. Kimmel, and F.E Payne. New York: John Wiley and sons, 1990. p.133-173.

KIRK, J.T.O. **Ligth and photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2ed. Cambridge University Press: New York, 1994.

KONG, J.; *et al.* An optimal model for estimating suspended sediment concentration from Landsat TM Images in the Caofeidian coastal waters. **International Journal of Remote Sensing**. 2015.

LANDIM, P.M.B. (2000) **Análise estatística de dados geológicos multivariados**. Lab. Geomatemática, DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 128 pp. Disponível em:<https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=TFoJBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=An%C3%A1lise+estat%C3%ADstica+de+dados+geol%C3%B3gicos+multivariados&ots=s2y0__PYCU&sig=VKT3wr0VOdoVVV08OErM64jSSo8#v=onepage&q=An%C3%A1lise%20estat%C3%ADstica%20de%20dados%20geol%C3%B3gicos%20multivariados&f=false>Acesso em 22/04/2017.

LEEMHUIS, C., JUNG, G., KASEI, R., LIEBE, J. The Volta Basin Water Allocation System: assessing the impact of small-scale reservoir development on the water resources of the Volta basin, West Africa, **Adv. Geosci.**, 21, 57–62, 2009.

LIEBE, J. R.; VAN DE GIESEN, N.; ANDREINI, M.; WALTER, M. T.; STEENHUIS, T. S. Determining watershed response in data poor environments with remotely sensed small reservoirs as runoff gauges, **Water Resour. Res.**, vol. 45, 2009.

LISSNER, J. B.; GUASSELLI, L. A. Variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada na lagoa Itapeva, litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil, a partir de análise de séries temporais. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, vol.25, n.2, p.427-440, mai/ago/2013.

MACHADO, M.T.S.; BAPTISTA, G.M.M. Sensoriamento Remoto como ferramenta de monitoramento da qualidade da água do Lago Paranoá (DF). **Engenharia Sanitaria Ambiental**. v.21 n.2, p. 357-365, abr/jun 2016.

MACKINNEY, G. Absorption of light by chlorophyll solutions. **The Journal of Biological Chemistry**. v. 140, 1941. p. 315 – 322.

MELLO, A. P. G.; SANTOS, J. W. M. C. Análise da variação temporo-espacial da qualidade das águas da Lagoa Sinhá Mariana, Pantanal Norte Mato-grossense, a partir de Imagens MODIS em coletas in loco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 6110-6118. Internet. ISBN 978-85-17-0076-8. Disponível em:<<http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JM4F32>>. Acesso em: 17 mar. 2016.

MENDONÇA, J.C.; FREITAS, R.M.; SOUSA, E.F. Aplicação de modelo de mistura espectral e imagens Modis em análise de inundações na Baixada Campista, região Norte Fluminense, RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR)., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3461-3467. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. (INPE-16446-PRE/11024). Disponível em:<<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.11.28>>. Acesso em: 22 jun. 2015.

MEESS, A. Qualidade da água em reservatórios-Unidade 1. 2018. Disponível em:<https://capacitacao.ead.unesp.br/conhecerh/bitstream/ana/74/2/Unidade_1.pdf>. Acesso em 20-07-18.

NOVO, E.M.L.M.; SHIMABUKURO, Y.E. Aplicação do modelo de mistura na decomposição do espectro de reflectância da água em espectros de seus componentes opticamente ativos: uma avaliação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7. (SBSR)., 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. v. 3, p. 96-108. Printed, On-line. ISBN 978-85-17-00054-6. Disponível em:<<http://urlib.net/dpi.inpe.br/marte@80/2008/06.04.14.48>>. Acesso em: 22 jun. 2015.

NOVO, E.M.L.M. Comportamento Espectral da Água. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. da S. (Orgs.). **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos Alvos Naturais**. Brasília: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. p.203-222

NOVO, E. M. L.M. Sensoriamento Remoto Aplicado à Ecologia Aquática. In: ROLAND, F.; CESAR, D.; MARINHO, M. (Orgs.) **Lições de Limnologia**. São Carlos: RIMA, 2005. p 418- 432.

ODDEN, W. & KVALHEIM, O.M. Application of multivariate modelling to detect hydrocarbon components for optimal discrimination between two source rock types. *Applied Geochemistry*. vol. 15, P. 611-627, 2000.

PAISH O. Small hydropower: technology and current Status. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 6, p. 537–556, 2002.

PAHLEVAN, N. *et al.* Landsat 8 remote sensing reflectance (Rrs) products: Evaluations, intercomparisons, and enhancements. **Remote Sensing of Environment**, vol. 190, p. 289-301, 2017.

PEREIRA, A. C. de F. **Desenvolvimento de método para inferência de características físicas da água associadas às variações espectrais. Caso de estudo: reservatório de Itupararanga/SP**. 208 p. Universidade Estadual Paulista- Tese de Doutorado. Presidente Prudente, 2008.

PEREIRA FILHO, W. **Influência dos diferentes tipos de uso da terra em bacias hidrográficas sobre sistemas aquáticos da margem esquerda do Reservatório de Tucuruí-Pará.** 130 p. Tese de Doutorado- Universidade de São Paulo - Doutorado em Geografia - São Paulo, 2000.

PEREIRA FILHO, W.; GALVÃO, L.S. Relações entre reflectância espectral e concentração de sedimentos em suspensão no reservatório Passo Real, Região Sul do Brasil. In.: Simpósio Latinoamericano de Percepção Remota, 8., 1997, Mérida, VE. **Memórias...1997.** CD-ROM

PEREIRA FILHO, W.; *et al.* ,Influência de componentes opticamente ativos relacionados a reservatórios em cascata – Rio Jacuí – RS. In.: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, XVI, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 2013. 9036-9042.

PINTO *et al.* Uso de imagens MODIS no monitoramento do fluxo de sedimentos no reservatório de Três Marias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.18, n.5, p.507–516, 2014.

PULLIAINEN, J.; *et al.* A semi-operative approach to lake water quality retrieval from remote sensing data. **The Science of the Total Environment.** v. 268, 2001. p. 79-93.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 1-35.

ROBERTS, D.A.; BATISTA, G.T.; PEREIRA, J.L.G.; WALLER, E.K.; NELSON, B.W. Change identification using multitemporal spectral mixture analysis: applications in eastern Amazonia. In: Lunetta R. S.; Elvidge C. D. (Org.) **Remote sensing change detection: environmental monitoring methods and applications.** Michigan: Ann Arbor Press, v.1, cap. 9, p. 137 – 161, 1998

RODRIGUES, L. N.; SANO, E. E.; STEENHUIS, T. S.;PASSO, D. P. Estimation of Small Reservoir Storage Capacities with Remote Sensing in the Brazilian Savannah Region, **Water Resour. Manage.**, vol. 26, p. 873–882, 2012.

RUDORFF, C. M. **Estudo da composição das águas da Planície Amazônica por meio de dados de reflectância do sensor Hyperion/EO-1 e de espectrômetro de campo visando à compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos.** 2006. 140f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

SANTOS, F.C. **Influência dos constituintes opticamente ativos na reflectância espectral da água do reservatório Passo Real, RS.** 2012. 87f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SANTOS, F.C.; PEREIRA FILHO, W.; TONIOLO, G. R. Transparência associada à reflectância da água do reservatório Passo Real. In.: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, XVII, 2015, João Pessoa. Anais... João Pessoa, 2015. 6653-6659.

SARTORI, M.G.B. As variações pluviométricas e o regime das chuvas na Região Central do Rio Grande do Sul. **Boletim de Geografia Teórica**. Rio Claro, n.23, vol. 45-46, 1993. p.70-84.

SARTORI, M.G.B. Clima e Percepção Geográfica. Fundamentos teóricos à percepção climática e à bioclimatologia humana. Santa Maria: Gráfica e Editora Pallotti, 2014. 192 p.

SCALON, T.F. de. O. **Estudo de caso: Modernização e otimização de pequenas centrais hidrelétricas visando diminuição de custos**. Sorocaba, 2107. Disponível em: <<http://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariadeControleeAutomacao/galdenoro1906/tcc-revisado-0806.pdf>> . Acesso em: 11-07-18.

SHAFER, A. **Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1984.

SHIMABUKURO, Y.E.; SMITH, J.A. The leastsquares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, p. 16-20.

SIMA, S.; TAJRISHY, M. Using satellite data to extract volume–area– elevation relationships for Urmia Lake, Iran. **Journal Great Lakes Research, Tehran**, v. 39, p. 90–99, 2013.

TEIXEIRA, C.G. **Validação do Modelo Linear de Mistura Espectral em Imagens ASTER/TERRA a partir de dados Ikonos**. 2004. 127 p. (INPE-13183-TDI/1029). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

THORNBLOOM, M.; NGBANGADIA, D.; ASSAMA M. Using micro-hydropower in the Zairian village. **Solar Energy**, v. 59, n. 1-3, p. 75-81, 1997.

TUNDISI, J.G.; *et al.* Limnologia de águas interiores: Impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999. p. 195-225.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. 2.ed. São Carlos: RiMa, 2005.

VILELA, M. A. M. A. Metodologia para monitoramento da qualidade da água da reservatórios utilizando sensoriamento remoto. 123p. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2010.

WACHHOLZ, F. **Influência das bacias hidrográficas e caracterização espaço-temporal de variáveis limnológicas em reservatório no Rio Grande do Sul**. 2011.191f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

ZHANG, M. W.; DONG, T. W. C.; XUE C. J.; ZHANG , S. L.;Suspended Sediment Monitoring and Assessment for Yellow River Estuary from Landsat TM and ETM+ Imagery. Remote Sensing of Environment vol. 146, 136–147, 2014.

**ARTIGO 1: INTERAÇÃO ENTRE O AMBIENTE FÍSICO DA BACIA
HIROGRÁFICA DO RIO IVAÍ E AS PROPRIEDADES OPTICAS DA ÁGUA NAS
PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS**

INTERAÇÃO ENTRE O AMBIENTE FÍSICO DA BACIA HIROGRÁFICA DO RIO IVAÍ E AS PROPRIEDADES OPTICAS DA ÁGUA NAS PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

Daniela Wancura Barbieri Peixoto

Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto / Universidade Federal do Rio Grande do Sul. - Campus do Vale. Porto Alegre - RS – Brasil. Email: daniwbarbieri@gmail.com

Laurindo Antonio Guasselli

Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto / Universidade Federal do Rio Grande do Sul. - Campus do Vale. Porto Alegre - RS – Brasil. Email: laurindo.guasselli@ufrgs.br

Waterloo Pereira Filho

Programa de Pós-Graduação em Geografia / Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Campus da UFSM. Santa Maria – RS, Brasil. Email: waterloopf@gmail.com

Resumo

Dentre os recursos naturais, a água é um dos que mais sofre alterações em suas características. Estas mudanças são consequências das formas de exploração, degradação e erosão da bacia de captação. O objetivo da pesquisa é relacionar as variáveis limnológicas com as características físicas da bacia hidrográfica do rio Ivaí, considerando tipos de solo, declividade e vegetação. Para realização foi utilizado dados de Totais de Sólidos em Suspensão (TSS), reflectância da água extraída do Landsat 8 e mapas de declividade, solos e vegetação da área de estudo. Os resultados mostram que ocorre um aumento dos sólidos totais em suspensão nos meses chuvosos devido ao maior aporte de sedimentos para as águas superficiais da bacia do rio Ivaí, impulsionado pela declividade do lugar (45% por relevo ondulado) e tipo de solo. A variação da reflectância da água está ligada a participação do regime pluviométrico que pode ser considerado um agente regulador dos corpos d'água e também, uma importante variável a ser estudada em monitoramentos de qualidade da água. Constatou-se que em relação aos totais de sólidos em suspensão e a precipitação pode-se observar um comportamento semelhante, ou seja, quando a precipitação é maior, aumenta também os sólidos em suspensão. Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Precipitação Pluviométrica; Reflectância, Limnologia.

Introdução

As características naturais e a ocupação antrópica em uma bacia hidrográfica são responsáveis, em diferentes escalas, pela entrada de sedimentos nos rios, causando alterações nas características físico-químicas dos reservatórios. Apesar da importância econômica e social dos reservatórios, a sua construção provoca alterações no fluxo natural interferindo na qualidade das águas (WACHHOLZ, 2011).

Avaliar a contribuição da bacia em um reservatório e os sedimentos transportados pelos rios é de suma importância para a compreensão da dinâmica natural dos corpos d'água e na

construção de subsídios à gestão de recursos hídricos, pois grandes concentrações de sólidos podem gerar desequilíbrios ambientais severos (REGO, 2017).

A falta de informações hidrológicas aumenta a incerteza no processo de tomada de decisão e acarreta em resultados negativos no uso e aproveitamento dos recursos hídricos, pois essas informações são indispensáveis para promover esse aproveitamento em bases sustentáveis (TUCCI, 2001). Entretanto, a maior parte das pesquisas hidrológicas é realizada pela coleta de dados em estações fixas ou coletadas em plataformas flutuantes, gerando altos custos e limitando a malha de amostragem espacial (KAMPEL, 2005).

Nesse sentido, o Sensoriamento Remoto tem contribuído no monitoramento da qualidade da água com informações para análise espacial e temporal, tornando-se importante ferramenta para avaliar e compreender as consequências das atividades humanas nos ecossistemas aquáticos, permitindo identificar a gênese e o deslocamento de substâncias em suspensão ou dissolvidas na água (MONTANHER *et al.*, 2014). A influência do sedimento em um ecossistema aquático pode ser potencialmente prejudicial em muitos casos, pois altas concentrações de TSS afetam diretamente a qualidade da água aumentando sua turbidez (MIN *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2013; TIAN *et al.*, 2014).

Com as informações tecnológicas obtidas a partir da década de 1970, foi possível dispor do Sensoriamento Remoto como gerador de dados, tornando-se com isso, importante ferramenta para análise ambiental. A partir de instrumentos oriundos do Sensoriamento Remoto obtemos mapas físicos de bacias, os quais permitem acompanhar de forma sistemática as mudanças na paisagem provendo informações que possam nortear o diagnóstico e a tomada de decisão em caso de impactos ambientais (SILVA *et al.*, 2013; ALMEIDA *et al.*, 2018).

Este artigo tem como objetivo compreender a estrutura espaço-temporal das variáveis limnológicas nos reservatórios das PCHs (UHE) Ernesto Dreher e Henrique Kotzian do rio Ivaí, no contexto de sua bacia hidrográfica.

Área de estudo

Localizadas na região central do Rio Grande do Sul, no rio Ivaí (FIGURA 1), três Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) foram construídas em forma de cascata. A primeira da série é a PCH Ernesto Jorge Dreher, a segunda Cascata do Ivaí e a terceira Henrique Kotzian. As características gerais das PCHs são apresentadas na Tabela 1.

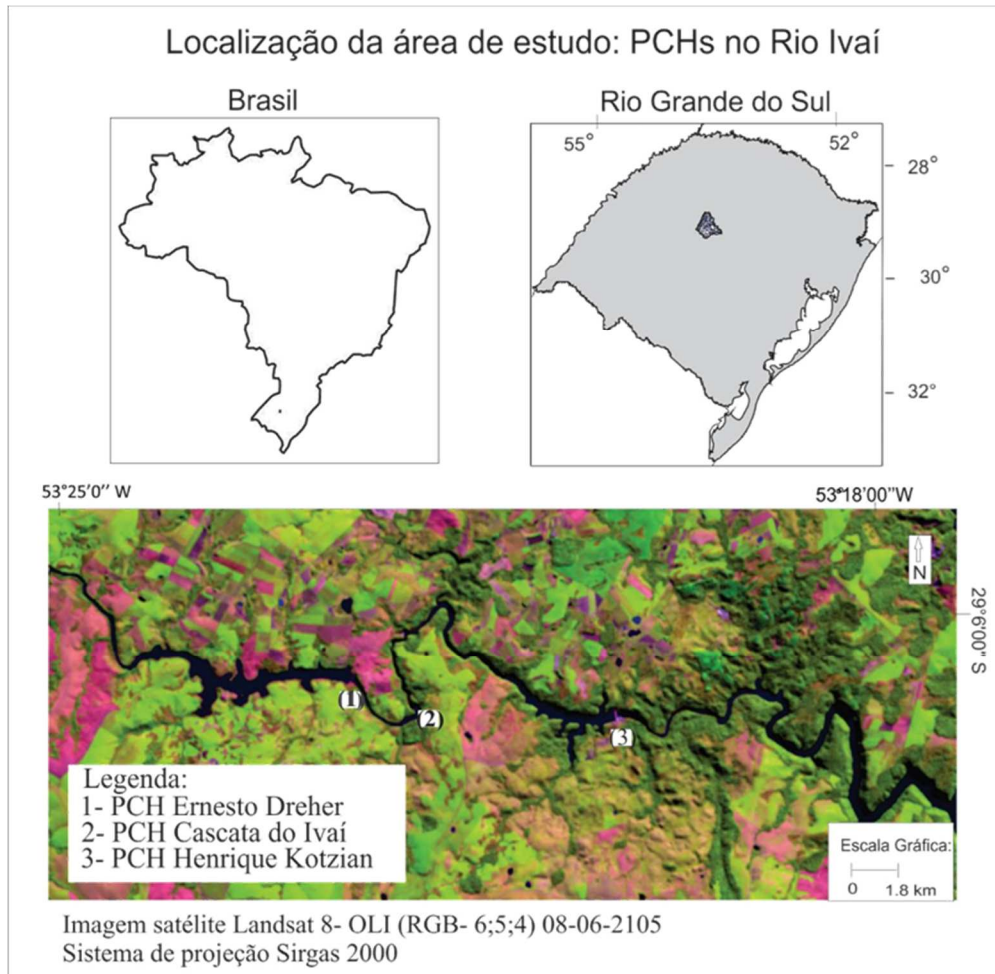


Figura 1: Localização da área de estudo

Tabela 1: Características gerais das PCHs, rio Ivaí - RS.

PCH	Ano de instalação	Potência Instalada (kW)	Vazão (m ³ /s)
Eng. Ernesto Dreher	2009	17.870,0	33,78
Cascata do Ivaí	1950	1,7	-
Henrique Kotzian	2011	13.000,0	48,25

Materiais e Métodos

Para a realização da pesquisa foram utilizadas imagens de satélite Landsat Operational Land Imager (OLI), Imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), cartas topográficas, dados limnológicos coletados em campo, dados de precipitação e dados de solos.

Rede de Drenagem

A rede de drenagem utilizada foi obtida a partir das imagens SRTM, com resolução espacial de 30 metros, conforme Strahler (5^a a 8^a ordem), e os limites dos reservatórios Ernesto Dreher, Cascata do Ivaí e Henrique Kotzian foram obtidos da imagem de satélite do Landsat OLI.

Mapa de declividades

O mapa de declividade foi obtido da grade numérica da imagem de SRTM de 30m, proveniente do TOPODATA, utilizando o *software* ENVI (*Environment for Visualizing Images*).

As classes de declividade (Tabela 2) foram definidas de acordo com Lepsch *et al.* (1991), que propõem classes conforme a capacidade de uso da terra, a forma do relevo e a velocidade do escoamento superficial.

Tabela 2 – Classes de declividade relevo.

Classes de declividade (%)		Forma do relevo
1-	0 a 2	Plano
2-	2 a 5	Suave ondulado
3-	5 a 10	Ondulado
4-	10 a 15	Muito inclinado
5-	15 a 45	Fortemente ondulado
6-	45 a 70	Montanhoso
7-	Mais de 70	Escarpado

Fonte: Lepsch *et al.*, 1991.

Mapa de Solos

O mapa de solos foi digitalizado a partir do mapa de solos do Rio Grande do Sul (BRASIL, 1973) na escala 1:1.000.000, modificado por Streck *et al.* (2008) que definem doze classes de solos para o Rio Grande do Sul: Argissolo, Cambissolo, Chernossolo, Espodossolo, Gleissolo, Latossolo, Luvisolo, Neossolo, Nitossolo, Organossolo, Planossolo, Plintossolo e Vertissolo.

No SPRING esse mapa foi digitalizado para vetorização dos polígonos de solos da área de estudo.

Mapa de vegetação

O mapa de vegetação (IBGE, 2012) 1:1.000.000 foi digitalizado, georreferenciado e vetorizado no SPRING para obtenção dos polígonos correspondente às classes de vegetação.

Dados de Reflectância

As imagens de satélite utilizadas são provenientes do sensor (OLI) a bordo do satélite Landsat-8 e possuem nove bandas espectrais, sendo oito bandas multiespectrais de resolução espacial de 30 metros (bandas 1 a 7 e 9) e, uma banda pancromática de resolução espacial de 15 metros (banda 8).

Para análise de reflectância foi utilizado o produto reflectância de superfície disponibilizada no catálogo de imagens da USGS disponível em <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. O comprimento de onda do vermelho, referente à banda 4 (654 nm) foi utilizado para análise dos dados (BARBIERI, 2012). As datas das imagens utilizadas estão apresentadas na Tabela 3, e são referentes às datas de coleta de água.

Os dados de Sensoriamento Remoto permitem estimar a participação de constituintes na resposta espectral da água. Nos totais de sólidos em suspensão (TSS), a resposta espectral está associada a uma faixa ampla do espectro, com destaque para o aumento da reflectância na faixa entre 600 e 700nm, podendo se expandir para a região do infravermelho próximo de acordo com a concentração e tipo de material (ARRAUT *et al.*, 2005; RUDORFF, 2006; WACHHOLZ, 2011).

Tabela 3- Data das imagens Datas das imagens utilizadas nas PCHs, rio Ivaí – RS

	Data da imagem	Satélite/sensor
1	15-06-2015	Landsat/OLI
2	27-08-2015	Landsat/OLI
3	12-09-2015	Landsat/OLI
4	05-10-2015	Landsat/OLI
5	15-11-2015	Landsat/OLI
6	08-12-2015	Landsat/OLI
7	18-01-2016	Landsat/OLI
8	13-03-2016	Landsat/OLI
9	07-04-2016	Landsat/OLI

Total de Sólidos em Suspensão

A determinação dos dados de TSS foi realizada conforme descrito em APHA (2005). Para a filtragem foi utilizado filtro de celulose com porosidade de 0,45 µm. Os filtros são secos em estufa por 24 horas a 50°C para que seja eliminado toda a umidade, após pesados em balança analítica a fim de se obter o peso inicial. Após com o procedimento de filtragem das amostras coletadas os filtros vão novamente para estufa para se ter o peso final. O TSS na unidade de mg/L foi determinado com base na equação:

$$TSS = \left(\frac{P_f - P_i}{V} \right) \cdot 1000$$

Em que: TSS é o Totais de Sólidos em Suspensão; Pf é o peso final (mg); Pi é o peso inicial (mg) e V é o volume filtrado (L)

Resultados e Discussões

Compreender as informações espaço-temporais em pequenos reservatórios representa um ganho nas análises, uma vez que a natureza e a sua relação com o homem são dinâmicas e o processo na água ocorre de forma mais rápida que em grandes reservatórios (QUEIROZ JUNIOR, 2016; PARK e LATRUBESSE, 2014). Assim como o tamanho do reservatório influencia na dinâmica da água, a vegetação e a forma de relevo também possuem grande influência (TUCCI, 2001).

A bacia do rio Ivaí possui uma área de aproximadamente 1700 km², com uma amplitude altimétrica de 361 m (TABELA 4).

Tabela 4 - Características altimétricas do rio Ivaí

Características	Unidade (m)
Altitude Mínima	179
Altitude máxima	540
Amplitude altimétrica	361
Altitude média	359

Fonte: SRTM (2000)

Em função do domínio na região do clima subtropical, desenvolveu-se uma topografia colinosa com formas arredondadas, denominadas coxilhas, resultante do intemperismo químico. O município de Júlio de Castilhos, local sede das PCHs está enquadrado no Planalto Médio estendendo-se pelo topo do Planalto Meridional Brasileiro com a presença de serras e vales profundos e encaixados que se confunde com a fisionomia de rebordo principalmente próximo onde as PCHs estão instaladas (PMSB, 2013).

A bacia do rio Ivaí se caracteriza por áreas de relevo suave ondulado, com pequenas colinas (2 a 5%) num total de 30% da área total, em que predomina escoamento superficial lento ou médio. Áreas de relevo ondulado (5 a 10%) apresentam cerca de 45% e relevo muito inclinado (14%), áreas estas onde o deflúvio prevalece sobre a infiltração (FLORENZANO, 2008).

Conforme Lepsch *et al.* (1991), os relevos suave-ondulados não oferecem problema em relação à erosão hídrica desde que ao seu redor não haja áreas com relevo ondulado a escarpado. Nas áreas próximas as PCHs ocorrem declividades de 15 a 45%, considerado um relevo montanhoso, de escoamento superficial muito rápido (FIGURA 2).

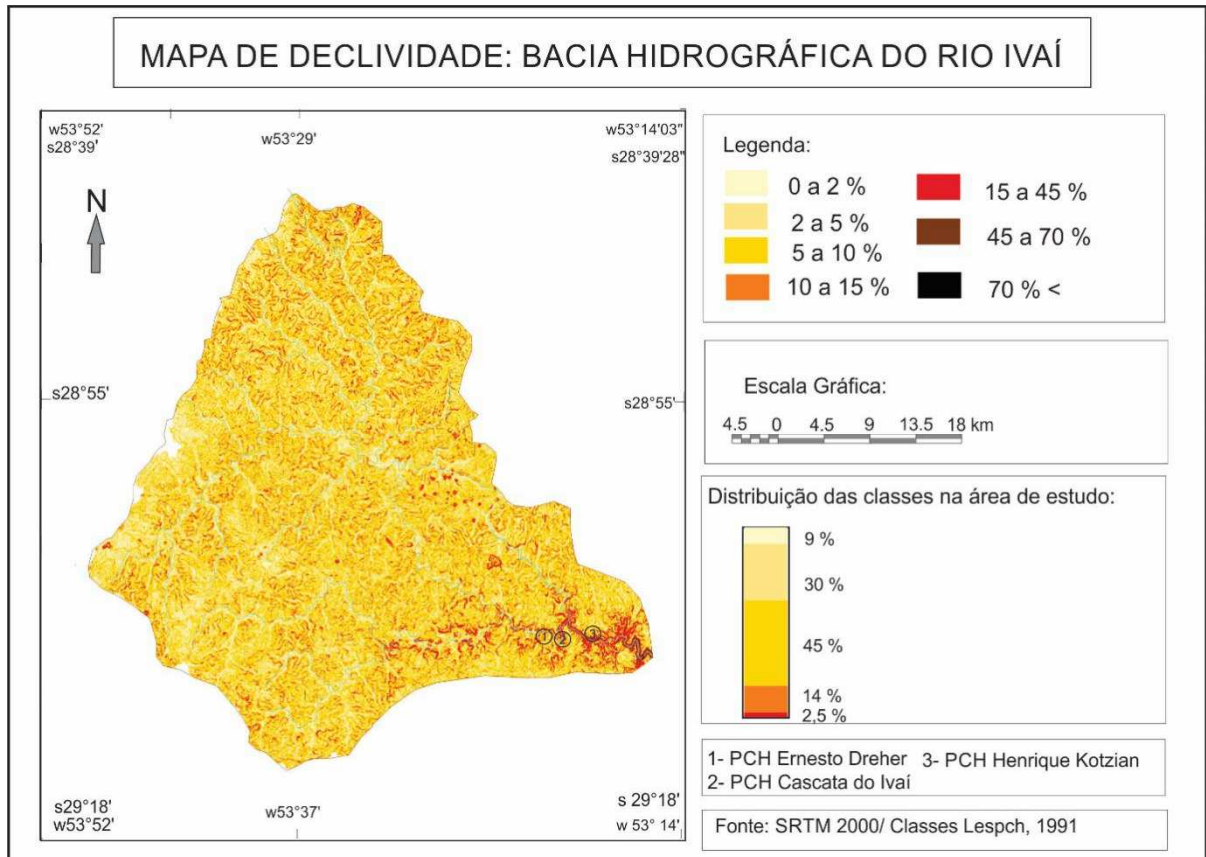


Figura 2: Mapa de declividade da bacia do Rio Ivaí

A vegetação predominante na região da bacia do Ivaí é a Savana gramíneo-lenhosa (IBGE, 2012), as características principais são presença de matas galeria e eventuais capões e campos com dominância de espécies de gramíneas. As espécies arbóreas possuem representantes da Floresta Estacional Decidual e da Floresta Ombrófila Mista, localizadas ao longo dos cursos d'água as matas seriam uma adaptação inicial, com a sua provável expansão para as demais áreas. No entanto, há uma dificuldade de expansão natural das áreas arbóreas sobre os campos (IBGE, 2012). Diante, da facilidade de ocupação dos campos, o homem tem utilizado para a pecuária (SEMA/UFSM, 2001; IBGE, 2012).

Na bacia do rio Ivaí ocorrem basicamente dois tipos de solo, segundo a classificação de Streck *et al.* (2008), Latossolo Vermelho e Argilossolo Vermelho. Os Latossolos são geralmente muito profundos, homogêneos, bem drenados com textura argilosa e altamente intemperizados onde dificulta a diferenciação entre os horizontes (IBGE, 2012). Os Argilossolos são solos com horizonte subsuperficial mais argiloso, bem drenados e apresentam baixa fertilidade (FIGURA 3).

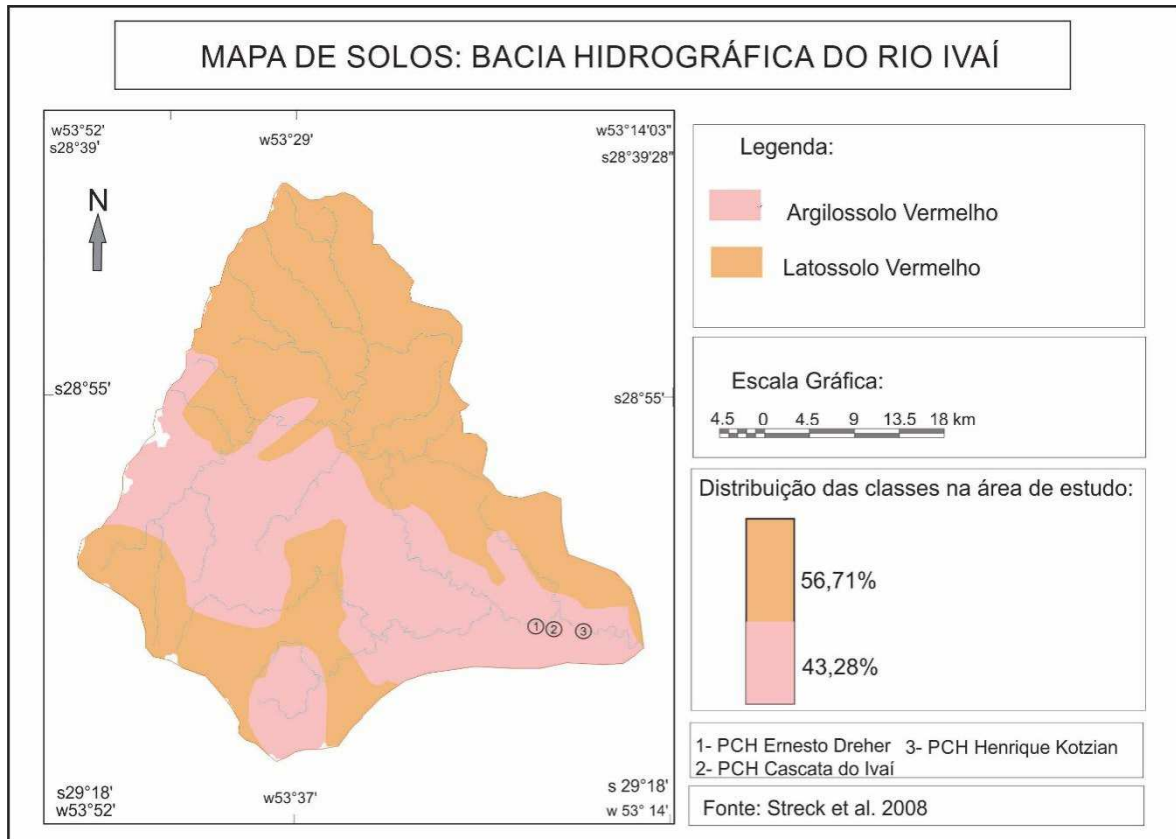


Figura 3: Mapa de solos da bacia do Rio Ivaí

O conhecimento do relevo torna-se primordial, para entender a distribuição e estabelecimento das atividades antrópicas e os principais processos atuantes no terreno. A Figura 4 mostra o perfil longitudinal do rio Ivaí e também a disposição nos seus últimos 30 km das três PCHs com característica de rio encachoeirado o que facilitou as instalações de Pequenas Centrais Hidrelétricas.



Figura 4: Localização das PCHs em relação ao perfil longitudinal do rio Ivaí, índice de sinuosidade de 2,55.

Quanto ao uso da terra na bacia do Ivaí, destaca-se como cultura principal o cultivo da soja. As áreas de campo são mais expressivas que as florestas o que possibilita o uso com a pecuária. Durante as estações mais frias são ocupadas com pastagens plantadas e no verão são ocupadas por algum tipo de cultura anual (FIGURA 5 A e B). Principalmente na época de plantio, geralmente na primavera, os solos ficam completamente expostos à ação das intempéries, e com as chuvas, são susceptíveis de serem lixiviados ao reservatório, pois a maior proteção do solo contra a erosão é proporcionada pela presença de vegetação (ZHOU *et al.*, 2008).

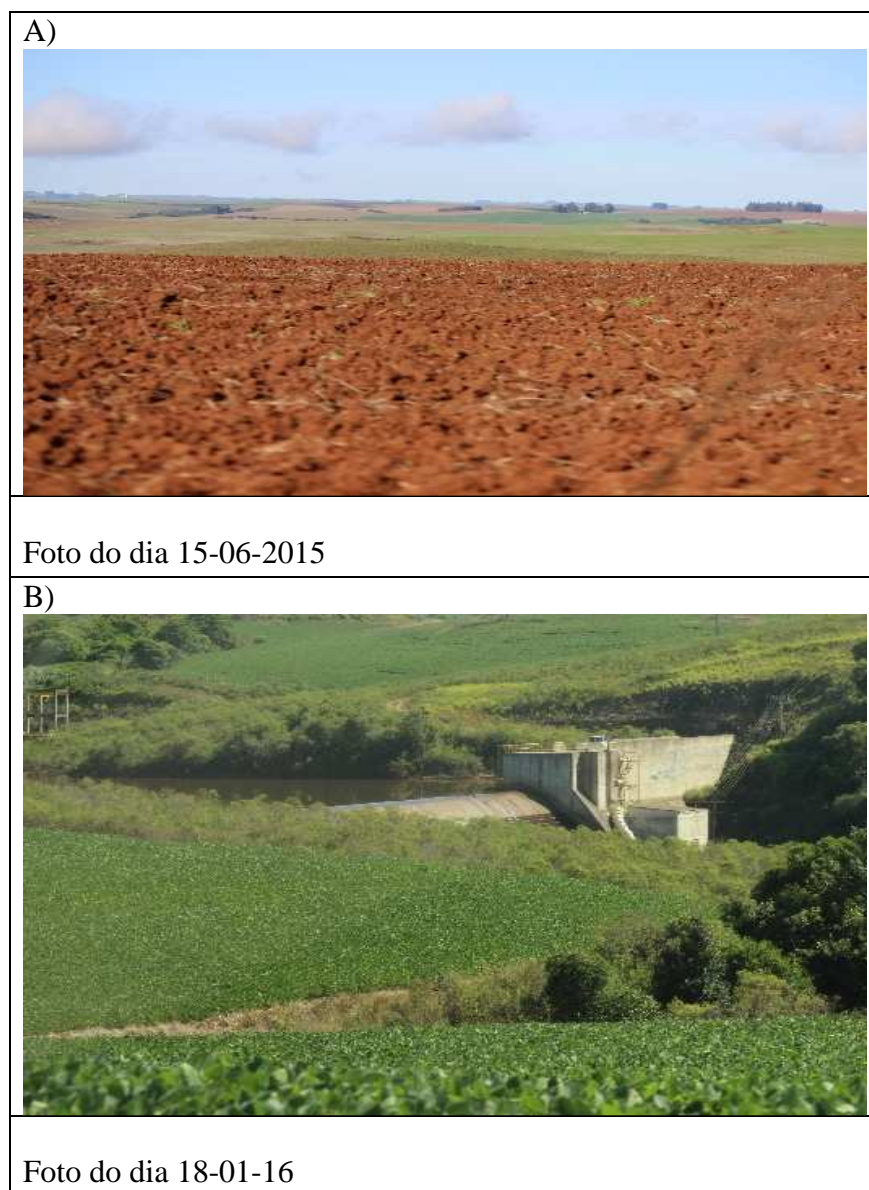


Figura 5: Fotos do uso do solo na área de estudo

A análise da influência da bacia hidrográfica nos reservatórios deve levar em consideração fatores como vegetação, forma da bacia, relevo e principalmente tamanho do reservatório pois essas condições fazem alterar o vento na circulação das águas e o escoamento para o reservatório alterando as condições da temperatura da água e a ressuspensão de material (TUNDISI, 2008; WETZEL, 2001; WU *et al.*, 2013).

O transporte de materiais pelos rios muda conforme a declividade, quantidade de precipitação pluviométrica e de diversas situações do segmento do rio, fatores estes que auxiliam no aumento de reflectância da água (TUNDISI, 2008; KONG *et al.*, 2015).

O uso inadequado do solo em relação a declividade do terreno causa um aumento do escoamento superficial/redução da infiltração, fator este facilmente encontrado na bacia do rio Ivaí, pois, foi encontrado 2,5% do total da bacia de áreas de até 45% de declividade.

Os valores de precipitação pluviométrica devem ser levados em consideração na análise dos dados de Sensoriamento Remoto e limnológicos, pois, conforme Queiroz Júnior (2016), é o principal elemento responsável pela entrada de sólidos no ecossistema aquático e associados ao uso da terra apresentam fortes influências no transporte de material das bacias de captação ocasionando mudanças na água.

As concentrações médias de TSS nos reservatórios das PCHs variaram pouco entre 7 e 17,8 mg/L. Na PCH Henrique Kotzian a diferença no TSS foi de 9 ml/L no período de análise, enquanto Ernesto Dreher teve apenas 7 mg/L (FIGURA 6).

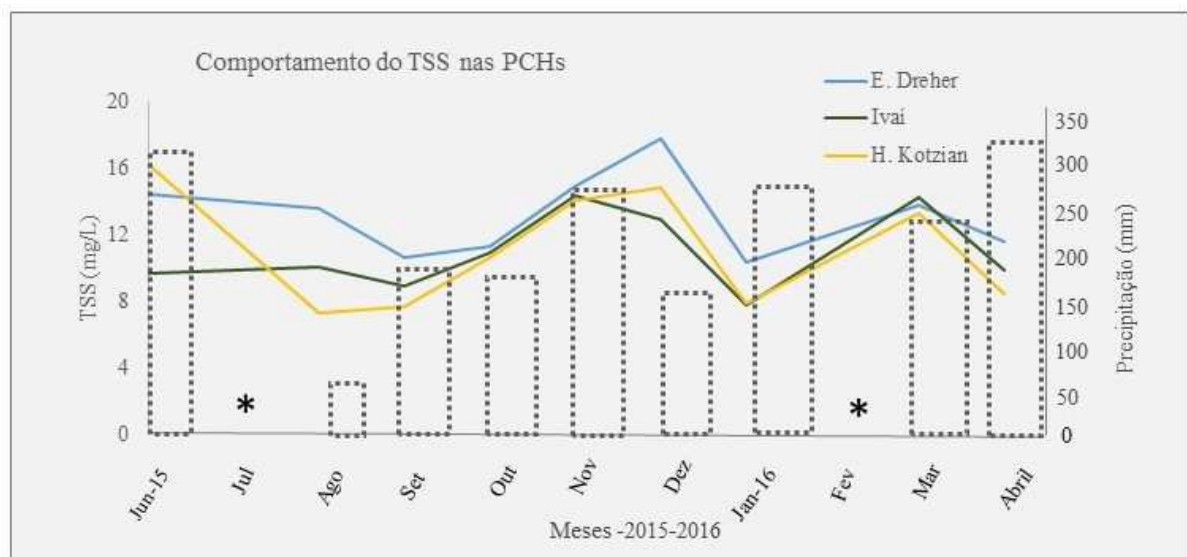


Figura 6: Total de Sólidos em Suspensão nas PCHs do Rio Ivaí

* Não há imagens para esta data

As maiores concentrações de TSS foram encontradas no mês de novembro no reservatório Ernesto Dreher, o que reforça a forte influência da precipitação, nos 10 dias durante 10 dias antes da passagem do sensor o acumulado pluviométrico foi de 182 mm. Em contrapartida, o menor valor de TSS encontrado foi no mês de agosto, com 7,25 mg/L com um acumulado pluviométrico de 33 mm num total de 10 dias anteriores a passagem do satélite e da coleta de água. Spatti Junior (2011) encontrou resultados semelhantes com a relação dos meses chuvosos com o TSS.

A água recebida pelos reservatórios também tem influência das características do uso e ocupação das terras e da forma de relevo das áreas de captação (ZHOU *et al.*, 2008). O transporte de materiais depende da declividade, precipitação e fatores geográficos que compõem o leito rio. Além disso, os impactos ambientais induzidos pelo homem podem desencadear mudanças notáveis no sistema fluvial alterando as características dos sedimentos em quantidade e qualidade (PARK e LATRUBESSE, 2014).

Uma característica importante é o efeito cascata a qual se encontram os reservatórios, o reservatório Ernesto Dreher apresentou valores mais elevados de TSS e de reflectância, se comparado com último da série em cascata Henrique Kotzian, em agosto os valores de TSS de Ernesto Dreher foram de 13,6 mg/L enquanto Henrique Kotzian 7,25 mg/L.

A situação em cascata que os reservatórios apresentam, na qual a saída de um sistema representa a entrada de outro, senso assim, os reservatórios localizados mais a jusante depende notoriamente dos processos envolvidos na montante (WACHHOLZ, 2011; PEREIRA FILHO *et al.*, 2013).

Com o aumento do TSS, aumentam os valores de turbidez da água pois o TSS atua na absorção da luz diminuindo a produtividade biológica dos reservatórios (LOPES *et al.*, 2014; MIN *et al.*, 2012; WU *et al.*, 2013). WU *et al.* (2013) relacionaram o aumento de TSS e da turbidez com força do vento, o que favorece a ressuspensão do material principalmente na estação seca. Neste sentido, os valores de TSS e turbidez seguiram esta orientação, os valores encontrados em agosto para o TSS foi de 13,6 mg/L enquanto a turbidez foi de 26,9 NTU no Reservatório Ernesto Dreher, enquanto em outubro para o mesmo reservatório foi encontrado 11,33 mg/L de TSS e turbidez de 24,5 NTU.

Verificou-se um aumento da reflectância da água, obtida através do Landsat OLI, em função do aumento da concentração de TSS. Cai *et al.* (2015) investigaram a variação espacial da concentração de sólidos em suspensão na água a partir do uso de dados dos sensores TM e OLI. Utilizaram dados da banda do infravermelho próximo e concluíram que os dados

derivados dos sensores TM e OLI podem ser aplicados para investigar variações das concentrações de sólidos em suspensão. PEIXOTO *et al.* (2018), verificaram que os valores estimados de TSS a partir da imagem mostraram-se coerentes com os valores obtidos em coletas de água (FIGURA 7).

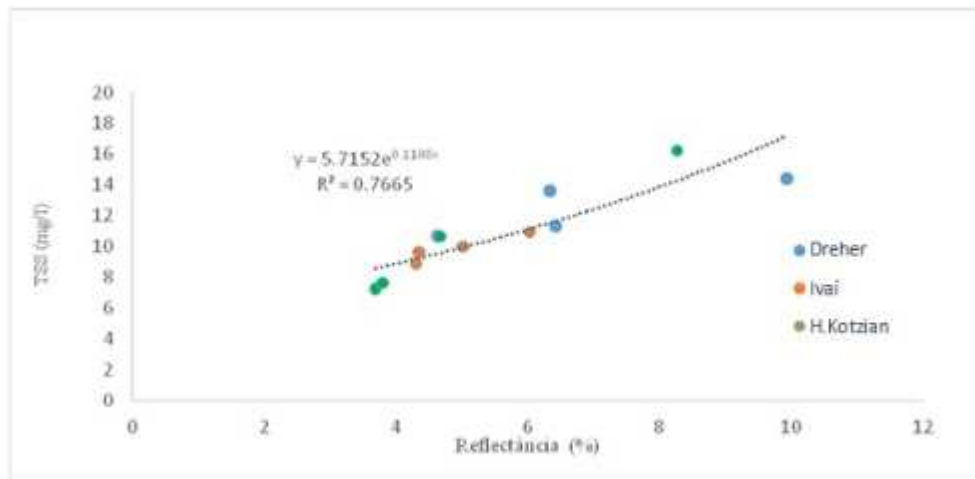


Figura 7: Gráfico das correlações entre dados de TSS e reflectância da banda 4.

Foram realizados testes para verificar qual banda do Landsat 8, reflectância de superfície, apresenta melhor regressão com os dados de TSS, no entanto, a banda 4 foi que apresentou melhor resultado (FIGURA 8).

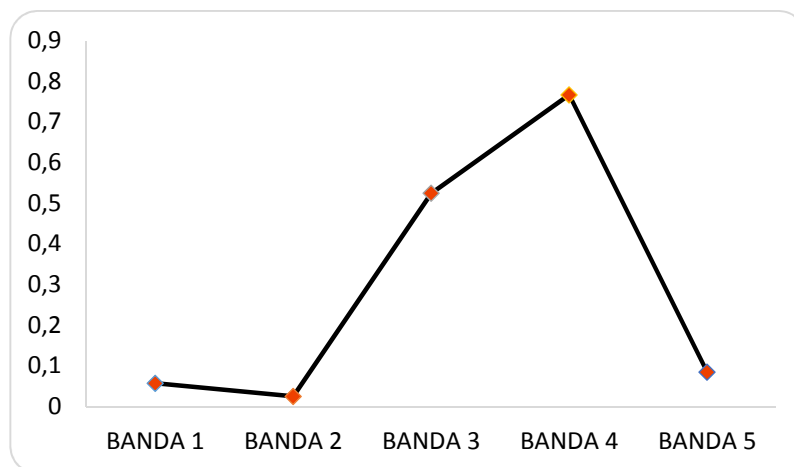


Figura 8: Valores de R^2 referentes às correlações de Pearson entre Reflectância e TSS

Os dados de reflectância registrados pelo Landsat/OLI banda 4, nos meses de agosto, setembro e outubro podem ser considerados baixos (entre 4 a 6%), no entanto, a precipitação pluviométrica acumulada em dias 30 anteriores a passagem do satélite foi de 63, 190 e 184 mm, respectivamente. Nos meses de novembro, dezembro e janeiro, ocorreram valores mais elevados de precipitação pluviométrica (272, 167 e 280 mm, respectivamente) e os valores de reflectância foram relativamente mais altas (entre 12 a 15%).

A variação da reflectância da água está ligada a participação do regime pluviométrico que pode ser considerado um agente regulador dos corpos d'água e também, uma importante variável a ser estudada em monitoramentos de qualidade da água. Paula (2015) na UHE Passo Real também constatou a forte influência da precipitação na alteração dos valores limnológicos.

No entanto, as máximas reflectâncias foram encontradas no sentido rio-reservatório e sempre decrescendo na série em cascata. Essa diminuição mostra que ocorre a deposição dos sólidos durante seu deslocamento (FIGURA 9).

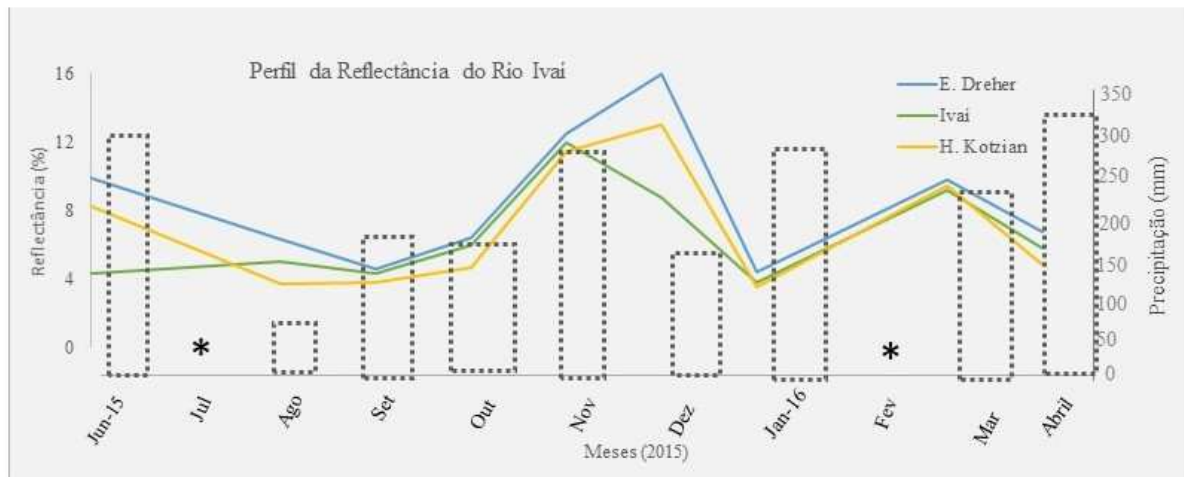


Figura 9: Reflectância de superfície da banda 4 (655 nm) das PCHs do Rio Ivaí

* Não há imagens para esta data

Considerações finais

Com as considerações da presente pesquisa faz-se necessário resgatar o objetivo proposto. O objetivo consistiu em “Relacionar as variáveis limnológicas com as características físicas da bacia hidrográfica do rio Ivaí, considerando tipos de solo, relevo, declividade.” Constatou-se que em relação aos totais de sólidos em suspensão e a precipitação pode-se observar um comportamento semelhante, ou seja, quando a concentração de um aumenta, o

outro elemento também. Estes resultados indicam que nos meses chuvosos há maior aporte de sedimentos para as águas superficiais da bacia do rio Ivaí devido ao aumento dos sólidos totais em suspensão, fator esse impulsionado pela forma de relevo, declividade do lugar e tipo de solo.

Entretanto, nas áreas próximas das PCHs foram encontradas as maiores declividades da bacia do rio Ivaí, próximo de 45 % de declividade que favorece ao rápido escoamento das águas para o leito do rio.

Dois tipos de solos foram encontrados na bacia, o Argissolo Vermelho e o Latossolo Vermelho, solos propícios a agricultura e pecuária, o que auxilia no aumento da reflectância e TSS em períodos de solo exposto.

Os valores de precipitação pluviométrica devem ser levados em consideração na análise dos dados de Sensoriamento Remoto e limnológicos, pois associados ao uso da terra apresentam forte influência no transporte de material para a bacia de captação. Neste sentido, foi de extrema importância a caracterização da área de estudo juntamente com dados limnológicos e de reflectância o que facilita a compreensão do sistema-bacia como um todo abrindo caminhos para outros estudo, pois pesquisas em áreas de PCHs são pouco exploradas devido ao tamanho dos reservatórios.

Referências

ALMEIDA, R. T. S.; MOREIRA, A. N. H.; GRIEBELER, N. P.; SOUSA, S. B. **Influência dos dados e métodos no mapeamento do uso e da cobertura da terra.** Temático de Geotecnologias, Curitiba, V. 23, p.07-22, 2018.

APHA – American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater.** 21 ed. Sprimgfiel: Bryrd Prepress, 2005.

ARRAUT, E. M. *et al.* Estudo do comportamento espectral da clorofila e dos sólidos em suspensão nas águas do Lago Grande de Curuai (Pará), na época de seca, através de técnicas de espectroscopia de campo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. p. 2447-2456.

BARBIERI, D.W. **Influência da precipitação pluviométrica na reflectância espectral da água do reservatório Passo Real, RS.** 93 p. Dissertação de Mestrado-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

CAI, L., TANG, D., & LI, C. (2015). An investigation of spatial variation of suspended sediment concentration induced by a bay bridge based on Landsat TM and OLI data. **Advances in Space Research**, 56(2), 293-303.

COLAVITE, A. P.; PASSOS, M. M. Integração de mapas de declividade e modelos digitais tridimensionais do relevo na análise da paisagem. **Revista Geonorte**. v. 2, n. 4, p. 1547-1559, 2012.

FLORENZANO, T.G. Cartografia. In: Florenzano, T.G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. (Org.). São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p.105-128.

GAROFALO, D.F.T.; MESSIAS, C.G.; LIESENBERG, V.; BOLFE, E.L.; FERREIRA, M.C. Análise comparativa de classificadores digitais em imagens do Landsat-8 aplicados ao mapeamento temático. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V.50. N.7. Brasília, 2015). Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2015000700593 > Acesso em: 17-07-18.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. Ed. IBGE: Rio de Janeiro, 2012. (Manuais técnicos em Geociências, nº 1).

IBGE. **Folha SH-22 Porto Alegre e parte das folhas SH-21 Uruguaiana e SI-22 Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro, 1986. 796 p. (Levantamento dos Recursos Naturais, 33).

KAMPEL, M., & NOVO, E. M. L. M. (2005). O sensoriamento remoto da cor da água. **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de Textos, 179-196.

KONG, J.; SUN, X.; WONG, D. W.; CHEN, Y. YANG, J. YAN, Y.WANG, L.; A Semi-Analytical Model for Remote Sensing Retrieval of Suspended Sediment Concentration in the Gulf of Bohai, China. **Remote Sensing**. P. 5373 -5397. V.7, 2015.

LEPSCH, I. F., *et al.* **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação. Campinas: SBCC, 1991.

MIN, J.; RYU, J.; LEE, S.; SON, S. Monitoring of suspended sediment variation using Landsat and MODIS in the Saemangeum coastal area of Korea. **Marine Pollution Bulletin**. V. 64.p. 382–390. 2012.

MORAES, B. C. **Avaliação Do Uso De Imagens Do Sensor Modis No Estudo Da Pluma de Sedimentos do Rio Amazonas**. Tese de Doutorado- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MONTANHER, O.C.; *et al.* Empirical models for estimating the suspended sediment concentration in Amazonian white water rivers using Landsat 5/TM. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** v.29, p. 67-77. 2014.

PARK, E. & LATRUBESSE, E. Modeling suspended sediment distribution patterns of the Amazon River using MODIS data. **Remote Sensing of Environment**. v. 147, p. 232-242, 2014.

PAULA, M.R. de. **Relações entre variáveis limnológicas e reflectância do reservatório Passo Real – RS**. 84p. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

PEIXOTO, D.W.B; GUASSELLI, L. A.; PEREIRA FILHO, W. Estimativa de concentração de sedimentos em suspensão a partir de imagens Landsat 8 em PCHs no Rio Ivaí-RS. **Geociências-UNESP**. v. 37, n. 1, p. 147 - 154, 2018.

PEREIRA FILHO, W.; *et al.* ,Influência de componentes óticamente ativos relacionados a reservatórios em cascata – Rio Jacuí – RS. **In.:** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, XVI, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 2013. 9036-9042.

QUEIROZ JÚNIOR, V. S. **Compartimentação aquática em reservatório a partir de variáveis limnológicas e dados radiométricos**.115p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Goiás- Regional Jataí, Jataí, 2016.

RÊGO, I.S. **Variabilidade das propriedades óticas aparentes de águas continentais por meio de sensores hiperespectrais para o monitoramento da qualidade das águas**. 104p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília – Distrito Federal, 2017.

RUDORFF, C. M. **Estudo da composição das águas da Planície Amazônica por meio de dados de reflectância do sensor Hyperion/EO-1 e de espectrômetro de campo visando à compreensão da variação temporal dos seus constituintes óticamente ativos**. 140f. Dissertação de Mestrado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

SANTOS, F. C.dos. **Potencial de utilização do Sensoriamento Remoto para monitoramento da água do reservatório Passo Real**. 92p. Tese de doutorado-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

SCALON, T.F. de. O. **Estudo de caso: Modernização e otimização de pequenas centrais hidrelétricas visando diminuição de custos**. Sorocaba, 2107. Disponível em:<<http://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariadeControleeAutomacao/galdenoro1906/tcc-revisado-0806.pdf>> . Acesso em: 11-07-18.

SEMA/UFSM. **Inventário florestal contínuo do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: SEMA/UFSM: 2001. Disponível em: <<http://coralx.ufsm.br/ifcrs/index.php>>. Acesso: 06 fev/2018.

SILVA, E. B.; FERREIRA, L. G.; ANJOS, A. F.; MIZIARA, F. A expansão da fronteira agrícola e a mudança de uso e cobertura da terra no centro-sul de Goiás, entre 1975 e 2010. *Ateliê Geográfico, Goiânia*, v. 7, n.2, p. 116-138, 2013.

SPATTI JUNIOR, E., P. **Avaliação ambiental, caracterização da qualidade de água e transporte de sedimentos da bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande (SP)**. 90p. Dissertação de Mestrado- Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

STRECK, E. V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER, 2008.

TIAN, L.; *et al.* Assessment of Total Suspended Sediment Distribution under Varying Tidal Conditions in Deep Bay: Initial Results from HJ-1A/1B Satellite CCD Images. *Remote Sensing* v. 6, n. 10, p. 9911-9929, 17 out. 2014.

TUCCI, CARLOS E. M. **Gestão da água no Brasil** – Brasília : UNESCO, 2001. 156p.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

WACHHOLZ, F **Influência das bacias hidrográficas e caracterização espaço-temporal de variáveis limnológicas em reservatório no Rio Grande do Sul**.191f. Tese de Doutorado- Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

WETZEL, R. G. **Limnology: Lake and River Ecosystems**. Third ed. San Diego: Academic Press, 2001.

Wu, T. F., Qin, B. Q., Zhu, G. W., Zhu, M. Y., Li, W., & Luan, C. M. Modeling of turbidity dynamics caused by wind-induced waves and current in the Taihu Lake. **International Journal of Sediment Research**, 28, 139–148. 2013.

ZHOU, W.; ZHOU, W. Y.; TROY, A. Mapping the concentrations of total suspended matter in lake Taihu, China, using Landsat-5 TM data. **International Journal of Remote Sensing**, v.27. p.1177-1191, 2008).

ARTIGO 2: ENVIADO A REVISTA GEOCIÊNCIAS-UNESP

Sra Daniela Wancura Barbieri Peixoto,

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "DEFINIÇÃO DE COMPARTIMENTOS AQUÁTICO EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO RIO IVAÍ COM A UTILIZAÇÃO DE COMPONENTES PRINCIPAIS" para Geosciences = Geociências. Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito:

<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/author/submission/13729>

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este email. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

DEFINIÇÃO DE COMPARTIMENTOS AQUÁTICO EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO RIO IVAÍ COM A UTILIZAÇÃO DE COMPONENTES PRINCIPAIS

**Daniela Wancura Barbieri PEIXOTO¹, Laurindo Antonio GUASSELLI¹,
Waterloo PEREIRA FILHO²**

¹Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto / Universidade Federal do Rio Grande do Sul. - Campus do Vale. Porto Alegre - RS – Brasil. Emails: daniwbarbieri@gmail.com; laurindo.guasselli@ufrgs.br ²Programa de Pós-Graduação em Geografia / Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Campus da UFSM. Santa Maria – RS, Brasil. Email: waterloopf@gmail.com

Introdução
Descrição da área de estudo
Materiais e Métodos
Componentes Principais
Total de Sólidos Suspensão
Resultados e Discussões
Considerações finais
Agradecimentos
Referências

Resumo

É possível monitorar pequenos reservatórios a partir da disponibilidade de equipamentos e à resposta rápida com uso do Sensoriamento Remoto. Assim este estudo tem como objetivo detectar mudanças nos compartimentos aquáticos a partir da Análise por Principais Componente (ACP), em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). Para tanto, utilizou-se imagens Landsat/OLI entre Junho de 2015 e Junho de 2016, e dados de Totais de Sólidos em Suspensão (TSS) coletados em campo. O aspecto visual utilizado e as CPs correlacionadas com as variáveis limnológicas se mostram mais importantes para a escolha da CP a ser classificada do que a quantidade de informação que cada uma tem. Considerando o número de ACPs gerados para cada imagem, a CP3 foi a que apresentou os melhores resultados, seguidos pela CP4. Devido ao tamanho dos reservatórios, optou-se por utilizar apenas 2 (PCH Ernesto Dreher e Henrique Kotzian) no entanto verifica-se a questão da série em cascata e sua deposição de sedimentos nestes dois sistemas. Neste sentido, as ferramentas de Sensoriamento Remoto permitiram detectar e caracterizar as mudanças ocorridas em variáveis ambientais tais como a qualidade da água.

Palavras-chave: Pequenas Centrais Hidrelétricas, Sensoriamento Remoto, Limnologia

Abstract

It is possible to monitor small reservoirs from the availability of equipments and the quick response from the use of Remote Sensing. Thus, this study aims to detect changes in the water compartments from the Main Component Analysis (MCA), in Small Hydropower Plants (SHP's). For that purpose, Landsat/OLI images from June 2015 and June 2016 were used and Total Suspended Solids (TSS) data was collected from field. The visual aspect used and the MCs correlated to the limnological variables show themselves to be the most important ones for the choice of MC to be classified rather than the amount of information that each of them have. Considering the number of MCAs generated for each image, the MC3 was the one that presented the most satisfying results, followed by MC4. Due to the size of the reservoirs, it was

opted for the use of only 2 (SHPs Ernesto Dreher and Henrique Kotzian). However, the cascade series matter and its deposition of sediments is verified on these two systems. Thus, the tools for Remote Sensing enabled to detect and characterize the changes occurred in environmental variables such as the water quality.

Key-words: Small Hydropower Plants, Remote Sensing, Limnology

INTRODUÇÃO

A implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) é uma opção para suprir energia em municípios distantes dos grandes centros urbanos e sem conexão ao sistema. Por questões políticas, econômicas, culturais e ambientais, está crescendo o consumo de energia proveniente de PCHs no cenário de produção energética brasileira (KERN e FILL, 2014). Uma PCH pode ser definida como um sistema que captura a energia gerada pelo fluxo de água em um curso regular, convertendo esta energia em energia elétrica. As PCHs necessitam apenas de um rio com o mínimo de declividade e de vazão, sendo essa condição encontrada em boa parte do território brasileiro (SCALON, 2017).

As PCHs são construídas geralmente em rios de pequeno e médio porte que possuam desníveis significativos o suficiente para gerar potência hidráulica para movimentar as turbinas da usina (ELETROBRÁS, 1997; PIRES, 2014; SCALON, 2017). Estão associadas à geração de menor impacto se comparadas às grandes usinas, uma vez que, normalmente possuem barragens menores e conseqüentemente alagam áreas menores facilitando assim seu monitoramento (KERN e FILL, 2014).

Nas últimas décadas, o avanço do Sensoriamento Remoto trouxe a possibilidade de monitorar e entender a hidrologia e os recursos relacionados (MAGAIA; VAN DER ZAAG, 2018). Algumas técnicas de Sensoriamento remoto são usadas para reduzir a variação das respostas espectrais sem considerar a propriedades físicas do alvo, tal como a Análise de Componentes Principais (ACP) (GUO *et al.*, 2018; LOSKA e WIECHULA, 2003).

Chavez e Mac Kinnon (1994), destacam que o uso de Análise de Componentes Principais (ACP) em estudos multitemporais apresenta vantagens, pois permite gerar resultados sem a necessidade de correções e calibrações em um conjunto de imagens, permitindo a análise de variação espacial e temporal.

A transformação por ACP tem como função determinar a extensão de correlação entre bandas em uma mesma cena e removê-la através de uma transformação matemática. Assim, são geradas novas imagens, cuja função de densidade de probabilidade terá eixos ortogonais ou independentes (MALDONADO, 1999).

Poucos estudos tratam a questão de ACP em ambiente aquático. Braga *et al.* (2003) encontraram alta correlação entre análise dos componentes principais das bandas do Landsat 5 e concentrações de clorofila-a e profundidade do disco de Secchi medidas em campo medidos em campo. Corazza (2015) destaca que o uso de ACP depende fortemente da forma de distribuição do espaço de atributos da imagem e que não há “receitas” para sua interpretação. Loska e Wiechula (2003), realizaram a análise de componentes principais para a estimativa da fonte de contaminação por metais pesados em sedimentos superficiais do reservatório.

Neste sentido, este estudo tem por objetivo detectar mudanças na água e nos compartimentos aquáticos, a partir de Componentes Principais

Descrição da Área de Estudo

Com a finalidade de aproveitamento hidrelétrico foram construídas três PCHs no rio Ivaí - RS. A primeira PCH do Ivaí foi inaugurada em 1950, hoje conhecida como Cascata do Ivaí. Após foram construídas mais duas, uma a sua montante PCH Ernesto Jorge Dreher, em funcionamento desde 2009, e outra a sua jusante denominada Henrique Kotzian, operando desde 2011. As características gerais das PCHs são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1- Características gerais das PCHs, rio Ivaí - RS.

PCH	Potência Instalada (kW)	Vazão (m³/s)
Eng. Ernesto Dreher	17.870,0	33,78
Cascata do Ivaí	1,7	-
Henrique Kotzian	13.000,0	48,25

A Bacia Hidrográfica do rio Ivaí compreende sete municípios, sendo que dois municípios são atingidos pelas PCHs, portanto, um na margem direita, Júlio de Castilhos e outro na margem esquerda, Salto do Jacuí. A Figura 1 abaixo ilustrada expõe a localização da área de estudo. O relevo local apresenta forte gradiente, com isso facilitará a vazão dos rios e favorecerá a construção de PCHs.

Se constataremos as regiões brasileiras, notamos que na região sul do Brasil predomina o clima subtropical tendo as estações climáticas bem definidas, assim como seus índices pluviométricos bem distribuídos. Como exemplo temos a região Norte do Rio Grande do Sul que apresenta uma precipitação média entre 1500 a 1800 mm (SARTORI, 1993). Sendo assim, o clima da região Sul tem papel fundamental nas atividades agrícolas desenvolvidas como também na inserção de reservatórios devido ao relevo e clima favorável.

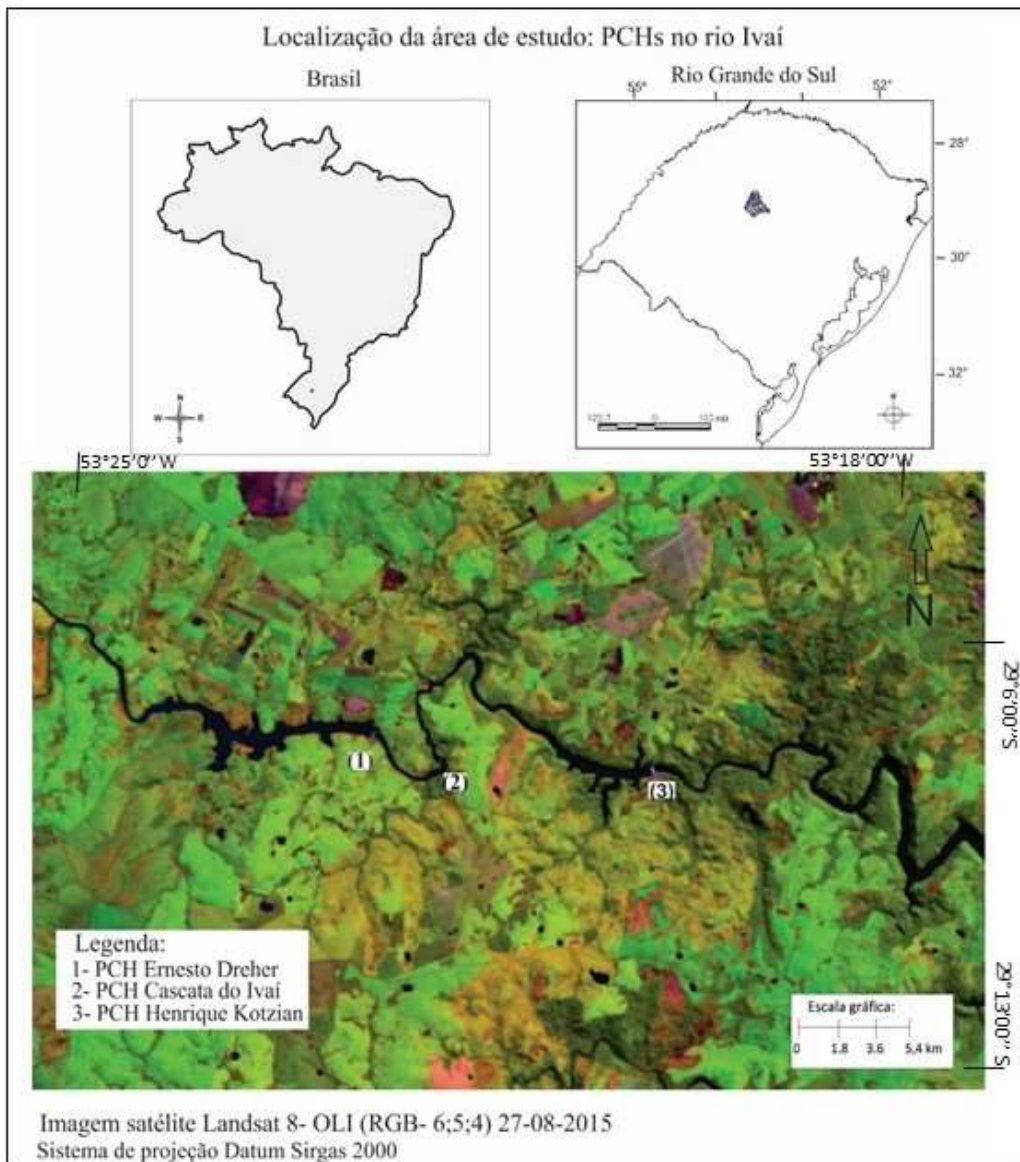


Figura 1: Localização das PCHs, rio Ivai - RS.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais utilizados no desenvolvimento da pesquisa, bem como o método adotado para atingir o objetivo proposto.

COMPONENTES PRINCIPAIS

Foram geradas ACPs a partir das 6 bandas do Landsat/OLI, disponíveis para cada data de passagem, totalizando 9 imagens no decorrer de um ano, Tabela 2.

Tabela 2 - Datas das imagens Landsat/OLI utilizadas nas PCHs, rio Ivaí - RS.

Data da imagem	Satélite/sensor
15-06-2015	Landsat/OLI
27-08-2015	Landsat/OLI
12-09-2015	Landsat/OLI
05-10-2015	Landsat/OLI
15-11-2015	Landsat/OLI
08-12-2015	Landsat/OLI
18-01-2016	Landsat/OLI
13-03-2016	Landsat/OLI
07-04-2016	Landsat/OLI

A Análise por Componentes Principais foi realizada no software ENVI 4.7, na função “*Principal Components*”. Foram geradas seis imagens de componente principal e avaliada qual apresentou a melhor feição espectral para se detectar mudanças na água. Foram utilizados para análise apenas os reservatórios da PCH Ernesto Dreher e Henrique Kotzian devido tamanho da área alagada.

Para a classificação das componentes principais foi utilizado o *software* Spring 5.2.7, com auxílio do classificador Kmédias com um mínimo de 3 classes e 5 interações.

TOTAL DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO

Os Totais de Sólidos em Suspensão (TSS) compreendem os sólidos orgânicos e inorgânicos em suspensão transportados pela água com um diâmetro maior que 0,45 µm. A fração orgânica é representada principalmente pelo fitoplâncton, zooplâncton e substâncias húmicas. A fração inorgânica é constituída principalmente de silte e argila. A quantificação dos

sedimentos presentes nos corpos hídricos é o primeiro passo para o monitoramento incluindo prevenção e controle dos problemas causados pelo transporte e deposição desses sedimentos (SARI *et al.*, 2015). A constituição do TSS é dada pela equação 1.

$$\text{TSS} = \text{SOS} + \text{SIS} \quad (1)$$

Em que: TSS é o Totais de Sólidos em Suspensão; SOS é o Sólidos Orgânicos em Suspensão; e SIS é o Sólidos Inorgânicos em Suspensão.

O TSS é resultado das atividades do metabolismo aquático e tem relação com as atividades desenvolvidas no ambiente terrestre. Neste sentido foram coletadas amostras de água nos reservatórios em datas da passagem do satélite.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A ACP é um método de estatística multivariada que permite a análise de dados em escala espaço-temporal, a partir de matrizes de variâncias-covariâncias ou de correlações entre os parâmetros considerados (LANDIM, 2000; ODDEN & KVALHEIM, 2000). De acordo com Maldonado (1999), a primeira componente (CP1) possui as informações comuns entre as bandas, e a segunda componente (CP2) expressa as mudanças ocorridas entre as datas sob a vantagem da obtenção de resultados sem necessidade de calibrações e correções atmosféricas (CHAVEZ & Mac KINNON, 1994).

Considerando que o resultado das componentes principais não é físico, e sim estatístico e faz parte das operações de realce (manipulação de histogramas, operações aritméticas, filtros

e componentes principais), a componente que apresentou melhor resultado foi a CP3 na maioria da série temporal.

Utilizou-se a CP3 para análise pois apresentou a feição espectral mais significativa do conjunto para o estudo dos pequenos reservatórios. No entanto, a componente principal 1 contém um número maior de informações acumuladas de autovalores, onde este significa o comprimento dos eixos das componentes principais e é medido em variância do que as componentes 2 e 3, Tabela 3.

Tabela 3- Porcentagem de informações da imagem Landsat 8 de 15-11-15, nas PCHs, rio Ivai - RS.

CP	Informação de Eignvalue (%)
CP1	75,73
CP2	22,03
CP3	2,15
CP4	0,13
CP5	0,07
CP6	0,01

As três primeiras componentes principais podem conter mais de 90% da informação do que o restante das bandas geradas, assim, estes cálculos têm sido amplamente utilizados na detecção remota para classificar a superfície da terra e detectar mudanças ambientais (ESTORNELL *et al.*, 2013).

A Figura 2 apresenta a imagem Landsat/OLI de 15 de novembro de 2015. A Figura 2A mostra a composição colorida da imagem, a 2B a imagem de CP3, e a figura 2C a classificação não-supervisionada na imagem da CP3. Nas imagens de aplicação de ACP, é possível perceber a riqueza de informações se comparada com a imagem RGB.

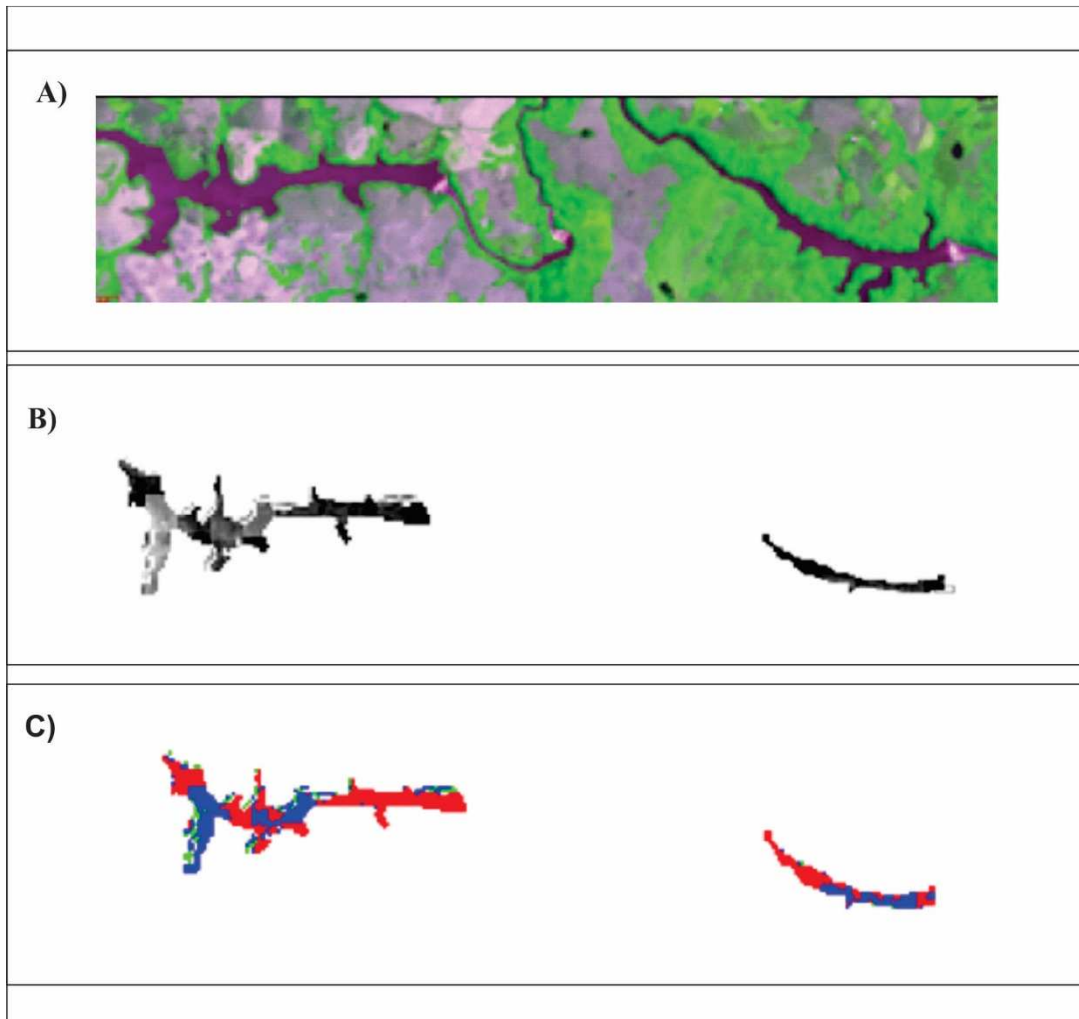


Figura 2: A- Imagem em composição colorida RGB (352) Landsat/OLI (15-11-15); B- CP 3 que melhor apresentou os compartimentos; C- Classificação não supervisionada da CP3.

Pelos valores de reflectância obtidos na imagem da Figura 2A, e com a imagem classificada da PC3 pode-se dizer que a cor da água dos reservatórios classificada como vermelho é uma água com uma quantidade de 15 mg/L aproximadamente de sólidos em suspensão, e em azul água com 13,5 mg/L aproximados de sólidos, desta forma pode-se determinar mudanças ocorridas nas águas dos reservatórios (FIGURA 3).

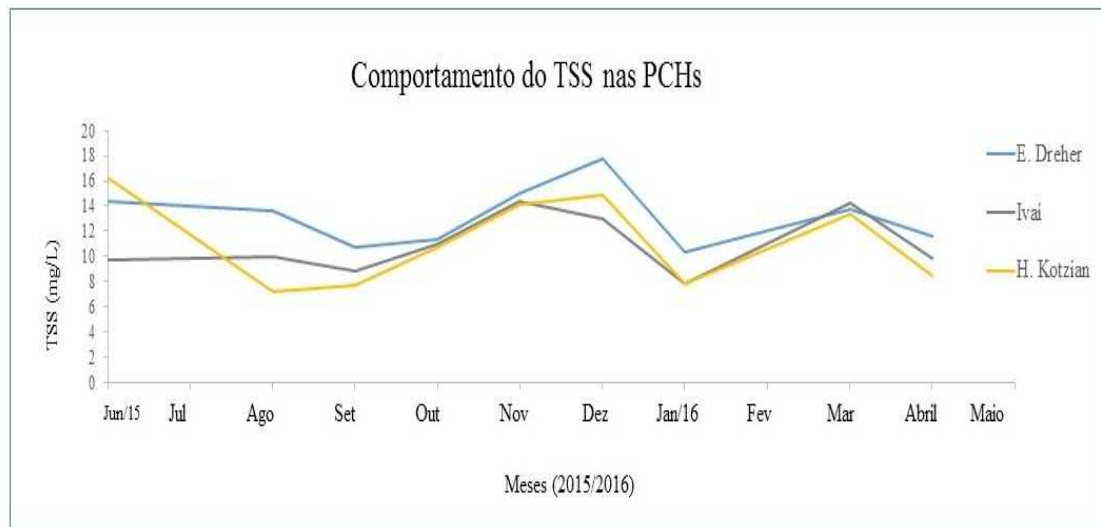


Figura 3: Comportamento do TSS, em 2015/2016, nas PCHs, rio Ivai - RS.

A análise do comportamento do TSS no período de junho de 2015 a maio de 2016 mostra um decréscimo nos valores no sentido de montante a jusante do rio. Esse comportamento também observado por Zeinalzadeh e Rezaei (2017), os autores organizaram as imagens em verão, outono, inverno e primavera, porém sem obter diferenças significativas entre as CPs. Lissner e Guasselli (2013), no entanto, realizaram a classificação por estações e encontraram padrões recorrentes de distribuição, destacando a ocorrência dos padrões sazonais. Neste sentido para Olsen *et al.* (2012) as Cps e escores obtidos podem ser usados para obter peculiaridades ocorridas nas águas afetadas pelo escoamento provenientes da bacia.

As variações nas concentrações de sólidos em suspensão compõem o principal fator de influência sobre o sinal registrado por um sensor óptico, apresentando uma resposta mais elevada do sensor à medida que a concentração de TSS aumenta. Entretanto, há que se considerar que essa relação entre a resposta do sensor e a concentração de sólidos em suspensão é individual para cada local monitorado e tipo de instrumento utilizado (SARI *et al.* 2015)

A variação de sedimentos em suspensão medidos nos reservatórios variou de 13,5 a 15 mg/L. Essa pequena variação pode estar associada ao efeito da série em cascata dos reservatórios e aos 272 mm de chuvas em 30 dias anteriores a data de coleta. Segundo Guo

(2018) os sólidos em suspensão são identificados como variáveis significativas que afetam a classificação e qualidade da água.

No entanto, conforme Bonanseal *et al.* (2012), deve-se destacar que os dados limnológicos são amostras coletadas “*in situ*”, realizado a partir de um número já limitado de pontos de coleta, de acordo com a facilidade e acesso ao local de estudo, neste sentido destaca-se o reduzido número de amostras nos reservatórios. Mas o autor destaca que estas limitações podem ser supridas com a utilização de sensores remotos nos estudos de sistemas aquáticos.

De acordo com Crosta (1992), a vantagem do uso de composição colorida para análise visual fundamenta-se na maior capacidade humana de diferenciar níveis coloridos em relação ao discernimento de tons de cinza que não vai além de 30 níveis. Segundo Corazza (2015) o aspecto visual e as CPs correlacionadas com as variáveis limnológicas se mostram mais importantes para a escolha da CP a ser classificada do que a quantidade de informação que cada uma tem. No entanto, a autora utilizou as CPs que apresentaram maior variabilidade nos tons de cinza da imagem de CP. Para Rovani *et al.* (2013) a técnica mostra a eficácia na identificação das bordas dos alvos, na variação da composição dos pixels e na qualidade visual dos dados, quando comparada ao método tradicional de classificação de imagens.

Considerando a imagem Landsat/OLI do dia 27-08-2015, imagem adquirida no inverno, Figura 4, verifica-se que a aplicação de ACP diferenciou os compartimentos aquáticos dos reservatórios, que não podiam ser observados na imagem original.

Em reservatórios em cascata as características da qualidade da água procedem de forma complexa e interdependentes ao longo de sua extensão (PEREIRA FILHO, 2013). Os valores de sólidos em suspensão tiveram grande variação ao comparar o primeiro reservatório com o terceiro (13,6 e 7,25 mg/L respectivamente), no entanto, a precipitação pluviométrica foi a mais baixa encontrada no período de análise, 63 mm acumulados em 30 dias anteriores a data da imagem e da coleta dos dados limnológicos.

Verificou-se que, após geração de composições RGB das componentes, poucas informações foram visualizadas. No entanto, assim como as composições RGB da imagem reflectância, as imagens classificadas do ACP se mostraram adequadas para diferenciar as massas d'água em pequenos reservatórios.

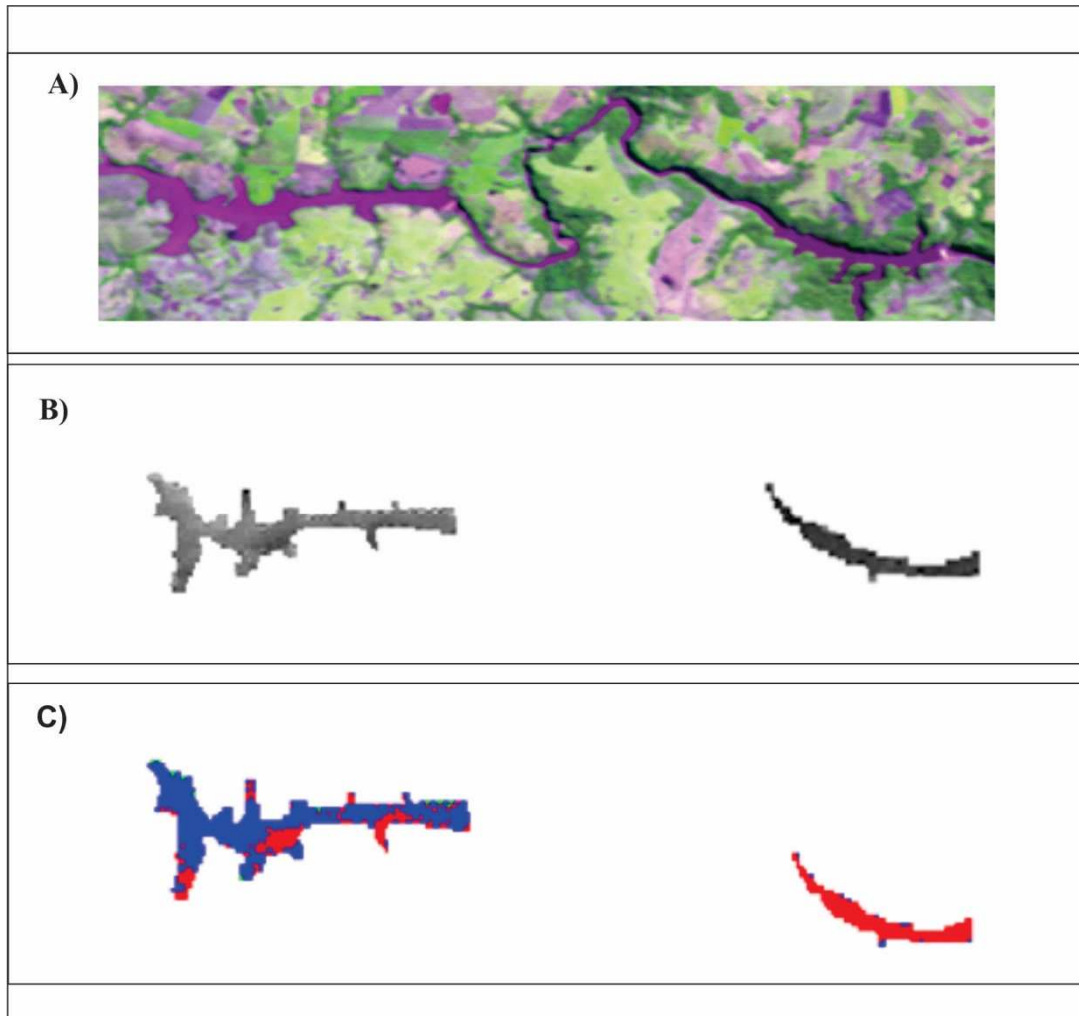


Figura 4: A- Imagem em composição colorida RGB (352) Landsat/OLI (27-08-15); B- CP 3 que melhor apresentou os compartimentos; C- Classificação não supervisionada da CP3.

CONSIDERAÇÕES

As componentes principais permitem reduzir a grande informação de dados da imagem original correlacionadas e transformá-la em imagens não correlacionadas que contenham

importantes informações com informações físicas e numéricas. Assim a partir das ACPs foi possível observar compartimentos aquáticos condicionantes a presença de sólidos em suspensão. Verificou-se que a CP3 foi a que melhor apresentou os resultados, seguidos pela CP4.

A ACP se mostrou ser uma ferramenta estatística de extrema importância em estudos físico-químicos de águas, pois possibilita uma investigação conjunta de variáveis como TSS e permite também o entendimento sobre a ação das variáveis na discriminação dos corpos de água da bacia e suas características associadas.

Devido ao tamanho dos reservatórios, optou-se por utilizar apenas dois (PCH Ernesto Dreher e Henrique Kotzian), no entanto, embora com apenas dois reservatórios verifica-se a questão da série em cascata e sua deposição de sedimentos.

Destaca-se, entretanto, que o número de amostras para a análise limnológica não foi suficiente para uma análise estatística mais detalhada e completa com correlações de variáveis em diferentes pontos amostrais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes pela concessão da bolsa de estudo e a empresa Coprel -RS, pela disponibilidade em realizar a pesquisa.

REFERÊNCIAS

BRAGA, C.Z.F; VIANNA, M.L.; KJERFVE, B. Environmental characterization of a hypersaline coastal lagoon from Landsat-5 Thematic Mapper data. **International Journal of Remote Sensing**. v.24, p.3219-3234, 2003.

BONANSEAL, M.; LEDESMA, C.; RODRIGUEZ, C.; DELGADO, A.R.S. Concentración de clorofila-a y límite de zona fótica en el embalse Río Tercero (Argentina) utilizando imágenes del satélite CBERS-2B. **Revista Ambiente & Água**, v.7, n.3, p.1-12, 2012.

CHAVEZ, P.S.; MAC KINNON, D.J. Automatic detection of vegetation changes in South United States using remotely sensed images. **Photogrametric Engineering & Remote Sensing**, v.60, n.5, p.571-583, 1994.

CORAZZA, R. Identificação de florações de algas no lago Guaíba com uso de imagens de satélite e espectrorradiometria de campo. 226p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

CROSTA, A.P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. IG/UNICAMP, Campinas, SP, 170p. 1992.

ELETROBRÁS - DNAEE. **Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas, Volume 1 - Metodologia**. 2007. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com.br>>. Acesso: 9 de julho de 2016.

ESTORNELL, J.; MARTI-GAVILA, J.M.; SEBASTI_A, M.T.; MENGUAL, J. Principal component analysis applied to remote sensing. **Modelling in Science Education and Learning**, v.6 (2), n.7, p. 83-90, 2013.

GLERIANI, J.M.; ANTUNES, M.A.H.; EPIPHANIO, J.C.N. Coeficientes da Transformação espectral tasseled cap para uma cena com predomínio de latossolo roxo. Anais do SBSR, 2003, Belo Horizonte. São José dos Campos: INPE, 2003. p.101-107.

GUO, X.; ZhanG, X. X.; YUE, H. C. Evaluation of hierarchically weighted principal component analysis for water quality management at Jiaozuo mine. **International Biodeterioration & Biodegradation**. V. 128. P.182-185. 2018.

HICKS, C. Small hydropower in China a new record in world. **Refocus**, p.36-40, 2004.

KERN, R.; FILL, H.D.O.A.; Método de Regionalização para Avaliar a Energia Garantida Incremental de PCHs a Fio de Água Integradas na Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.19,n.2,p.53-65,p.2014.

LANDIM, P.M.B. (2000) Análise estatística de dados geológicos multivariados. Lab. Geomatemática, DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 128 pp. Disponível em:<https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=TFoJBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=An%C3%A1lise+estat%C3%ADstica+de+dados+geol%C3%B3gicos+multivariados&ots=s2y0__PYCU&sig=VKT3wr0VOdoVVs08OErM64jSSo8#v=onepage&q=An%C3%A1lise%20estat%C3%ADstica%20de%20dados%20geol%C3%B3gicos%20multivariados&f=false>Acesso em 22/04/2017.

LISSNER, J.B.; GUASSELLI, L. A. Variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada na Lagoa Itapeva, litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil, a partir de análise de séries temporais. *Soc. & Nat.*, vol. 25 (2), p. 427-440, Uberlândia, mai/ago/2013.

LOSKA, K.; WIECHUŁA, D. Application of principal component analysis for the estimation of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir. **Chemosphere**. V. 51. P. 723-733. 2003.

MALDONADO, F.D. Análise por Componentes Principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba-PE. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) INPE, São José dos Campos. 1999.

MAGAIA, E.; VAN DER ZAAG, P. Remote Sensing and GIS for Reservoir Water Assessment in the Incomati Basin. 2018. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/228716546_Remote_Sensing_and_GIS_for_Reservoir_Water_Assessment_in_the_Incomati_Basin>. Acesso em: 20-07-18.

ROVANI, F. F. M.; DAMBROS, G.; CASSOL, R. **Aplicação da análise por componentes principais para o mapeamento do uso e ocupação da terra no município de Barão de Cotegipe – RS**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, XVI, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 2013. 8092-8097.

SARI, V.; CASTRO REIS, N.M.; KOBİYAMA, M.; Estimativa da concentração de sedimentos suspensos com sensores ópticos: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.20. n.4, p.816-836, 2015.

SARTORI, M.G.B. As variações pluviométricas e o regime das chuvas na Região Central do Rio Grande do Sul. Boletim de Geografia Teórica. Rio Claro, n.23, vol 45-46, p.70-84, 1993.

ODDEN, W. & KVALHEIM, O.M. Application of multivariate modelling to detect hydrocarbon components for optimal discrimination between two source rock types. Applied Geochemistry. vol. 15, P. 611-627, 2000.

OLSEN, R.L., RICK, W., CHAPPELL, R.W., LOFTIS, J.C. Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis a literature review and Illinois River watershed case study. Water Res. vol. 46, 3110–3122, 2012.

PEREIRA FILHO, W.; *et al.* ,Influência de componentes óticamente ativos relacionados a reservatórios em cascata – Rio Jacuí – RS. **In.:** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, XVI, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 2013. 9036-9042.

PIRES, E. V. R.; GARCIA, P. H. M.; BRITO, R. M. Geotecnologias aplicadas a qualidade ambiental dos afluentes do sistema bacia hidrografica do Rio Sucuriú que sofrem influência direta de Pequenas Centrais Hidroelétricas(PCHs) – MS. **IN:** Simpósio Mineiro de Geografia. Anais... 514 -521. Afenas, 2014.

SPRING. Processamento Digital de Imagem. 2017. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>>. Acesso em: 25 agosto de 2017.

ZEINALZADEH, K.; REZAEI, E. Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. vol. .13, p.1-10, 2017.

**ARTIGO 3- PUBLICADO – REVISTA DE GEOCIÊNCIAS UNESP
ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO A
PARTIR DE IMAGENS LANDSAT 8 EM PCHS NO RIO IVAÍ-RS**

ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO A PARTIR DE IMAGENS LANDSAT 8 EM PCHS NO RIO IVAÍ-RS

ESTIMATE OF SUSPENDED SEDIMENT CONCENTRATION IN SHPPS IN THE RIVER IVAÍ-RS FROM LANDSAT 8 IMAGES

Daniela Wancura Barbieri PEIXOTO¹, Laurindo Antonio GUASSELLI¹,
Waterloo PEREIRA FILHO²

¹Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto / Universidade Federal do Rio Grande do Sul. - Campus do Vale. Porto Alegre - RS – Brasil. Emails: daniwbarbieri@gmail.com; laurindo.guaselli@ufrgs.br ²Programa de Pós-Graduação em Geografia / Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Campus da UFSM. Santa Maria – RS, Brasil. Email: waterloopf@gmail.com

Introdução
Descrição da área de estudo
Materiais e Métodos
Fonte de dados: dados de TSS e dados de reflectância
Total de Sólidos Suspensos
Reflectância da água - Landsat 8
Dados de precipitação pluviométrica
Fatiamento das imagens
Análise de regressão
Resultados e Discussões
Considerações finais
Agradecimentos
Referências

RESUMO - Nas últimas décadas o uso de sensores remotos tem ganhado destaque na estimativa e na análise da dinâmica da distribuição espacial da concentração de sedimentos suspensos, com potencial para o monitoramento de rios e reservatórios. Assim este trabalho objetiva avaliar o uso de Imagens Landsat 8 (banda 4, com faixa espectral de 640 - 670 nm) para estimar a concentração de sedimentos em suspensão medidas nas três PCHs no rio Ivaí, RS. Foram utilizadas 4 imagens em reflectância disponibilizadas pela USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>) e 4 dados de TSS coletados em campo nas três PCHs em estudo afim de gerar o modelo matemático, formando 3 pontos por campo, totalizando 12 pontos de correlações. Os valores de reflectância da banda 4, com centro de banda no comprimento de onda de 655 nm, foram correlacionados com dados de TSS. Utilizou-se o modelo exponencial que obteve o melhor ajuste de R^2 (0,84) com a equação $y = 1,6865e^{0,1058x}$. Verificou-se que as imagens Landsat 8 (banda 4) mostraram bom desempenho em condições específicas do ambiente aquático caracterizando a deposição dos sedimentos devido ao efeito cascata.

Palavras-chave: Reflectância; Sólidos Suspensos; Reservatórios; Landsat 8; Estimativa.

ABSTRACT - In the last decades the use of remote sensor has been gaining distinction on both the estimate and the dynamics analysis of spatial distribution of the suspended sediment concentration, having potential to be used on rivers and reservoirs. Thus this work aims to evaluate the usage from the Landsat 8 Images (band 4, with spectral range 640 - 670 nm) in order to estimate the suspended sediment concentration on the three SHPPs (Small Hydroelectric Power Plant) of the river Ivaí, RS. Four reflectance images were used and made available by USGS (www.earthexplorer.usgs.gov) and 4 TSS field collected data in three SHPPs under study to produce the mathematical model, forming 3 points per field for a total amount of 12 correlated points. The reflectance values from the band 4, with band center of 655nm of wavelength, were correlated to the TSS data. The exponential model that presented the best setting of R^2 (0.84) was used to the equation $y = 1,6865e^{0,1058x}$. It was verified that the images from Landsat 8 (band 4) display a fine development in specific aquatic environment conditions, outlining the sediment deposition due to ripple effect.

Keywords: Reflectance; Suspended Solids; Reservoirs; Landsat 8; Estimate.

INTRODUÇÃO

O total de sedimentos em suspensão (TSS) é um dos principais fatores que afetam a penetração da luz em ambiente aquático. A influência do sedimento em um ecossistema aquático pode ser permanente e potencialmente prejudicial em muitos casos, pois altas concentrações de TSS afetam diretamente a qualidade da água (Tian et al., 2014).

Investigadores relatam forte correlação positiva entre sedimentos suspensos e a reflectância, e afirmam que métodos de amostragem são muitas vezes insuficientes em termos de cobertura espacial, temporal e também econômica para se obter resultados

estatisticamente significativos. No entanto, o sensoriamento remoto permite que a análise da qualidade da água seja possível pois permite uma coleção de dados sobre uma grande área, ao mesmo tempo, e proporciona uma melhor cobertura de dados, facilitando as autoridades de gestão métodos eficazes para monitoramento (Zhimin et al., 1992; Jinling et al., 2015; Wang & Lu, 2010; Tian et al., 2014).

Existem muitos casos de sucesso na literatura em que o TSS foi estimado de dados de sensores remotos nos últimos 40 anos. Tian et al. (2014) destacam que na década de 70 pesquisadores construíram um modelo estatístico quantitativo

para a recuperação de sedimentos em suspensão usando digitalizador multiespectral (MSS). Posteriormente os sensores MODIS, MERIS, e SPOT Landsat TM / ETM + têm sido utilizados para avaliar a concentração do TSS em diferentes áreas de estudo.

Desta forma, Lin et al. (2012) afirmam que nos últimos 10 anos estes estudos se intensificaram favorecendo a detecção remota por satélite, tornando possível monitorar o transporte de sedimentos e analisar o destino e distribuição dos sólidos em suspensão na água oferecendo uma visão instantânea da concentração de sedimentos.

Montanher et al. (2014), afirmam que técnicas de sensoriamento remoto foram utilizadas para estimar os parâmetros de qualidade da água em todo o mundo, a partir do qual os dados de material em suspensão é o mais utilizado obtendo sucesso.

Segundo Lin et al. (2012) os algoritmos de estimativa de material em suspensão incluem três principais categorias: i) o modelo empírico; ii) o modelo físico; iii) o modelo semi-analítico. Os dois últimos de base física, mas precisam de dados de observação e avaliados *in situ*, como por exemplo: TSS, clorofila, dados espectrorradiométricos. Apesar de o modelo empírico carecer de uma base física, ele tem uma forma simples e só precisa de dados de TSS e Reflectância, por isso é mais disponível e operacional.

Portanto, o sensoriamento remoto tem o potencial para monitoramento da dinâmica e da distribuição espacial da concentração de sedimentos suspensos. É necessário, entretanto, entender a reflectância em rios e reservatórios. Entender a relação da reflectância espectral da

DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Com a finalidade de geração de energia elétrica foram construídos PCHs no curso do rio Ivaí, no município de Júlio de Castilhos-RS. A partir da década de 50 foi inaugurada a primeira PCH do Ivaí (1950), hoje conhecida como Cascata do Ivaí. Após foram construídas mais duas, uma a sua montante PCH Ernesto Jorge Dreher, em funcionamento desde 2009 e outra a sua jusante denominada Henrique Kotzian, operando desde 2011.

A primeira PCH da série em cascata Eng. Ernesto Dreher possui uma potência instalada de 17.870 kW com uma vazão de 33,78 m³/s, energia capaz de abastecer 124 mil consumidores.

água com os fenômenos/características de uma bacia hidrográfica facilita ao pesquisador estimar a distribuição e a concentração de sólidos em suspensão sobre a água, sejam elas continentais, reservatórios, lagos ou rios.

Neste sentido, este trabalho aborda estimativas de TSS em pequenas áreas de estudo, ou seja, em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), pois o desenvolvimento energético brasileiro é caracterizado pelas grandes centrais hidrelétricas para que abasteça grandes centros, devido a isto, os municípios isolados ou áreas rurais muitas vezes são negligenciados devido ao custo para interligação dessas localidades.

No Brasil, uma usina hidrelétrica pode ser classificada em dois principais tipos: PCH, usina de pequeno porte cuja capacidade instalada seja superior a 1 MW e inferior a 30 MW com reservatório inferior a 3 km² e GCH's, ou grandes centrais hidrelétricas que produzem acima de 30 MW (Resolução ANEEL N.º 394/98) (BRASIL, 1998).

Neste contexto, a implantação de PCHs é uma opção para suprir energia em municípios distantes e sem conexão ao sistema, como também, permite um menor impacto por alagarem pequenas extensões de terras. Todavia as PCHs são associadas à geração de menores impactos se comparada às grandes usinas hidrelétricas, uma vez que, normalmente possuem barragens menores e consequentemente alagam áreas menores.

Assim este trabalho objetiva avaliar o uso de Imagens Landsat 8 (banda 4) para estimar a concentração de sedimentos em suspensão medida em três PCHs no rio Ivaí, RS.

A área de drenagem do local onde está localizada a PCH Ernesto Jorge Dreher é de 1.552 km². A segunda da série é a menor, possui uma potência de 1,7 kW, e a terceira tem uma potência instalada de 13.000 kW e uma vazão de 48,25 m³/s, sua área de drenagem é de 1.640 km², com uma profundidade máxima de aproximadamente 38 m (CMSAPAR, 2017). A Figura 1 mostra a localização da área de estudo.

A Bacia Hidrográfica do rio Ivaí engloba sete municípios, porém dois municípios são atingidos pelas PCHs. Na margem direita, Júlio de Castilhos e na margem esquerda o município de Salto do Jacuí. A Figura 1 mostra a localização da área.

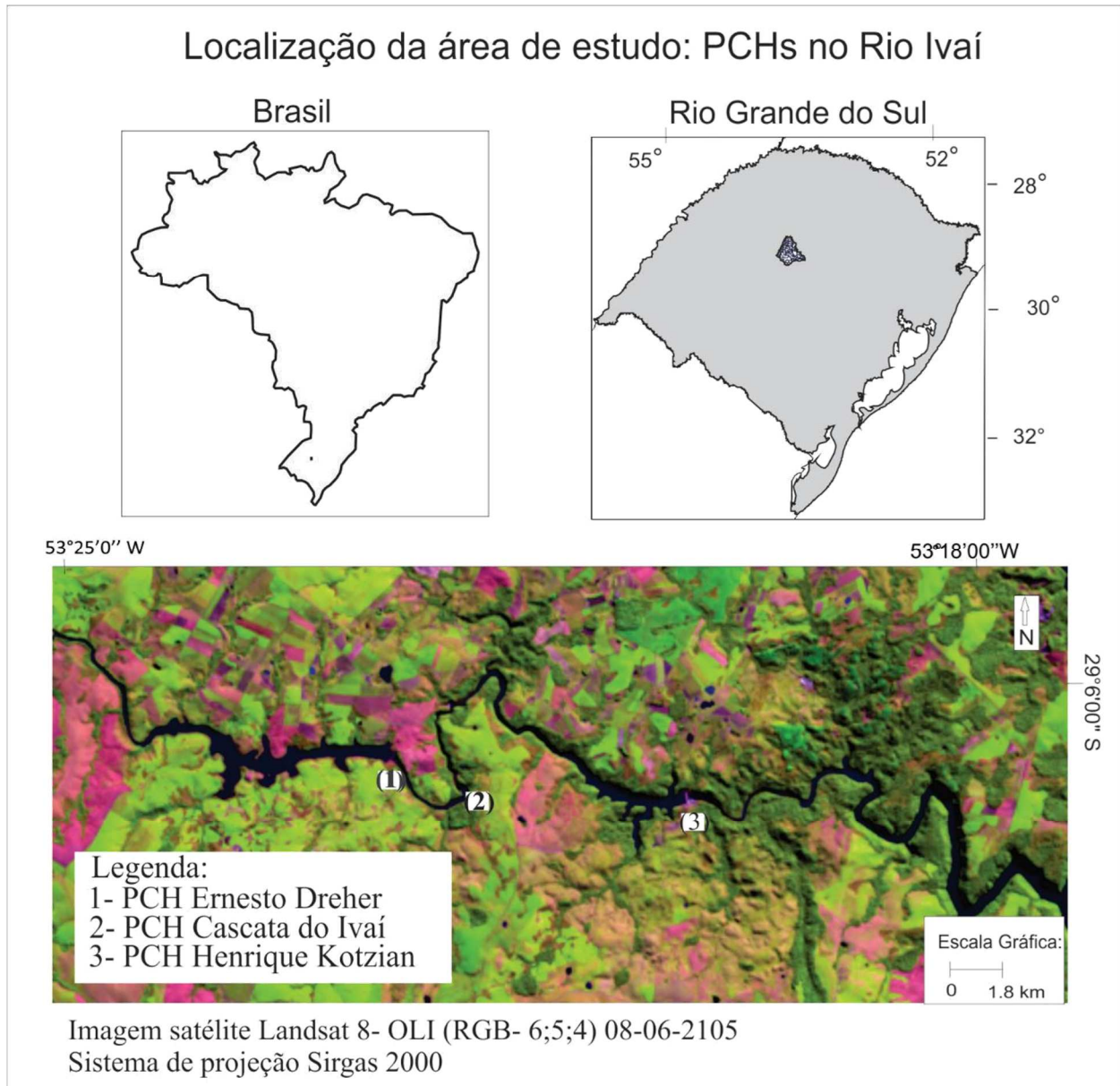


Figura 1 - Localização da bacia de captação das PCHs do Ivaí, RS - Brasil.

O clima da região Sul do Brasil tem papel fundamental nas atividades agrícolas desenvolvidas como também na inserção de reservatórios devido ao relevo e clima favorável. O clima predominante é o subtropical, sendo este a transição entre o clima tropical e o clima temperado das médias latitudes.

Nesta região, a precipitação pluviométrica é influenciada por fenômenos atmosféricos, entre os mais importantes, pode-se citar a passagem de sistemas frontais (encontro de massa de ar frio e quente), que são responsáveis por grande parte dos totais pluviométricos registrados (Oliveira, 1986; Sartori, 2000). No Estado do Rio Grande do Sul a precipitação média situa-se entre 1.299 e 1.500 mm e, ao norte a média está entre 1.500 e 1.800 mm (Sartori, 1993). A

região Sul do Brasil apresenta uma variabilidade da precipitação tais como distribuição, intensidade e volume das chuvas de um determinado local devido a fatores geográficos associados à dinâmica da circulação atmosférica regional e ao fenômeno climático como ENOS (El Niño/Oscilação Sul) (Sartori, 2000).

No Estado, há quatro grandes províncias geomorfológicas: a Planície Costeira, o Escudo Sul-rio-grandense, a Depressão Periférica e o Planalto, cada uma com características distintas. O Planalto ocupa a metade norte e uma porção no sudoeste do RS, e se subdivide em 7 regiões fisiográficas, sendo o Planalto Médio uma delas.

O relevo dessa região é suave ondulado e bastante homogêneo, com predomínio de solos do tipo Latossolos, Nitossolos e Argilossolos, nas

áreas mais acidentadas em relevo forte ondulado são encontrados Cambissolos e Neossolos (Streck et al., 2008).

Estas áreas mais acidentadas e com rios de maior vazão são elementos que propiciam a instalação de PCHs, como por exemplo a bacia do rio Ivaí que apresenta uma amplitude de aproximadamente 300 m.

MATERIAIS E MÉTODOS

Fonte de dados: dados de TSS e dados de Reflectância

Total de Sólidos Suspensos

Para a determinação dos sólidos em suspensão foram coletadas amostras nos três barramentos em estudo. A determinação do total de sólidos em suspensão em nível de laboratório se deu conforme descrito em Wachholz (2011). Para a filtragem em laboratório utilizou-se filtros de celulose de 0,45µm e diâmetro de 47 mm, os quais foram secados previamente por 24 horas em estufa a uma temperatura de 50°C, a fim de eliminar a umidade. Posteriormente a secagem pesou-se os filtros em balança analítica com acurácia de 0,0001 g para obtenção do peso inicial (P_i).

Após a realização da filtragem, colocou-se novamente os filtros na estufa na mesma temperatura e tempo de permanência utilizado para a obtenção do peso inicial, (onde permaneceram por 24 horas em 50°C novamente). Esses filtros passaram ao processo de pesagem na mesma balança, obtendo-se o peso final (P_f). A partir disso foi possível determinar o TSS na unidade mg/L para cada amostra com a equação utilizada por Wachholz (2011):

$$TSS = [(P_f - P_i) / V] \times 1000$$

Onde: TSS - Total de Sólidos em Suspensão; P_f - Peso Final (g); P_i - Peso Inicial (g); V - Volume (L).

Reflectância da água - Landsat 8

A interpretação do comportamento espectral da água em relação aos demais alvos naturais é de grande diferença e complexidade, pois a energia refletida pela água é consideravelmente menor que os demais alvos, sendo o fator de maior

Em vistorias mensais ao local de estudo verifica-se que na porção montante dos reservatórios há intensa exploração agrícola. Estas acompanham o calendário agrícola, o que ocasiona carregamento de materiais para os reservatórios em determinadas épocas do ano onde os solos ficam expostos à ação da intempérie sendo susceptíveis a ação das chuvas.

relevância para estudos por produtos do sensoriamento remoto. A interpretação dos dados torna-se mais complexa pela interferência atmosférica na região de maior penetração de luz na água pela transmitância variável e alta em função das diferentes profundidades pela presença dos componentes opticamente ativos da água que apresentam espectros semelhantes e a reflectância da superfície da água que é mais elevada quando afetada por outros fatores, como por exemplo, sólidos em suspensão que são melhores estudados com a banda do vermelho (Kirk, 1994, Tzortziou et al., 2006; Park et al., 2014; Sari et al., 2015).

As imagens de satélite do Landsat 8 foram utilizadas para obtenção dos valores de reflectância nos pontos amostrais. Considerando que o Landsat 8 apresenta 11 bandas espectrais e um período de 16 dias de revisita, foi utilizada apenas a banda 4.

O processamento das imagens foi realizado utilizando-se o programa Environment for Visualizing Imagens - ENVI versão 4.7. O produto utilizado foi o Superface Reflectance, já georreferenciado e corrigido com valores em reflectância. A banda 4 do Landsat 8 tem comprimento de onda central de 655 nm correspondente ao vermelho e resolução espacial de 30 m. A banda do vermelho (banda 4) foi utilizada devido esta faixa espectral apresentar melhor resposta a presença de sólidos em suspensão (Kirk, 1994).

Para extração dos valores de reflectância foram criados ROIs (Regiões de Interesse onde é possível selecionar amostras de um raster), nos três reservatórios em análise e utilizados nas imagens selecionadas, totalizando 12 pontos amostrais.

A figura 2 apresenta as datas de aquisição de dados de campo e as respectivas imagens utilizadas. As imagens do mês de julho não

pueram ser utilizadas devido a quantidade de nuvens sobre a área de estudo. O intervalo de tempo entre a data das imagens de satélite e os dados de campo foi de aproximadamente 1-2

dias, portanto, alguma discrepância é esperada devido ao tamanho dos reservatórios e também a variabilidade temporal e espacial associada com o pulso de sedimentos e a vazão do rio.

Figura 2: Datas dos dados de campo e imagens selecionadas

	Mês	Data do trabalho de campo	Data das imagens
1	Junho	17-06-2015	15-06-2015
2	Agosto	28-08-2015	27-08-2015
3	Setembro	14-09-2015	12-09-2015
4	Outubro	06-10-2015	05-10-2015

Dados de Precipitação Pluviométrica

Os dados de precipitação pluviométrica utilizados para essa pesquisa são administrados pela Cooperativa Agropecuária de Júlio de Castilhos-COTRIJUC, que utiliza estes dados para pesquisas em agricultura de precisão e confrontados com dados coletados nas PCHs. O ponto de coleta é a Estação de Ivaí, localizada na área de estudo.

Fatiamento das Imagens

Para geração das imagens de reflectância da água definiram-se as classes dos valores de reflectância de acordo com o valor mínimo e máximo encontrado no corpo de água da

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os métodos tradicionais de monitoramento de sedimentos em rios baseiam-se em amostras coletadas *in situ*, a partir de locais pré-determinados. Sabe-se da precisão destes métodos, mas também que o custo e o tempo fazem com que essas distribuições de amostras a serem coletadas sejam limitadas (Ritchie et al., 1987; Ritchie e Shiebe, 2000). Além disso, Montanher et al. (2014), afirmam que geralmente as amostragens são realizadas em locais onde há facilidade de acesso, e não por representatividade espacial da amostra o que pode ocasionar alguma diferença envolvendo a variabilidade espacial e temporal do sedimento em suspensão. Desta forma, dados de sensoriamento remoto podem ser usados para estimar com êxito a concentração de sedimentos na água. Essa estimativa baseia-se na relação entre concentração de sedimentos e a reflectância da água. Apesar da baixa frequência de amostragem espacial e temporal,

banda selecionada em todas as datas utilizadas (0,0 e 9,5< respectivamente) totalizando 20 classes.

Após o fatiamento aplicou-se a máscara correspondente ao limite dos reservatórios.

Análise de Regressão

A estatística descritiva permite de forma sistemática organizar, descrever, analisar e interpretar dados oriundos de estudos ou experimentos, realizados em qualquer área do conhecimento (Pires et al., 2011). O modelo para estimativa da concentração do total de sólidos em suspensão foi desenvolvido com base na análise estatística.

é possível verificar uma alta correlação entre os valores de TSS e Reflectância. Ritchie; Schiebe & Mchenry (1976) afirmam que a relação entre sedimentos suspensos e reflectância é não-linear. Trabalhos desenvolvidos por Kun Shi et al. (2015) e Lin et al. (2012) apontam o modelo exponencial como o de melhor ajuste.

Após avaliar diferentes modelos matemáticos verificou-se que o modelo exponencial foi o que apresentou o melhor ajuste entre os dados de TSS e reflectância no rio Ivaí. Neste sentido, a estimativa através do modelo matemático exponencial apresentou uma forte correlação apresentando um $R^2 = 0,84$ e um $RMS = 11,85$ mg/L (Figura 3).

Os valores estimados de TSS mostraram-se coerentes com os valores avaliados *in loco*, no entanto, em alguns meses, como por exemplo, no mês de junho, ocorrem algumas discordâncias. Tian et al. (2014) afirmam que é esperada essa diferença devido à variabilidade

temporal e espacial associada com a pluma d'água e a vazão do rio. Pois conforme Kun Shi et al. (2015), a distribuição dos sedimentos em reservatórios é influenciada pelo recebimento de materiais de seus tributários, o que pode ser

rapidamente alterada caso os sólidos suspensos e outras matérias particuladas sejam advindos em maior quantidade em eventos de chuva e consequente elevação do fluxo dependendo da dimensão longitudinal do reservatório.

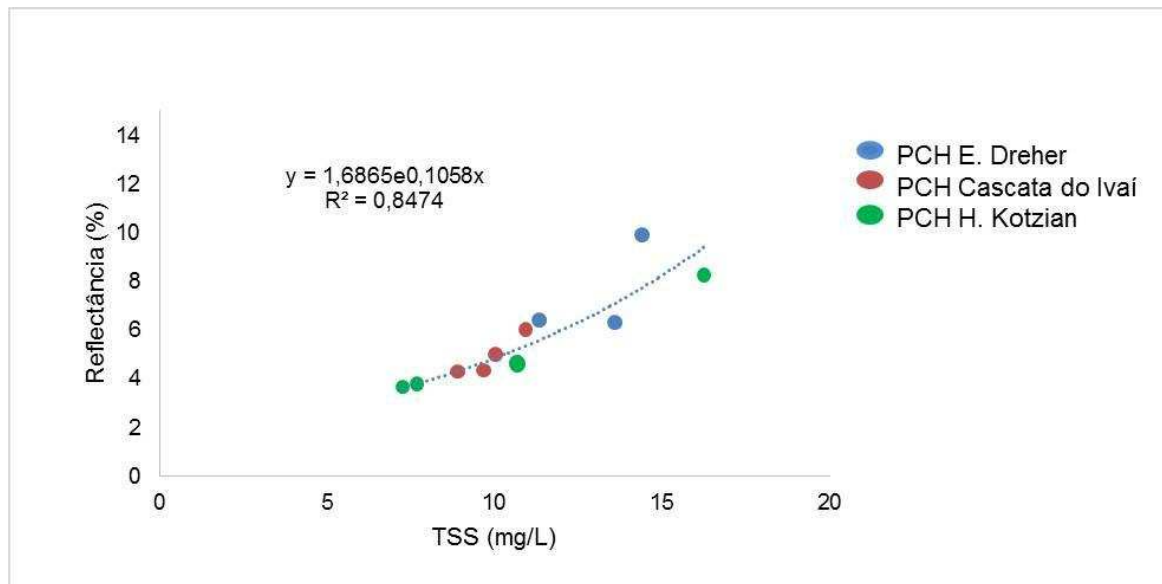


Figura 3 - Gráfico das correlações entre dados de TSS e reflectância.

A figura 4 permite identificar os três barramentos nas imagens estimadas, mostrando uma distribuição semelhante onde o TSS diminui ao longo do rio.

Com base na Figura 3, e considerando que o pico da reflectância se deu na banda 4 (vermelho) no mês de junho verificou-se uma concentração semelhante dos reservatórios E. Dreher e H. Kotzian. Neste mês, foram encontrados os mais elevados valores de reflêctancia e também valores mais elevados de TSS, todos maiores que 13 mg/L. Trabalho realizado por Tian et al. (2014), aponta diferenças entre resultados estimados em concentrações maiores que 10 mg/L, o que podem justificar a diferença do resultado.

No entanto, a precipitação pluviométrica foi de 315 mm na região das PCHs, ocasionando o transporte de sedimentos para os reservatórios. Desta forma, os sedimentos suspensos podem ser indicadores de possíveis problemas na bacia de captação sujeita a existência de áreas com solo exposto devido a agricultura intensa.

Na análise de agosto, o resultado foi o que se apresentou mais próximo a imagem reflectância. Foram encontrados compartimentos aquáticos e a tendência de deposição dos sedimentos a cada barramento. Os valores pluviométricos não foram muito elevados no local, no entanto um dia antes da passagem do sensor a precipitação local foi de

42 mm, o que pode ter ocasionado a entrada de água com sedimentos.

No mês de setembro o resultado da imagem estimada de TSS foi de uma água mais homogênea no três setores de análise, indicando uma massa d'água com pouco sólidos suspensos, no entanto a precipitação foi de apenas 9 mm 2 dias antes da passagem do sensor, fator este que poderá ter ocasionado a homogeneidade das águas, porém um acumulado de 193 mm em 30 dias. No mês de outubro, o TSS medido em campo ficou em torno de 10 a 12 mg/L, no entanto, o TSS estimado variou em 10 a 15 mg/L, sendo possível verificar que o modelo criado pode ser aplicado para estimar o TSS.

Considerando os meses amostrados, observou-se que o desempenho das imagens Landsat-OLI é diferenciado em função da estimativa da concentração de TSS. Os padrões de sólidos em suspensão estimados mostraram uma distribuição da concentração semelhante com a imagem ao longo do rio, diminuindo no sentido montante-justante, mostrando a tendência de deposição dos

sedimentos devido ao efeito cascata das PCHs. Os altos valores de reflectância e consequentemente de TSS podem estar associados aos elevados índices pluviométricos na região sul devido ao efeito do El Niño.

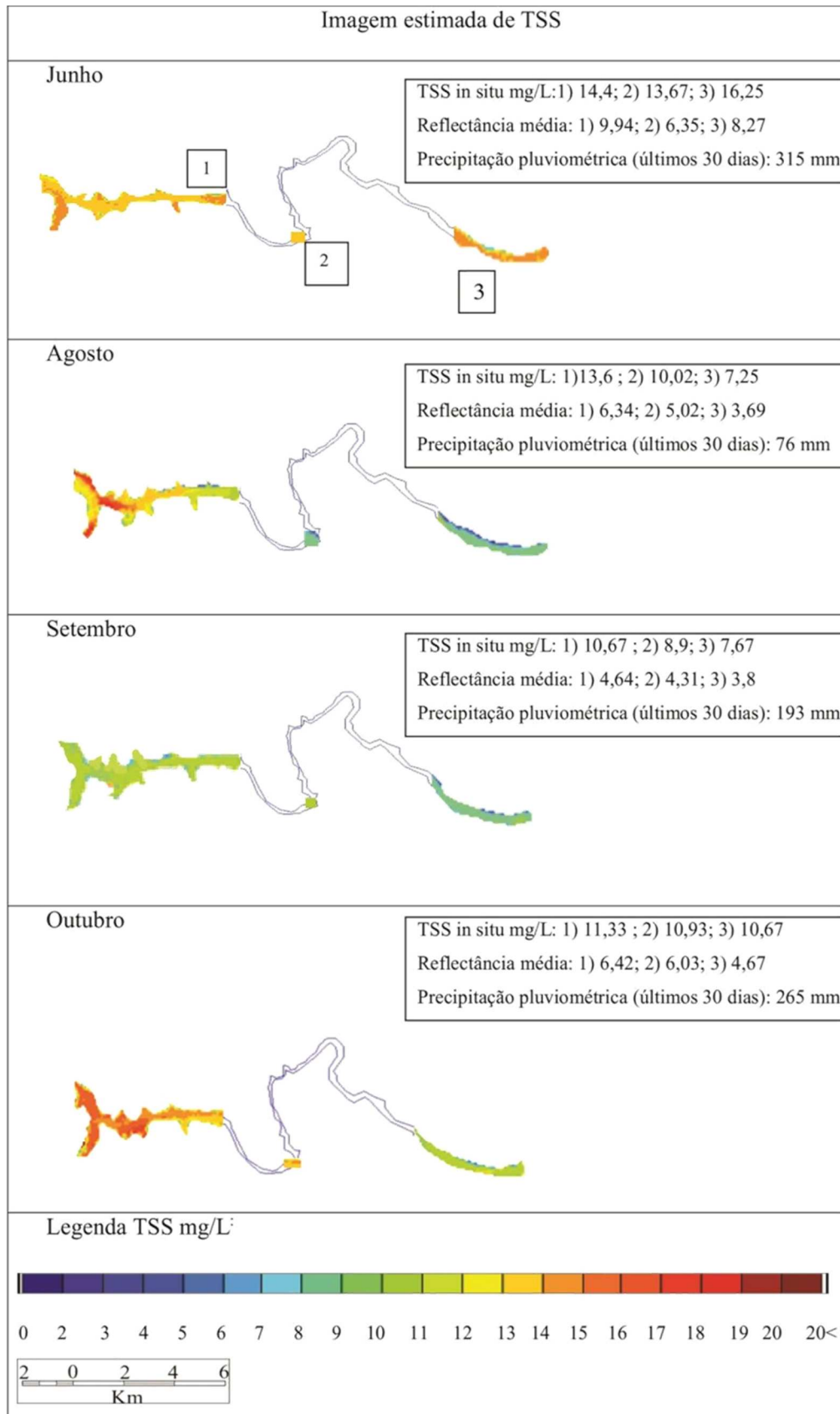


Figura 4 – Identificação dos três barramentos nas imagens estimada de TSS.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No caso estudado a atenção maior deve se dar pelo efeito cascata, implantação de diversas PCHs em sequência em um mesmo rio, pois os

impactos podem ser proporcionalmente maiores dos causados por grandes obras, principalmente no que diz respeito ao transporte de sedimentos

provocando diversas consequências, entre elas, alteração da vazão do rio.

Nesse cenário de pequenos barramentos o modelo proposto mostrou-se indicado para a estimativa da concentração de sólidos suspensos. O ideal é que se utilize o período de um ano de monitoramento para a construção dessa curva de ajuste. Porém o objetivo proposto foi atingido com resultado satisfatório, onde o fatiamento das imagens de reflectância e

das imagens estimadas foi muito semelhante, evidenciando a deposição dos sedimentos a cada barramento.

Além disso, a abordagem realizada aqui pode ser aplicada em outras regiões com semelhantes características do rio e da bacia. Mas deve-se levar em consideração que a relação entre a reflectância por satélite e as concentrações encontradas de TSS podem variar para outros reservatórios.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes pela concessão da bolsa de estudo e a empresa Coprel -RS, pela disponibilidade em realizar a pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Resolução da ANEEL**, N° 394, DE 4 DE DEZEMBRO DE 1998. Estabelece os critérios para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de pequenas centrais hidrelétricas. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disp. em: http://www.aneel.gov.br/cedoc/res19983_94.pdf. Acesso em: 15 out. 2016.
- CHEN, Z.; CURRAN, P.J.; HANSOM, J.D. Derivative Reflectance Spectroscopy to Estimate Suspended Sediment Concentration. **Remote Sensing of Environment**, v. 40, p. 67-77, 1992.
- CMSAPAR- **Participações S.A BME Energia**. Disp. em: <http://www.cmsapar.com.br/bme.php?lang=pt>. Acessado em: 03/01/2017.
- COTRIJUC- **Cooperativa Agropecuária de Júlio de Castilhos**. Disp. em: http://www.cotrijuc.com.br/site/cotrijuc.php?mod=chuvas&cat=ver&nucleo_id=1&pag=4. Acesso em: 10-11-2015
- KIRK, J.T.O. **Ligth and photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2ed. Cambridge University Press: New York, 1994.
- MONTANHER, O.C.; BARBOSA, C.C.F.; RENNÓ, C.D., SILVA, T.S.F. Empirical models for estimating the suspended sediment concentration in Amazonian white water rivers using Landsat 5/TM. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 29, p. 67-77, 2014.
- OLIVEIRA, A.S. **Interação entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia**. São José dos Campos, 1986. 115p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- PARK, E. & LATRUBESSE, E. Modeling suspended sediment distribution patterns of the Amazon River using MODIS data. **Remote Sensing of Environment**. v. 147, p. 232-242, 2014.
- PIRES, C.A.F. **Geostatística: caderno didático**. Santa Maria: UFSM-CCNE, 2011.
- RITCHIE, J.C.; FRANK, R.; SCHIEBE, J.; MCHENRY, R. Remote Sensing of Suspended Sediments in Surface Waters. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 42, p. 1539-1545, 1976.
- RITCHIE, J.C.; COOPER, C.M.; YONGQING, J. Using Landsat Multispectral Scanner data to estimate suspended sediments in Moon Lake, Mississippi. **Remote Sensing of Environment**, v. 23, n. 1, p. 65-81, 1987.
- RITCHIE, J.C. & SHIEBE, F.R. Water quality. In: SHULTZ, G.A., ENGMAN, E.T (Eds.), **Remote Sensing in Hydrology and Water Management**. Springer, p. 287-303, 2000.
- VANESSA, S.; NILZA, C.; MASATO, K. Estimativa da concentração de sedimentos suspensos com sensores ópticos: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, p. 816-836, 2015.
- SARTORI, M.G.B. As variações pluviométricas e o regime das chuvas na Região Central do Rio Grande do Sul. **Boletim de Geografia Teorética**. v. 45-46, n. 23, p.70-84, 1993.
- SARTORI, M.G.B. **Clima e Percepção**. São Paulo, 2000. 227p. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual de São Paulo.
- KUN,S.; YUNLIN, Z.; GUANGWEI, Z; XIAOHAN, L.; YONGQIANG, Z.; HAI, X.; BOQIANG, Q; GE, L.; YUNMEI, L. Long-term Sremote monitoring of total suspended matter concentration in Lake Taihu using 250 m MODIS-Aqua data Remote. **Sensing of Environment**, v. 164, p. 43-56, 2015.
- STRECK, E.V. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER, 2008.
- TIAN, L.; WAI, O.W.H; CHEN, X.; LIU, Y.; FENG, L.; LI, J.; HUANG, J. Assessment of Total Suspended Sediment Distribution under Varying Tidal Conditions in Deep Bay: Initial Results from HJ-1A/1B Satellite CCD Images. **Remote Sensing**, v. 6, n. 10, p. 9911-9929, 2014.
- TZORTZIOU, M.; SUBRAMANIAM, A.; HERMAN, J.R.; GALLEGOS, C.L.; NEALE, P.J.; HARDING JR., L.W. Remote sensing reflectance and inherent optical properties in the mid Chesapeake Bay. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 72, p. 16-32, 2007.
- WACHHOLZ, F. **Influência das bacias hidrográficas e caracterização espaço-temporal de variáveis limnológicas em reservatório no Rio Grande do Sul**. Rio Claro, 2011. 191p. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual Paulista.
- WANG, J.J. & LU, X.X. Estimation of suspended sediment concentrations using Terra MODIS: An example from the Lower Yangtze River, China. **Science of the Total Environment**, v. 408, p. 1131-1138, 2010.

4. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O objetivo geral foi: “Caracterizar a variação espaço-temporal dos Constituintes Opticamente Ativos, a partir da integração de dados de Sensoriamento Remoto orbital, em Pequenas Centrais Hidrelétricas no rio Ivaí-RS”, este objetivo foi atingido, pois a metodologia utilizada permitiu estabelecer a relação entre as variáveis utilizadas.

Verificou-se que o estudo nos reservatórios das PCHs utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto foi de grande importância na extração e espacialização de informações, pois facilitou o armazenamento e manipulação dos dados, favoreceu as análises com a disponibilização de produtos cartográficos, tais como mapas e figuras contendo os resultados e também ao tratamento e interpretação de imagens de satélite, possibilitando levantar mais informações dos reservatórios sem haver muito contato direto com os mesmos.

Neste contexto, foram adquiridos maiores conhecimentos e aperfeiçoamento no que se refere as PCHs, pelo fato de serem pequenos reservatórios há poucos estudos de Sensoriamento Remoto nestas áreas, neste sentido magnitude das mudanças na qualidade das águas de pequenos reservatórios depende do regime fluvial, características da captação e atividades humanas específico do sistema ao redor.

O uso das imagens de satélite com base nesse estudo, possibilitaram estimar concentrações de TSS no reservatório. Embora, outros componentes opticamente ativos são mais difíceis de serem considerados em estimativas e ainda necessitam de trabalhos *in situ* mais detalhados para coleta de dados limnológicos.

Períodos mais chuvosos proporcionam também uma maior definição de compartimentos aquáticos, fator este que pode ser visualizado no Artigo 2 de componentes principais. Desta forma a ACP mostrou ser uma ferramenta estatística de extrema importância em estudos físico-químicos de águas, pois possibilita uma investigação conjunta de variáveis como TSS e permite também o entendimento sobre a ação das variáveis na discriminação dos corpos de água da bacia e suas características associadas.

O estudo em bacias hidrográficas assume grande importância no entendimento da dinâmica de reservatórios. Pela análise dos resultados observou-se a influência da bacia do rio Ivaí sobre os reservatórios das PCHs além da intervenção humana sobre os recursos naturais, impondo as modificações e transformações nos cursos de água.

A reflectância da água relacionada aos aspectos físicos e aos índices pluviométricos permitiu a caracterização das alterações naturais na superfície na água. Foi possível concluir que existem diferenças espectrais entre as diferentes PCHs, em relação aos índices

pluviométricos, percebeu-se que quanto maior os valores dos índices de chuva, maior é a reflectância.

Seguindo a tendência em que as precipitações influenciam nos padrões de reflectância do reservatório, períodos em que solo encontra-se exposto, poderão ainda exceder mais os valores de reflectância neste sentido, as áreas encontram-se preparadas para o plantio, aumentando o potencial dessas áreas serem erodidas e carreando o material até o reservatório, repercutindo em maiores concentrações de TSS e, portanto da reflectância.

No entanto, pode ser verificado que os reservatórios quanto mais a jusante menor são os valores de reflectância e conseqüentemente de TSS decorrentes da precipitação dos sólidos em suspensão no sentido montante a jusante, contribuindo para problemas de assoreamento.

Diante do que foi exposto foi possível caracterizar a relação espaço-temporal da bacia de captação de forma integrada entre dados do sistema terrestre e do meio aquático em conjunto com o Sensoriamento Remoto a fim de compreender a dinâmica das águas nas PCHs.