



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA
QUÍMICA



REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL: UM ESTUDO DE CASO

Autor: Mariana Almeida Gomes

Orientador: Aline Schilling Cassini

Porto Alegre, setembro de 2023

Autor: Mariana Almeida Gomes

REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL: UM ESTUDO DE CASO

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio Grande
do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Química*

Orientador: Aline Schilling Cassini

Banca Examinadora:

Prof.^a Ligia Damasceno Ferreira Marczak, UFRGS

Prof.^a Caroline Borges Agustini, UFRGS

Porto Alegre

2023

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar aos meus pais, Izabel e Elcio, pelo apoio incansável e pelos esforços dedicados. À minha mãe, em especial, pelo amor e carinho concedidos, principalmente nos momentos difíceis, nunca deixando de acreditar no meu potencial. Ao meu pai, por ser fonte constante de inspiração nesse projeto.

Ao meu avô Antônio (*in memorian*), pelo incentivo à leitura e sabedoria. Ao meu avô Wellington (*in memorian*), pelas belas palavras proferidas no meu nascimento que se mostraram como um incentivo, guiando-me a jamais desistir.

À minha avó Nair e à tia Ana, pelo auxílio cotidiano e por estarem presentes.

Ao Arthur, por ter sido companheiro ao longo dessa jornada e, especialmente, pelo abraço acolhedor e pelas palavras de encorajamento a cada etapa: “Tudo vai dar certo!”. Agradeço por compartilhar tantas emoções.

Ao Bruno (*in memorian*), pela companhia e por ter sido amigo até os últimos momentos.

Ao Fabiano, pelo apoio à família nos momentos difíceis.

Ao Israel, agradeço o auxílio prestado, tornando possível a simplificação dessa jornada.

À Professora Aline, agradeço a orientação, assistência, carinho, apoio e abraço reconfortante.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo ensino de qualidade.

Por fim, agradeço a todos amigos e familiares que estiveram presentes e que de alguma forma me apoiaram, tornando possível a superação dos momentos de dificuldade.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá”

Ayrton Senna da Silva

RESUMO

A água é um recurso natural limitado e indispensável para a sobrevivência humana e questões relacionadas à preservação e à conservação dos recursos hídricos têm recebido crescente destaque. Técnicas voltadas para o aproveitamento de água da chuva surgem como soluções sustentáveis que contribuem para um uso mais racional da água, auxiliando na preservação desses recursos.

Sabe-se que água não potável pode ser reaproveitada com o objetivo de promover uma sustentabilidade ambiental e reduzir o consumo de água potável em atividades que não demandem tal qualidade. Dessa forma, a partir da necessidade mapeada a respeito do reaproveitamento de água, bem como do fato de que a água não adequada para consumo humano pode ser utilizada para fins menos nobres de forma a substituir o uso de água potável, o presente estudo visa propor uma solução para a redução do consumo desse bem natural. Sendo assim, desenvolveu-se um projeto relacionado à viabilização de um sistema de aproveitamento de água pluvial baseado na coleta de água a partir dos telhados de uma residência para posterior armazenagem em cisternas.

O propósito desse estudo é estruturar um projeto em uma residência situada na cidade de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul, envolvendo o recolhimento de água de origem pluvial, bem como mapear os custos envolvidos na construção desse sistema para, então, determinar o tempo de retorno do valor investido.

O tempo de retorno obtido foi de 3 anos e 9 meses, considerando um custo de projeto equivalente a R\$ 6.146,59 a partir de um recolhimento mensal de 29,67m³, obtido através da média dos meses de janeiro de 2018 a dezembro de 2022, de água oriunda do recolhimento da água escoada dos telhados da residência e da garagem dessa residência. Ademais, devido ao retorno positivo, realizou-se um estudo de caso voltado a um comércio de estacionamento atrelado a uma lavagem de carros. Esse estudo apresentou um tempo de retorno de 2 anos e 3 meses, considerando um custo de R\$ 38.040,15.

Palavras-chave: *reuso de água, sistema de captação de água pluvial, coleta de água, reaproveitamento de recursos naturais*

ABSTRACT

Considering that water is a limited and indispensable natural resource for human survival, issues related to the water resources preservation and conservation have been receiving increasing prominence. Techniques focused on rainwater harvesting emerge as sustainable solutions that contribute to a more rational use of water, aiding in the preservation of these resources.

It is known that non-potable water can be reused with the aim of enhancing environmental sustainability and reducing the potable water consumption in activities that don't require such quality. Thus, considering the identified need for water reuse and the fact that non-potable water can be employed for specific purposes to replace the potable water use, the present study aims to propose a solution to reduce this consumption. Accordingly, a project was developed concerning the rainwater harvesting system feasibility based on collecting water from the residence roofs for subsequent storage in cisterns.

This study's purpose is to structure a project involving the rainwater collection and to map the costs associated to the system construction for a residence located in Porto Alegre (Rio Grande do Sul) in order to determine the payback period.

The payback period was 3 years and 9 months, considering a project cost equivalent to R\$ 6,146.59, based on a monthly water collection of 29.67m³ from the rainwater runoff collected from the residence's roofs and garage. Furthermore, due to the positive return, a case study was conducted focusing on a parking business coupled with a car wash. This study revealed a 2 years and 3 months payback period, considering a cost of R\$ 38,040.15.

Keywords: *water reuse, rainwater harvesting system, water harvesting, natural resources reuse*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição Populacional x Disponibilidade Hídrica no Brasil.....	4
Figura 2: Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.....	6
Figura 3: Área de Contribuição de uma Superfície Inclinação.....	10
Figura 4: Precipitações referentes ao ano de 2018	11
Figura 5: Precipitações referentes ao ano de 2019	11
Figura 6: Precipitações referentes ao ano de 2020	11
Figura 7: Precipitações referentes ao ano de 2021	12
Figura 8: Precipitações referentes ao ano de 2022	12

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Frota brasileira de automóveis	5
Tabela 2: Distribuição do Consumo doméstico de água	8
Tabela 3: Coeficientes de Runoff.....	13
Tabela 4: Frequências de uso relacionado às atividades que utilizam água de reuso.....	14
Tabela 5: Média mensal considerando os anos de 2018 a 2022	18
Tabela 6: Média dos anos e média das médias mensais obtidas na Tabela 5.	19
Tabela 7: Volume médio mensal	19
Tabela 8: Orçamento de materiais necessários para a construção do sistema de cisterna residencial.....	21
Tabela 9: Orçamento de materiais necessários para a construção do sistema de cisterna	22
Tabela 10: Orçamento de materiais necessários para a construção do sistema de cisterna destinado a lavagem automotiva	26

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Revisão Bibliográfica	3
2.1	Escassez de água	3
2.2	Consumo de água	4
2.3	Reuso da água	5
3	Materiais e Métodos	9
3.1	Dimensionamento da Área de Captação	9
3.2	Índice pluviométrico mensal da cidade	10
3.3	Coefficiente de Rugosidade	12
3.4	Volume médio útil mensal	13
3.5	Consumo de água mensal	14
3.5.1	Volume mensal utilizado em vasos sanitários	14
3.5.2	Volume mensal utilizado nos jardins e lavagens de carros	15
4	Resultados	17
4.1	Cálculo da Área de Captação	17
4.1.1	Área de contribuição da residência	17
4.1.2	Área de contribuição da garagem da residência	17
4.1.3	Área total de contribuição	18
4.2	Cálculo do Índice pluviométrico geral da cidade	18
4.3	Cálculo do volume médio útil mensal	19
4.4	Estimativa do consumo de água mensal	20
4.4.1	Volume mensal utilizado em vasos sanitários	20
4.4.2	Volume mensal utilizado nos jardins e lavagens de carros	21
4.5	Investimento no projeto	21
4.6	Espaço físico necessário para instalação	23
4.7	Tempo de retorno do investimento	23
5	Estudo de Caso	25
6	Conclusões e Trabalhos Futuros	28
6.1	Conclusões gerais	28

6.2	Trabalhos futuros	29
	REFERÊNCIAS	30

1 Introdução

A crescente preocupação com a escassez de água reflete um desafio global cada vez mais presente. À medida que a população mundial continua a aumentar e as demandas por água se intensificam em diversos setores, desde a agricultura até a indústria e o consumo doméstico, os recursos hídricos do planeta tornam-se cada vez mais sobrecarregados.

Mudanças climáticas imprevisíveis também agravam essa situação, provocando padrões de precipitação irregulares e eventos extremos, como secas prolongadas em algumas regiões. Para garantir um futuro sustentável, é fundamental adotar abordagens inovadoras que promovam a conservação da água, o uso eficiente e a gestão responsável dos recursos hídricos, a fim de preservar esse bem vital para as gerações presentes e futuras.

Desse modo, a crescente escassez de água é um desafio global que exige atenção. Com o aumento da população mundial e o desenvolvimento industrial, o consumo de água tem atingido níveis alarmantes e colocado pressão sobre os recursos hídricos disponíveis. Muitas áreas já enfrentam situações críticas, com fontes de água doce se esgotando mais rapidamente do que podem ser naturalmente recarregadas.

A falta de acesso à água compromete a saúde, o bem-estar das comunidades e limita o potencial crescimento econômico. O setor agrícola, por exemplo, é um dos maiores consumidores de água, nesse caso, técnicas de irrigação mais eficientes podem ajudar a reduzir o desperdício. Além disso, há também a questão industrial que é responsável por um alto consumo desse bem natural, visto que as operações industriais consomem quantidades significativas de água para processos de resfriamento, produção e limpeza, muitas vezes resultando em descargas poluentes.

No entanto, é essencial considerar que o consumo humano residencial também é responsável por parte dessa escassez de água. Atitudes cotidianas, como vazamentos não reparados, uso excessivo em jardinagem e lavagem de carros, além de hábitos de consumo desatentos, contribuem para um uso ineficiente da água. Desse modo, a conscientização, a educação e a colaboração entre governos, indústrias e comunidades desempenham um papel fundamental na busca por soluções sustentáveis que garantam a disponibilidade de água para as gerações presentes e futuras.

Em virtude desse consumo exacerbado nos âmbitos tanto industriais, quando agrônomos e residenciais, a prática do reuso de água tem se mostrado uma alternativa promissora para mitigar essa crise hídrica. Esse reaproveitamento de água é uma prática comum e benéfica nas indústrias, que reconhecem os ganhos tanto em termos de conservação de recursos quanto de redução de impactos ambientais, entretanto, essa abordagem ainda é pouco considerada para usos residenciais.

O reuso de água é uma prática sustentável que tem ganhado cada vez mais adeptos no Brasil. Equipamentos como sistemas de captação de água da chuva e tanques de armazenamento são utilizados para viabilizar a reutilização hídrica em residências. A

conscientização da população é um dos fatores principais para que a prática do reuso de água se torne mais difundida no país. Essa conscientização é crucial para promover a conservação dos recursos hídricos e contribuir para a sustentabilidade ambiental. Além disso, o reuso da água desempenha um papel fundamental na adaptação às mudanças climáticas, pois contribui para a garantia de um suprimento hídrico em caso de secas e/ou crises hídricas.

Dentro desse contexto, o presente trabalho visa desenvolver um estudo de caso a fim de analisar os aspectos técnicos e a viabilidade econômica para a captação e reaproveitamento de água pluvial em atividades domésticas que não necessitam de água potável em uma unidade residencial de 237,4 m² de área construída situada na cidade de Porto Alegre. Em virtude dos resultados obtidos, estendeu-se o estudo de caso para uma unidade comercial de lavagem automotiva.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Escassez de água

A escassez de água é um problema que não ocorre somente em regiões áridas ou semiáridas, mas também em diversos locais ao redor do mundo, visto que onde há recursos hídricos em abundância, o consumo excessivo e o mau uso fazem-se presentes (Hespanhol, 2002). Esses dois comportamentos implicam em consequências como a restrição de acesso a esse recurso por parte da população, impactando o desenvolvimento socioeconômico e a qualidade de vida dos moradores.

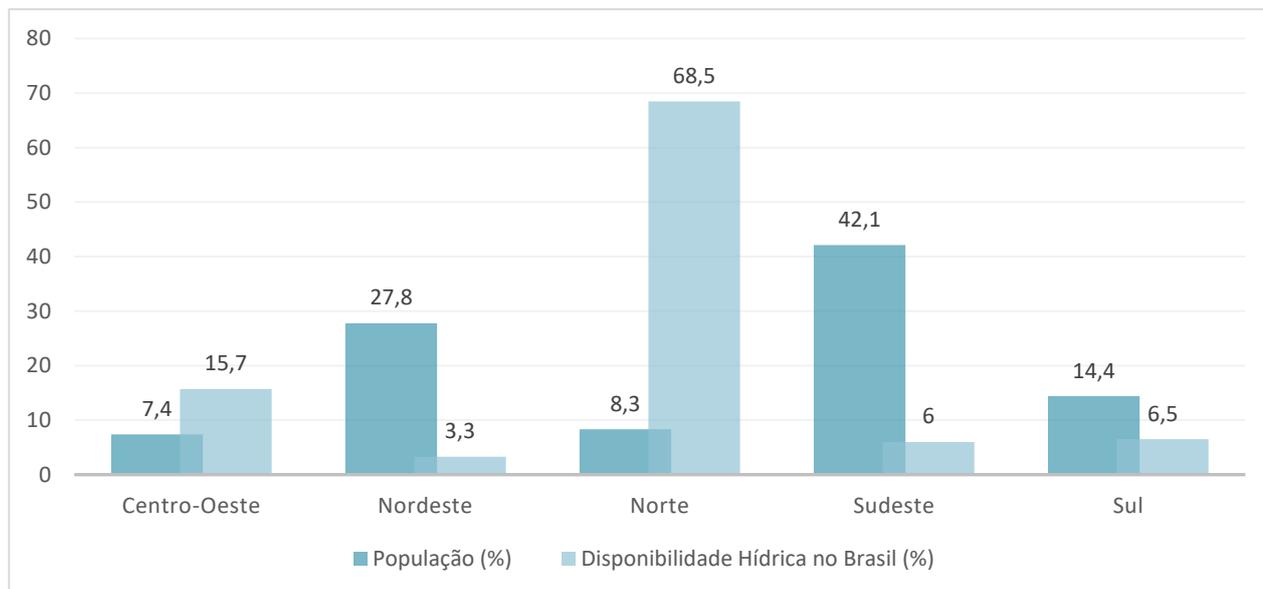
Outro fator impactante para a escassez da água é o crescimento populacional, pois à medida que o consumo de água *per capita* aumenta, as chances de ocorrência de desabastecimento de água também crescem (Detoni, 2008). De acordo com a ONU, somente 0,5% da água do planeta está apta a ser utilizada e a tendência é que ocorra a diminuição dessa quantidade, uma vez que as mudanças climáticas estão afetando esse recurso. Ademais, calcula-se que dois bilhões de pessoas não possuem acesso à água potável e pelo menos metade da população mundial enfrenta escassez severa de água em alguma parte do ano de acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.

Sabe-se que a água é o recurso mais ameaçado, seja pela qualidade que essa apresenta, quanto pela escassez, visto que as constantes agressões ao meio ambiente influenciam diretamente no ciclo dessa, bem como em outros ciclos como do nitrogênio, hidrogênio e carbono, os quais possuem impacto direta e indiretamente no ciclo hidrológico. No entanto, o principal problema é o desperdício e o mau uso dessa, pois impacta diretamente na restrição de recurso, visto que a água é um recurso natural finito e cada vez mais escasso.

A situação brasileira em relação aos recursos hídricos é um pouco mais confortável se comparada a de outros países, no entanto, isso não significa que não seja necessária a economia. O país conta com 12% de água doce mundial disponível, porém apesar de dispor de uma significativa porcentagem, o Brasil sofre com a escassez devido à má distribuição desse recurso no território. De acordo com o Instituto Trata Brasil, 80% da água superficial brasileira está presente na Amazônia, contudo, esse estado apresenta a menor concentração populacional, enquanto o Sudeste, que apresenta a maior concentração, tem somente 6% desse recurso (Figura 1).

Ademais, ainda há o agravante de poluição, principalmente em relação aos metais pesados, os quais são utilizados pelas grandes indústrias como as do ramo de tintas, solventes e celulose. Essas indústrias utilizam metais como mercúrio, cádmio e chumbo que, se não tratados corretamente, contaminam a água dos lagos e rios e posteriormente podem contaminar o lençol freático ao entorno desse local. Em relação ao meio industrial, ainda pode-se citar a água destinada a utilização em caldeiras e ao resfriamento de máquinas térmicas (Hespanhol, 2002), as quais também impactam de forma negativa o meio ambiente, visto o volume que é utilizado para tal fim, além das grandes perdas por evaporação que aumentam esse consumo exacerbado.

Figura 1: Distribuição Populacional x Disponibilidade Hídrica no Brasil



Fonte: Autoria própria baseado em TONELO, 2011.

Além das indústrias, ainda é válido mencionar que os rejeitos domésticos também contribuem para a escassez de água, porém oferecem um risco potencialmente menor em virtude do volume utilizado. Em relação às tarefas domésticas de maior consumo de água, pode-se citar a utilização em descargas, banhos e na lavagem de roupas (Marinovski, 2004). No entanto, o grande problema quando se trata da questão domiciliar são as residências que não apresentam saneamento básico, pois os dejetos dessas residências escoam diretamente para rios e lagos contribuindo para a poluição aquífera e, diminuindo, conseqüentemente, a água potável disponível.

Desse modo, a poluição de água própria para uso, a falta de chuva, o crescimento populacional e a má distribuição dos recursos hídricos levam à necessidade de pensar em alternativas viáveis para diminuir o impacto na demanda desse recurso, assim evitando sua escassez.

2.2 Consumo de água

A água é um recurso natural que apresenta características únicas que a tornam uma substância essencial para a vida humana. Ela é responsável por manter a temperatura corporal, auxilia na absorção de nutrientes oriundos de outros alimentos, previne o aparecimento de doenças renais e ainda facilita a digestão. No entanto, apesar de ser uma substância vital, a disponibilidade de água própria para consumo está sofrendo ameaças, visto que o cuidado com ela não é proporcional a sua importância.

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a água está presente em mais de 70% da superfície global, no entanto, somente 2,5% desse recurso é doce. Desses 2,5% de água doce, apenas 1% está em rios e lagos, o restante encontra-se retido nas geleiras ou armazenadas em águas subterrâneas. Em virtude de a água passível de utilização condizer a uma baixa porcentagem, a disponibilidade de água para alguns fins torna-se preocupante.

A agricultura, em alguns países, sofre limitações a respeito de seu uso; em países africanos a água utilizada na agricultura é oriunda principalmente das chuvas. No caso do Brasil, a agricultura é responsável pelo uso de 70% desse recurso natural, sendo utilizada em grande parte na manutenção da produção agrícola e pecuária. Contudo, ao passo que há uma alta demanda desse recurso, essa área também é responsável por grande parte do sustento nacional, influenciando diretamente na economia do país. Em função disso, faz-se necessário também a redução do consumo de água por parte de outros setores, de modo a minimizar os impactos ambientais, mantendo o desenvolvimento brasileiro.

A indústria, por sua vez, integra esse número em cerca de 22%, enquanto o uso doméstico constitui o restante desse percentual (MEC,2005). Apesar de ser uma baixa porcentagem comparada às outras áreas, o consumo desenfreado, aliado à inserção de novos equipamentos à rotina dos moradores – máquinas de lavar louças e roupas, bem como o aumento da demanda relacionada à lavagem de carros, acarreta em um aumento de consumo residencial desse recurso. Essa demanda relacionada aos veículos pode ser evidenciada a partir do momento que se analisam os dados em relação à frota de veículos em circulação no Brasil, conforme pode ser verificado na Tabela 1, na qual há um aumento significativo de 218% quando comparados o ano de 2006 ao ano de 2022.

Tabela 1: Frota brasileira de automóveis

Veículo	Ano	Quantidade
Automóvel	2022	60.459.290
Automóvel	2017	97.091.956
Automóvel	2012	42.682.111
Automóvel	2006	27.700.608

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE),2022

Em virtude do crescimento de demanda de recursos hídricos devido ao consumo residencial, há a necessidade de investimento em novas tecnologias visando o reaproveitamento desses recursos. A partir disso, entra em debate a ideia de reutilização de água pluvial como meio de diminuição do consumo de água potável, visando não apenas a questão ambiental, mas também a econômica.

2.3 Reuso da água

O reuso de água é um tema estudado há bastante tempo. Em 1980, já haviam citações como em “Water Reclamation and Reuse” de autoria Steve E. Hrundey sobre a inovação e pesquisa relacionada a esse tema. Nesse mesmo artigo, é possível perceber que o

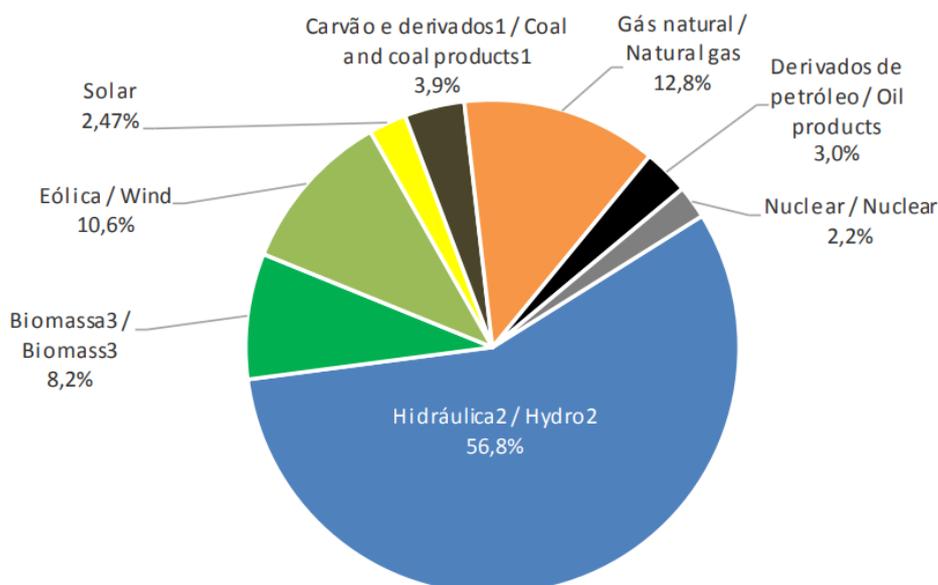
direcionamento principal desse tema na década de 80 se referia ao reaproveitamento em relação à questão industrial, a qual apresentava oportunidade de reuso da água industrial para irrigação, principalmente devido ao crescente custo da água potável.

No entanto, a água está presente em inúmeras atividades cotidianas, desempenhando papel fundamental em algumas atividades, sejam elas no meio industrial e agrônomo, como no resfriamento de sistemas e também na produção de alimentos e de energia, quanto no meio residencial. Tendo em vista a questão energética, pode-se dizer que a água é responsável por constituir a maior parte da matriz energética brasileira: de acordo com o Balanço Energético de Ministério de Minas e Energia, 56,8% da energia do país é oriunda de hidrelétricas, seguido da energia gerada pelo gás natural que representa 12,8%. A distribuição da oferta de energia elétrica por fonte de geração dessa energia é apresentada na Figura 2.

A partir disso, é possível identificar tamanha importância da água para o Brasil, visto que a energia provinda do movimento gerado por essa é quatro vezes maior do que a gerada pelo biocombustível, o qual ocupa o segundo lugar na oferta interna de energia elétrica. Sendo assim, fica evidente que a preservação hídrica é indispensável.

Para contribuir com a preservação hídrica, podem-se citar algumas medidas relacionadas à economia de água. Dentre as mais convencionais estão os consertos de vazamentos na canalização de distribuição e de residências, a redução na pressão das redes e o aumento das tarifas. A respeito das medidas menos convencionais, podem-se citar a dessalinização de águas marinhas, a utilização de vasos com câmara de compostagem e, por fim, o reaproveitamento de água pluvial.

Figura 2: Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte



Fonte: Balanço Energético Nacional (BEM), 2022

O reaproveitamento de água pluvial está em crescimento, uma vez que o reuso de água é uma prática essencial e sustentável que busca maximizar o aproveitamento desse precioso recurso, pois além de visar o ponto de vista econômico, ainda apresenta benefícios como a preservação do meio ambiente e a preservação dos recursos hídricos, ajudando a mitigar os impactos da escassez hídrica, trazendo benefícios econômicos e sociais atrelados a um ciclo mais eficiente e responsável. Alguns países como Japão, Alemanha e Estados Unidos têm realizado esforços para incentivar o aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis. Na Califórnia, por exemplo, são oferecidos financiamentos para construção de um sistema de aproveitamento da água da chuva e na Alemanha a utilização dessa água oriunda do meio pluvial é explorada desde a década de 80 (Marinovski, 2004).

Quando se trata de países que apresentam alta incidência pluviométrica, a vantagem de implementação torna-se ainda maior, como é o caso do Brasil, onde alguns estados apresentam características chuvosas, como o Rio Grande do Sul, no qual a precipitação média anual está entre 1.299 mm e 1.500 mm ao sul e ao norte entre 1.500 mm e 1.800 mm (Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul).

O aproveitamento de águas pluviais apresenta inúmeros benefícios, pois contribui na substituição do uso de água potável em atividades domésticas que não exigem alta qualidade desse recurso, como lavagem de veículos e irrigação de plantas. Esse sistema envolve a captação, condução e armazenamento da água, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos, para a redução do consumo de água tratada em tarefas diárias, bem como para a economia de água gerida pelos órgãos licenciados.

Acrescido a esse fator, pode-se citar que grande parte do consumo de água em uma residência é utilizado justamente para os fins que não necessitam de água potável; de acordo com a Tabela 2, 78% da água é destinada a uso geral externo e 4,9% é destinado à utilização de vasos sanitários.

Tabela 2: Distribuição do Consumo doméstico de água

Uso da água	Perfil do Consumo
Uso externo geral	78%
Piscina	3%
Banheira	0,4%
Chuveiro	3,2%
Bacia Sanitária	4,9%
Lava-pratos	0,6%
Lava-roupas	4,6%
Torneiras em geral	3,2%
Vazamentos	2,1%

Fonte: Barreto, Douglas, 2008

3 Materiais e Métodos

No presente trabalho, foi desenvolvido um estudo de caso a fim de determinar a viabilidade econômica para a construção de um sistema de reaproveitamento de água pluvial em uma residência familiar específica de três integrantes localizada na cidade de Porto Alegre (RS). Essa residência possui 237,4 m² de área construída, sendo o terreno de 700 m². A casa é equipada com três quartos, três banheiros, uma sala de estar, uma sala de jantar, uma cozinha e um escritório. A sala de jantar é integrada com a sala de estar através de um pátio interno e a sala de estar, por sua vez, possui saída para a área externa da residência. Essa área externa é composta por varanda, jardins e garagem. A garagem foi construída para comportar um caminhão e dois carros, possuindo 70,29 m².

Para este trabalho, foi realizado o estudo de área de contribuição dessa residência a fim de reaproveitar a água pluvial que escoar nos telhados. Utilizou-se o método de pesquisa descritiva, análise do local de implementação e dos fatores influenciadores nas condições de aproveitamento da água pluvial de modo a evidenciar a relevância de um sistema de captação, bem como estimar o tempo de retorno do valor investido no projeto.

Para tais mapeamentos, foi utilizado, como base de cálculo de dimensionamento do volume de água captada, uma planta de residência situada em Porto Alegre no estado do Rio Grande do Sul; considerou-se que essa residência é habitada por 3 indivíduos adultos. A água captada é destinada somente a fins não-potáveis, dessa forma, não necessita passar por processos de tratamento químico, pois não será consumida nem utilizada para tais fins que necessitem de água tratada.

Em relação aos dados pluviométricos, utilizou-se o banco de dados fornecido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) relativo aos anos de 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022 para se obter a média mensal de mm de chuva dos respectivos anos. Ademais, realizou-se uma revisão bibliográfica de modo a mapear as principais fontes de consumo de água não-potável em residências, bem como verificar a situação dos recursos disponíveis.

A respeito do consumo de água estipulado para a residência, utilizou-se dados de própria autoria com base em amostragem cotidiana. Os gastos com o projeto foram determinados com base nos preços de mercado de materiais utilizados, bem como estimados de acordo com a necessidade do projeto. Ademais, calculou-se o espaço necessário para instalação do sistema de cisternas baseado nas dimensões do modelo de cisterna escolhido.

3.1 Dimensionamento da Área de Captação

A fim de viabilizar a elaboração de um sistema de captação de água, é essencial realizar uma análise minuciosa do processo de captação. Nesse contexto, é importante examinar detalhadamente o projeto visando o desenvolvimento de um sistema otimizado. A partir dos dados obtidos na planta arquitetônica da residência, foi constatada uma área total de cobertura de 237,4 m². Ademais, nessa residência há uma garagem para dois carros e um caminhão, a qual apresenta 70,29 m² e também pode ser utilizada como área de captação.

Lançando mão dessas informações, foi possível determinar a área contribuinte, isto é, a superfície na qual a água da chuva é coletada para posteriormente ser armazenada. Essa área é um parâmetro importante no dimensionamento do sistema de captação de água pluvial,

pois determina a quantidade de água que pode ser armazenada e utilizada para fins não potáveis. Nesse trabalho, utilizou-se como área contribuinte o telhado da residência e também o da garagem. Para o processo de dimensionamento dessas superfícies, foram empregadas equações e fórmulas específicas, seguindo as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 1084:1989. A seguir, apresenta-se a Equação 3.1, que foi utilizada nesse contexto:

$$A_x = \left(a + \frac{h}{2}\right) \cdot b \quad (3.1)$$

Onde:

A_x = área de contribuição (m^2), sendo “x” o índice da respectiva área.

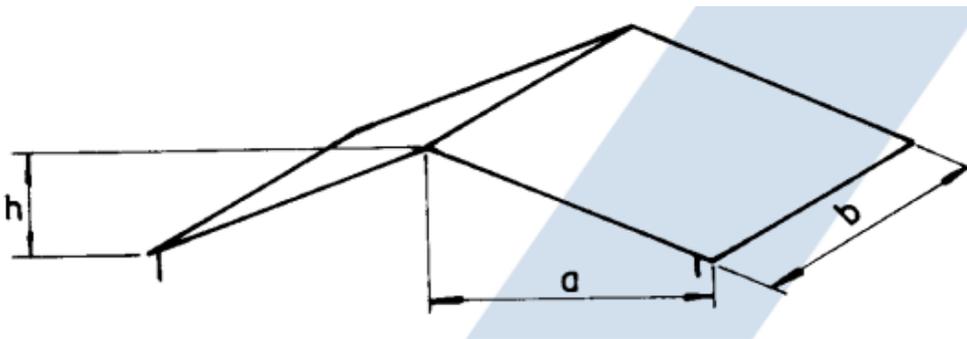
a = largura do telhado (m);

b = comprimento do telhado (m);

h = altura do telhado (m).

Essas medidas estão descritas visualmente na Figura 3:

Figura 3: Área de Contribuição de uma Superfície Inclinada

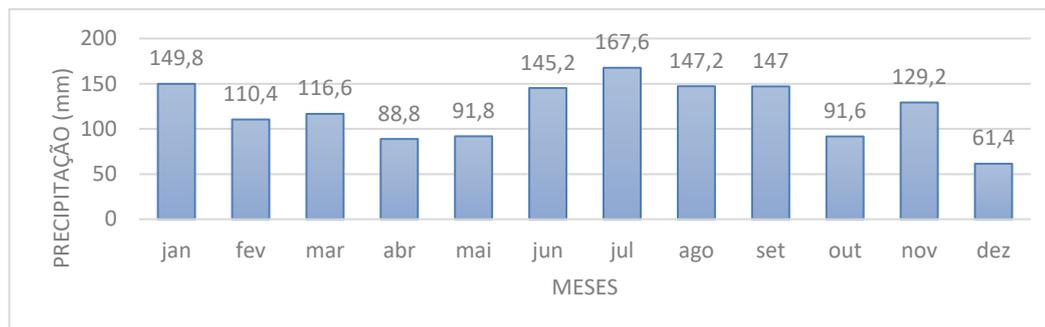


Fonte: NBR 1084:1989, dezembro 1989

3.2 Índice pluviométrico mensal da cidade

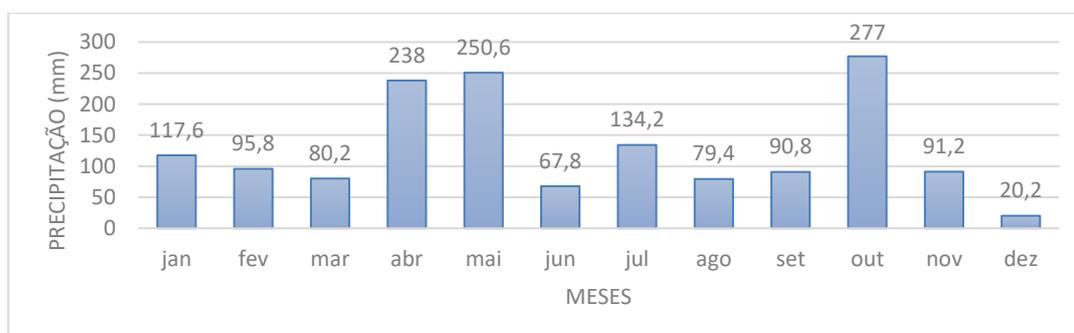
Com o objetivo de obtenção do índice de precipitação pluviométrica da região de instalação do projeto a fim de determinar a quantidade de água de origem pluvial disponível para a utilização no projeto de cisternas, realizou-se o tratamento dos dados históricos das medições realizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET ao longo dos anos de 2018 a 2022. As informações utilizadas são referentes à região de Porto Alegre e estão dispostas nas figuras a seguir (Figuras 4, 5, 6, 7 e 8):

Figura 4: Precipitações referentes ao ano de 2018



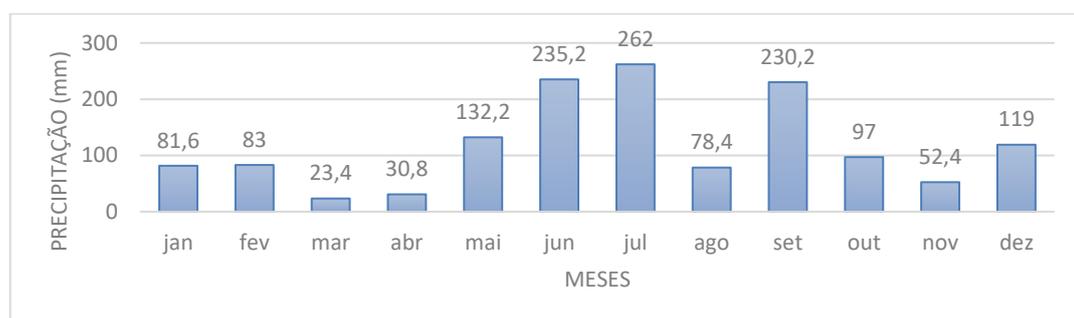
Fonte: Autoria própria, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Figura 5: Precipitações referentes ao ano de 2019



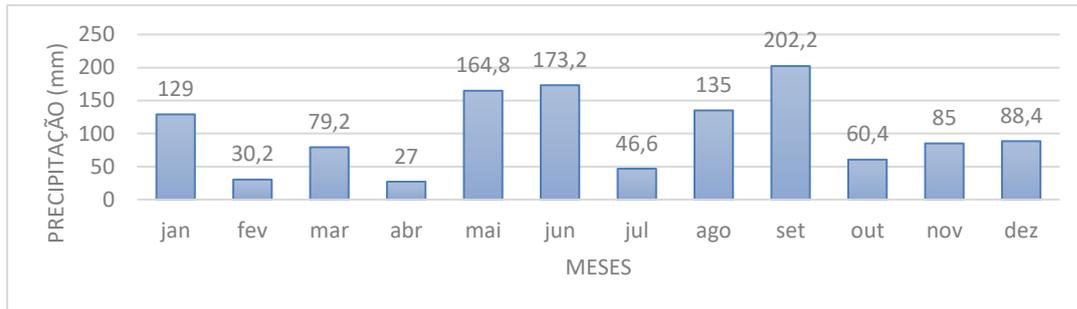
Fonte: Autoria própria, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Figura 6: Precipitações referentes ao ano de 2020



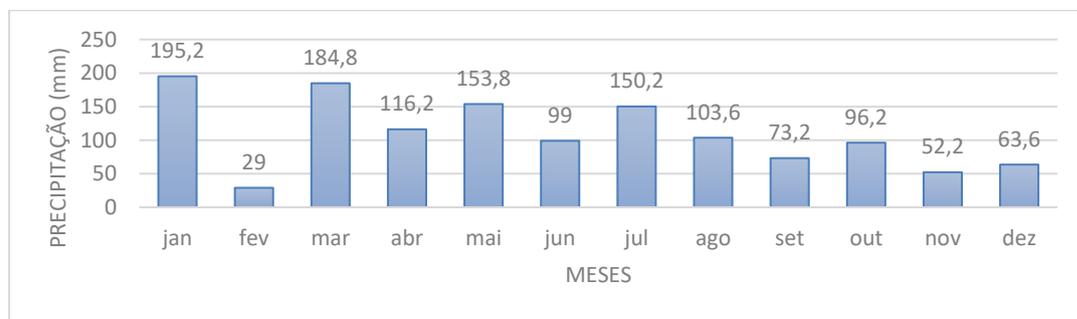
Fonte: Autoria própria, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Figura 7: Precipitações referentes ao ano de 2021



Fonte: Autoria própria, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Figura 8: Precipitações referentes ao ano de 2022



Fonte: Autoria própria, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Após a obtenção dos dados de precipitações mensais ao longo dos anos citados, realizou-se a média aritmética mensal utilizando os dados apresentados acima através da equação 3.2 para que fosse, então, possível determinar a precipitação média geral. Essa precipitação geral foi obtida através da média das médias mensais calculadas.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad (3.2)$$

Onde:

\bar{X} = Média Aritmética;

$\sum x_i$ = Somatório dos termos numéricos;

n = Número total de termos.

3.3 Coeficiente de Rugosidade

A residência familiar foi construída com telhas esmaltadas devido à durabilidade ser superior aos outros modelos, uma vez que essas telhas são resistentes a intempéries, como chuva, sol, vento e variações de temperatura, o que reduz a necessidade de substituição frequente. Em virtude disso, foi necessário realizar o cálculo relacionado à retenção do

escoamento da água a fim de determinar a quantidade de água que escoo pela superfície do telhado sem ser retida, para tanto utilizou-se o coeficiente de rugosidade.

O coeficiente de rugosidade de telhas é uma medida que indica a rugosidade da superfície das telhas utilizadas em coberturas. Esse coeficiente representa a resistência ao escoamento sobre a superfície das telhas e cada material possui um coeficiente de rugosidade a ele relacionado, conforme descrito na Tabela 3:

Tabela 3: Coeficientes de Runoff

Materiais	Coeficiente de Runoff
Telhas Cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas Esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas Corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento Amianto	0,8 a 0,9
Plástico	0,9 a 0,95

Fonte: Plínio Tomaz,2010

Sendo assim, conforme a Tabela 3, o coeficiente de Runoff adotado para o projeto dessa residência é 0,95.

3.4 Volume médio útil mensal

Para a determinação do volume médio útil mensal, utilizaram-se os índices pluviométricos mensais obtidos através da média dos anos de 2018 a 2022, junto ao coeficiente de Runoff e da área de contribuição calculada no item 3.1. Esses quatro tópicos estão relacionados através da equação 3.3:

$$V = P \cdot A \cdot C \quad (3.3)$$

Onde:

V = Volume (L);

P = Precipitação (mm);

A = Área de Contribuição (m²);

C = Coeficiente de Runoff.

Ao realizar-se a soma do volume médio mensal apresentado, obtém-se o volume médio anual não retido pelas telhas dessa construção. Além disso, foi possível prever qual o volume que, em média, será recolhido mensalmente, independentemente do mês de interesse; esse valor foi obtido ao realizar-se uma média aritmética dos meses de interesse.

No entanto, além da rugosidade das telhas, há alguns outros elementos que contribuem para o não escoamento completo, como o vento, que interfere também no escoamento adequado, visto que é capaz de alterar o percurso da água até as canaletas. Conforme mencionado por Maestri (2003), estima-se uma perda de 20% desse volume. Portanto, o volume médio útil mensal, ou seja, aquele que realmente pode ser utilizado para consumo, é calculado usando a Equação 3.4

$$\bar{V}_{m_{\text{útil}}} = \bar{V}_m \cdot (1 - 0,20) \quad (3.4)$$

Onde,

$\bar{V}_{m_{\text{útil}}}$ = Volume médio útil mensal (L);

\bar{V}_m = Média do volume médio mensal (L).

3.5 Consumo de água mensal

A fim de determinar o tempo de retorno do projeto, foi necessário estimar o consumo de água mensal dessa residência. Para tanto, determinou-se, de modo observacional, o consumo de água utilizado nas tarefas diárias para essa família de três integrantes. Essas tarefas estão relacionadas a atividades que não requerem uso de água potável, uma vez que a residência continuará utilizando água tratada para certas atividades específicas. A água proveniente do sistema de captação será utilizada para fins que não exigem água tratada, tais como descargas de vasos sanitários, lavagem de carros e irrigação do jardim.

Dessa forma, realizou-se o mapeamento do uso das descargas, período de lavagem do jardim, bem como a frequência da lavagem dos automóveis dos moradores da residência, os quais estão evidenciados na Tabela 4.

Tabela 4: Frequências de uso relacionado às atividades que utilizam água de reuso

Atividade	Frequência
Uso da descarga	35 vezes por dia
Jardim	20 dias por mês (45 minutos a cada uso)
Lavagem dos automóveis	8 vezes ao mês (30 minutos a cada uso)

3.5.1 Volume mensal utilizado em vasos sanitários

A partir do mapeamento realizado na Tabela 4, foi possível determinar o volume em litros utilizado mensalmente para cada tarefa. De acordo com o Departamento Municipal de Água e Esgoto de Caldas Novas (DEMAE), a cada descarga consome-se em média 6 litros de água em privadas fabricadas posteriormente a 2001, enquanto em privadas mais antigas, esse valor

gira em torno de 10 litros. Considerando que essa casa possui tanto privadas de fabricação anterior a 2001, quanto posterior a esse ano, utilizou-se o valor de 8 litros de água como consumo desses vasos sanitários.

Para a determinação do volume mensal utilizado em vasos sanitários, utilizou-se a Equação 3.5:

$$C_V = N_{ac} \cdot N_{dias} \cdot V_{descarga} \quad (3.5)$$

Na qual:

C_V = Consumo dos vasos sanitários (L);

N_{ac} = Número de acionamentos do vaso sanitário por dia;

N_{dias} = Número de dias em um mês;

$V_{descarga}$ = Volume consumido a cada descarga (L).

3.5.2 Volume mensal utilizado nos jardins e lavagens de carros

De acordo com o Departamento Municipal de Água e Esgoto de Caldas Novas (DEMAE), a irrigação contínua de um jardim durante 10 minutos utilizando uma mangueira consome cerca de 186 litros de água, ou seja, o consumo dessa atividade é de 18,6 litros a cada minuto de uso. Dessa forma, foi possível determinar o volume de água consumido na residência utilizando o mapeamento realizado na Tabela 4, o qual considera que esse jardim é irrigado com uma frequência de 20 vezes ao mês, sendo cada utilização de 45 minutos.

Em posse dessas informações, calculou-se, de acordo com a Equação 3.6, o consumo de água mensal.

$$C_j = N_d \cdot P \cdot V_{min} \quad (3.6)$$

Onde:

C_j = Consumo da irrigação do jardim (L);

N_d = Número de dias em que se utiliza a água para a atividade;

P = Período de utilização (min);

V_{min} = Volume utilizado por minuto (L).

De forma análoga, calculou-se a quantidade utilizada para a lavagem dos automóveis da família conforme Equação 3.7, sabendo-se que, de acordo com o DEMA, consome 560 litros em 30 minutos de uso com uma mangueira aberta em meia volta.

$$C_c = N_d \cdot P \cdot V_{min} \quad (3.7)$$

Onde:

C_c = Consumo utilizado na lavagem dos carros (L);

N_d = Número de dias em que se utiliza a água para a atividade;

P = Período de utilização (min);

V_{min} = Volume utilizado por minuto (L).

4 Resultados

A partir da metodologia apresentada, realizou-se os cálculos a fim de determinar os valores de cada item apresentado, bem como, prosseguiu-se para a determinação do principal objetivo do presente trabalho: estimar o tempo de retorno do custo para instalação do projeto desenvolvido.

4.1 Cálculo da Área de Captação

4.1.1 Área de contribuição da residência

Para o cálculo referente à área de contribuição residencial, atribuiu-se 12 metros para a largura do telhado, 20 metros para o comprimento e 1,72m para a altura da inclinação. Dessa forma a partir das definições e da equação apresentada no item 3.1, tem-se:

a = largura do telhado (m) = 12m

b = comprimento do telhado (m) = 20m

h = altura do telhado (m) = 1,72m

Realizando a substituição dos valores na Equação 3.1, encontra-se a área de contribuição da residência:

$$A_1 = \left(a + \frac{h}{2}\right) \cdot b = 257,20 \text{ m}^2 \quad (4.1)$$

4.1.2 Área de contribuição da garagem da residência

Após a determinação da área de contribuição da residência, determinou-se a área relativa à captação da garagem, utilizando também a equação 3.1. A garagem da residência apresenta largura do telhado de 8 metros, comprimento de 9 metros e altura de inclinação de 1,72 metros. Dessa forma:

a = largura do telhado (m) = 8m

b = comprimento do telhado (m) = 9m

h = altura do telhado (m) = 1,72m

Realizando a substituição dos valores na Equação 3.1 conforme realizado no item anterior, tem-se:

$$A_2 = \left(a + \frac{h}{2}\right) \cdot b = \left(8 + \frac{1,72}{2}\right) \cdot 9 = 79,74 \text{ m}^2 \quad (4.2)$$

4.1.3 Área total de contribuição

A fim de obtenção da área total do terreno somou-se a área de contribuição obtida no item 4.1.1 e 4.1.2. Sendo assim, obteve-se uma área total de 336,94 m² conforme Equação 4.3.

$$A_T = A_1 + A_2 = 257,20 + 79,74 = 336,94 \text{ m}^2 \quad (4.3)$$

4.2 Cálculo do Índice pluviométrico geral da cidade

Procedeu-se ao cálculo da média mensal ao longo de 5 anos através da equação 3.2. Os resultados obtidos foram registrados na Tabela 5.

Tabela 5: Média mensal considerando os anos de 2018 a 2022

	2018	2019	2020	2021	2022	Média mensal (mm):
Janeiro	149,80	117,60	81,60	129,00	195,20	134,64
Fevereiro	110,40	95,80	83,00	30,20	29,00	69,68
Março	116,60	80,20	23,40	79,20	184,80	96,84
Abril	88,80	238,00	30,80	27,00	116,20	100,16
Maio	91,80	250,60	132,20	164,80	153,80	158,64
Junho	145,20	67,80	235,20	173,20	99,00	144,08
Julho	167,60	134,20	262,00	46,60	150,20	152,12
Agosto	147,20	79,40	78,40	135,00	103,60	108,72
Setembro	147,00	90,80	230,20	202,20	73,20	148,68
Outubro	91,60	277,00	97,00	60,40	96,20	124,44
Novembro	129,20	91,20	52,40	85,00	52,20	82,00
Dezembro	61,40	20,20	119,00	88,40	63,60	70,52

A partir dessas médias mensais, foi possível calcular o índice pluviométrico geral, utilizando também a equação 3.2 (Tabela 6).

Tabela 6: Média dos anos e média das médias mensais obtidas na Tabela 5.

Média de 2018 (mm):	Média de 2019 (mm):	Média de 2020 (mm):	Média de 2021 (mm):	Média de 2022 (mm):	Média das médias mensais (mm):
120,55	128,57	118,77	101,75	109,75	115,88

O resultado para o índice pluviométrico geral mensal da cidade de Porto Alegre, de acordo com o disposto na tabela acima, é de 115,88 mm. Conforme observa-se, o índice pluviométrico geral, obtido através da média das médias mensais dos anos de 2018 a 2022, representa um número representativo ao se comparar com a média dos anos apresentados, dessa forma, é possível afirmar que esse valor é uma boa estimativa para representar o índice pluviométrico. Sendo assim, considera-se que, em média, a cada mês chove 115,88 mm em Porto Alegre.

4.3 Cálculo do volume médio útil mensal

A partir dos dados apresentados no item 3.4, realizou-se o cálculo do volume médio mensal para posteriormente determinar o volume médio útil mensal, dessa forma, realizou-se o cálculo conforme equação 3.3. Os resultados desse cálculo estão dispostos na Tabela 7, a seguir:

Tabela 7: Volume médio mensal

Meses:	Precipitação Média (mm):	Área de contribuição (m ²):	Coefficiente de Runoff:	Volume Médio mensal (L):
Janeiro	134,64	336,94	0,95	43097,32
Fevereiro	69,68	336,94	0,95	22304,08
Março	96,84	336,94	0,95	30997,81
Abril	100,16	336,94	0,95	32060,51
Maiο	158,64	336,94	0,95	50779,55
Junho	144,08	336,94	0,95	46119,00
Julho	152,12	336,94	0,95	48692,55
Agosto	108,72	336,94	0,95	34800,51

Meses:	Precipitação Média (mm):	Área de contribuição (m ²):	Coefficiente de Runoff:	Volume Médio mensal (L):
Setembro	148,68	336,94	0,95	47591,43
Outubro	124,44	336,94	0,95	39832,37
Novembro	82,00	336,94	0,95	26247,63
Dezembro	70,52	336,94	0,95	22572,96

Após a determinação do volume médio mensal apresentado na Tabela 7, calculou-se o volume médio anual não retido pelas telhas dessa construção, o qual corresponde a 445.095,72 litros e é obtido através da soma da coluna Volume médio mensal (L). Além disso, previu-se o volume que em média será recolhido mensalmente independentemente do mês de interesse através da média aritmética dos meses citados na Tabela 7, o qual resultou em 37.091,31 litros.

Realizando a consideração de perda de 20% desse volume, conforme comentado no item 3.4, obteve-se um total de 29.673,05 L para o volume médio útil mensal, conforme equação 3.4.

$$\bar{V}_{m_{\text{útil}}} = \bar{V}_m \cdot (1 - 0,20) = 37.091,31 \cdot 0,80 = 29673,05 \text{ L} = 29,67 \text{ m}^3 \quad (4.4)$$

Onde,

$$\bar{V}_{m_{\text{útil}}} = \text{Volume médio útil mensal (L);}$$

$$\bar{V}_m = \text{Média do Volume médio mensal (L).}$$

4.4 Estimativa do consumo de água mensal

Levando em conta os dados adquiridos no capítulo de Materiais e Métodos, realizou-se a determinação da quantia de água utilizada mensalmente na residência. Foram determinados os consumos relacionados aos vasos sanitários, lavagem de veículos da residência e irrigação do jardim. Dessa forma, obteve-se:

4.4.1 Volume mensal utilizado em vasos sanitários

A estimativa do consumo de água em vasos sanitários foi obtida através da equação 3.5 utilizando o dado apresentado na Tabela 4 e as considerações realizadas no item 3.5.1. Dessa forma, o consumo de água destinada a esse fim é de 8.400 litros por mês.

$$C_V = N_{ac} \cdot N_{dias} \cdot V_{descarga} = 35 \cdot 30 \cdot 8 = 8400 \text{ L} = 8,4 \text{ m}^3 \quad (4.5)$$

4.4.2 Volume mensal utilizado nos jardins e lavagens de carros

Em posse das informações do item 3.5.2, calculou-se de acordo com a equação 3.6 o consumo de água mensal relacionado a irrigação do jardim, obtendo-se o valor de 16.740 litros de água consumida.

$$C_j = N_d \cdot P \cdot V_{\min} = 20 \cdot 45 \cdot 18,6 = 16740 \text{ L} = 16,74 \text{ m}^3 \quad (4.6)$$

Após a determinação do volume de água consumido na irrigação do jardim residencial, calculou-se a quantidade utilizada para a lavagem dos automóveis da família utilizando a equação 3.7, obtendo-se um volume de 4.480 litros de água.

$$C_c = N_d \cdot P \cdot V_{\min} = 8 \cdot 30 \cdot \frac{(560)}{30} = 4480 \text{ L} = 4,48 \text{ m}^3 \quad (4.7)$$

Portanto, o volume mensal total utilizado em tarefas que não necessitam de água potável na residência de interesse é de 29.620 litros. Esse volume foi determinado através da soma dos valores calculados nas equações acima.

4.5 Investimento no projeto

Com a finalidade de calcular o tempo de retorno do investimento na construção do sistema de cisternas, foi realizado um levantamento dos custos necessários para a sua implementação. Para atingir o menor custo possível, foram realizados três orçamentos distintos, os quais estão dispostos na Tabela 8.

Tabela 8: Orçamento de materiais necessários para a construção do sistema de cisterna residencial

Material:	Orçamento A:	Orçamento B:	Orçamento C:
Calhas	R\$21,63/m	R\$34,62/m	R\$38,69/m
Tubulações PVC 100mm	R\$16,50/m	R\$19,34/m	R\$19,75/m
Bomba periférica	R\$180,00	R\$225,44	R\$215,90
Tela para calhas	R\$21,60/m	R\$20,40/m	R\$21,99/m
Caixa de água (5000L)	R\$2.586,00	R\$3.122,00	R\$2.900,00

A partir do orçamento de menor custo, isto é, orçamento A foi possível obter o custo total do projeto. Essa estimativa é apresentada na Tabela 9 e foi realizada com base no volume esperado de chuva, volume da cisterna e na área disponível dessa residência para instalação do sistema (dimensões do telhado e distância entre a cisterna e o telhado).

Tabela 9: Orçamento de materiais necessários para a construção do sistema de cisterna

Material:	Orçamento A:	Quantidade Necessária:	Total:
Calhas	R\$ 21,63/m	62,9 m	R\$ 1.361,34
Tubulações PVC 100mm	R\$ 16,50/m	40,0 m	R\$ 660,00
Bomba periférica	R\$ 180,00	1 unidade	R\$ 180,00
Tela para calhas	R\$ 21,60/m	62,9 m	R\$ 1.359,24
Caixa de água 5000L	R\$ 2.586,00	1 unidade	R\$ 2.586,00

O cálculo para o dimensionamento da caixa de água foi realizado a partir do método prático inglês, um método empírico apresentado na NBR 15527, o qual está explicitado na equação 4.8.

$$V = 0,05 \cdot P \cdot A \quad (4.8)$$

Onde,

P = precipitação média geral (mm);

A = área de coleta em projeção (m²);

V = volume de água da cisterna (L).

Utilizou-se a precipitação média obtida no item 4.2, a qual é de 115,88 mm e área de projeto é de 336,94 m², conforme citado no item 4.1.3. Sendo assim, obteve-se um volume de 1.952,17 litros.

Para o projeto, optou-se por uma caixa de água com capacidade de 5.000 litros, pois esse volume é o que atende às necessidades do sistema, considerando ainda uma margem de segurança. Nesse sentido, é importante ressaltar que na região onde se encontra a residência, conforme já comentado, não há grandes períodos de chuvas intensas, bem como essa região não enfrenta longos períodos de estiagem. Sendo assim, não é necessária a utilização de reservatórios de grande volume a fim de propiciar o armazenamento por longos períodos. Ademais, determinou-se que não havia a necessidade de implementação de um reservatório de maior capacidade, uma vez que isso implicaria em um maior custo na implementação do projeto.

4.6 Espaço físico necessário para instalação

Em relação à instalação do projeto de cisternas, foi necessário calcular o espaço físico que a cisterna escolhida ocuparia na residência. Para tanto, verificou-se o diâmetro da caixa de água adquirida (2,45m) e calculou-se a área considerando que a caixa de água seria cercada em formato quadrangular. Desse modo, a área a ser ocupada pela cisterna é de 6m², conforme equação abaixo:

$$A=D^2 \quad (4.9)$$

Onde:

A = área ocupada pela cisterna cercada

D = diâmetro da cisterna

Sendo assim, obtém-se:

$$A=(2,45)^2=6 \text{ m}^2 \quad (4.10)$$

4.7 Tempo de retorno do investimento

Por fim, procedeu-se com a análise do tempo de retorno do valor investido no projeto a fim de se determinar o tempo no qual a família receberia o retorno do valor utilizado na construção do sistema de cisternas. O tempo de retorno foi obtido através da consideração do volume estimado de consumo mensal pela família nas atividades que não requerem uso de água potável, isto é, em descargas, na irrigação do jardim e na lavagem dos automóveis.

Ademais, além do consumo mensal de 29.620 litros (29,62m³), o qual foi determinado no item 4.3, utilizou-se para o cálculo de tempo de retorno, o preço do metro cúbico cobrado pela Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE). O órgão citado utiliza como tarifa o valor de R\$4,63 para a água residencial.

Dessa forma, obteve-se um tempo de retorno de 3 anos e 9 meses, o qual pode ser evidenciado através do seguinte cálculo:

$$t = \frac{C_{proj}}{E_{mensal}} = \frac{6.146,59}{137,14} = 44,8 \text{ meses} \quad (4.11)$$

Onde:

t = tempo de retorno;

C_{proj} = Custo do projeto;

E_{mensal} = Economia mensal.

O resultado obtido em relação ao tempo de retorno foi satisfatório quando comparado aos resultados obtidos na literatura, o tempo de retorno para projetos similares é de aproximadamente 6 anos (Rodrigues, 2016 e Tomaz, 2010). Dessa forma, conclui-se que

devido à cidade de Porto Alegre possuir consideráveis índices pluviométricos e a área de captação ser ampla, o projeto desenvolvido é bastante promissor.

5 Estudo de Caso

Devido ao excelente resultado em relação ao tempo de retorno da projeção e estudo para a implementação de um sistema de cisternas visando o setor residencial, conforme citado no item 4.7, foi conduzida uma análise para um estudo de caso associado a uma lavagem automotiva, a qual conta com um estacionamento integrado. Esse estudo de viabilidade utilizou a cidade de Porto Alegre como referência para a instalação desse comércio, desse modo, utilizou-se os mesmos índices pluviométricos apresentados nos itens 3.2 e 4.2.

Para a área de contribuição da lavagem automotiva foram considerados os telhados do estacionamento integrado a essa, bem como o telhado do prédio administrativo, totalizando uma área de 3.070,10 m². O telhado do local foi construído em telhas esmaltadas, as quais apresentam coeficiente de rugosidade igual a 0,95. Sendo assim, através do índice pluviométrico, área de contribuição, rugosidade e coeficiente de perda, calculou-se o volume médio mensal útil conforme item 3.4, o qual resultou em um volume de 270.372,25 litros (270,37 m³), conforme equação 3.3. Para o cálculo de volume médio mensal útil citado, foi considerado uma perda de 20% do volume de água total em virtude de o escoamento ser influenciado pelo vento e também devido à ocorrência de evaporações durante o percurso de escoamento.

Em relação ao consumo de água, estimou-se o consumo de água mensal com base em um fluxo de lavagem de 26 automóveis por dia. Cada lavagem profissional possui duração de 25 minutos, de acordo com o DEMAE consome-se 560 litros a cada 30 minutos, desse modo, é utilizado 266.933,3 litros por mês, considerando que a lavagem permanece em funcionamento durante 22 dias a cada mês, conforme evidenciado na seguinte equação:

$$C_c = N_{uso} \cdot P \cdot V_{min} = 572 \cdot 25 \cdot 18,67 = 266933,33 \text{ L} = 266,93 \text{ m}^3 \quad (5.1)$$

Onde:

C_c = Consumo utilizado na lavagem dos carros (L);

N_{uso} = Número de utilizações mensais;

P = Período de utilização (min);

V_{min} = Volume utilizado por minuto (L).

Após a determinação do volume consumido durante a lavagem dos automóveis e do volume gerado pela captação de água do telhado do estacionamento, determinou-se os gastos relacionados ao projeto, considerando o volume do reservatório de 17.787,65 L, calculado também pelo sistema inglês conforme apresentado na equação 4.8. Dessa forma, foi adotado um reservatório de 30.000 litros a fim de contemplar um possível aumento da área de contribuição. Os gastos relacionados ao projeto para a lavagem automotiva estão evidenciados na Tabela 10.

Tabela 10: Orçamento de materiais necessários para a construção do sistema de cisterna destinado a lavagem automotiva

Material:	Orçamento:	Quantidade Necessária:	Total:
Calhas	R\$ 21,63/m	297,79 m	R\$ 6.442,23
Tubulações PVC 100mm	R\$ 16,50/m	100	R\$ 1.650,00
Bomba periférica	R\$ 389,00	1 unidade	R\$ 389,00
Tela para calhas	R\$ 21,60/m	297,79 m	R\$ 6.432,31
Caixa de água 30.000L	R\$ 2.586,00	1 unidade	R\$ 23.126,61

Desse modo, de acordo com a Tabela 10, o custo total do sistema de cisternas projetado para uma lavagem automotiva integrada a um estacionamento é de R\$38.040,15, considerando um reservatório de 30.000 litros. Além do custo total do projeto, foi realizada a previsão do espaço físico necessário para instalação da cisterna. Para o cálculo relacionado ao espaço necessário para instalação, considerou-se o diâmetro da caixa de água sendo 3,2 m, totalizando uma área de 10,24m².

Ademais, após a previsão do espaço físico necessário para instalação, calculou-se a economia obtida com a instalação do sistema. Dessa forma, conforme citado são consumidos 266,93m³ e, de acordo com o DMAE, para o metro cúbico de água comercial, a tarifa de consumo é de R\$5,27, sendo assim, a economia mensal de um comércio após instalação desse sistema é de R\$1.406,74, conforme demonstrado na equação

$$E_{\text{mensal}} = P_{\text{tarifa}} \cdot C_{\text{total}} \quad (5.2)$$

Onde:

C_{total} = Consumo total utilizado na lavagem dos carros (L);

E_{mensal} = Economia mensal;

P_{tarifa} = Preço da tarifa.

Por fim, determinou-se o tempo de retorno do valor investido para a construção desse estudo de caso, para tanto, foi aplicada a equação 4.11, baseando-se em uma economia de 266,93m³ de água. Desse modo, obteve-se um tempo de retorno de 2 anos e 3 meses, conforme disposto na equação abaixo.

$$t = \frac{C_{\text{proj}}}{E_{\text{mensal}}} = \frac{38.040,15}{1.406,74} = 27,04 \text{ meses} \quad (5.3)$$

Onde:

t = tempo de retorno;

C_{proj} = Custo do projeto;

E_{mensal} = Economia mensal.

6 Conclusões e Trabalhos Futuros

6.1 Conclusões gerais

A água é um recurso vital que sustenta a vida em nosso planeta e desempenha um papel fundamental em todos os aspectos de nossa sociedade, desde a agricultura até a indústria e o bem-estar humano. No entanto, a crescente escassez de água representa um desafio que exige ação imediata e colaborativa. Sendo assim, é necessário o desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitem a obtenção desse recurso natural oriundo de outras fontes.

Levando em consideração a importância da água, bem como o impacto de sua escassez nas áreas ambientais e econômicas, o presente trabalho desenvolveu e analisou a viabilidade da construção de um sistema de aproveitamento da água da pluvial. No decorrer desse trabalho, foi possível constatar a viabilidade desse projeto, visto que os fatores relacionados a uma elevada área de captação do telhado, tanto da garagem, quanto da residência, permitiram o recolhimento mensal de um volume considerável de água.

No entanto, não apenas a excelente área de captação contribuiu para que esse retorno fosse positivo, mas também ao fator de localização, visto que Porto Alegre conta com chuvas periódicas e não enfrenta longos períodos de escassez. Em virtude desses fatores, a cidade apresentou bons índices pluviométricos, totalizando um índice pluviométrico geral mensal de 115,88mm.

Em relação aos custos do projeto, as condições relacionadas à cidade de interesse de instalação favoreceram para que um orçamento de menor custo fosse possível durante o desenvolvimento do projeto, visto que a família não necessitava da disposição de um grande volume para armazenamento devido ao fato de que a cidade não enfrenta longos períodos de escassez. Dessa forma, o custo total do projeto desenvolvido foi de R\$ 6.146,59, o qual é considerável e se enquadra próximos aos custos previstos em projetos desenvolvidos na literatura (Perez,2016 e Leal,2019).

Unindo, portanto, o baixo custo para desenvolvimento do projeto com uma grande área de captação e um considerável índice pluviométrico geral mensal, os objetivos do trabalho foram alcançados com resultados satisfatórios, implicando em um curto prazo de retorno dos valores utilizados no desenvolvimento do projeto, sendo esse de 3 anos e 9 meses. Ademais, o espaço físico utilizado é relativamente pequeno, visto que a cisterna projetada ocupa cerca de 6 metros quadrados, sendo viável para instalação até mesmo em terrenos menores.

Em virtude dos resultados positivos relacionados ao trabalho desenvolvido para o setor residencial, foi possível projetar a aplicação desse sistema de cisternas para coleta de água pluvial para uma lavagem de carros integrada a um estacionamento. Nesse estudo de caso, evidenciou-se também que o projeto desenvolvido é promissor, visto que o custo do metro cúbico de água para esse setor é maior do que a tarifa cobrada sobre o metro cúbico residencial. Sendo assim, mesmo com a necessidade de um reservatório de maior capacidade, o tempo de retorno é ainda menor, totalizando um tempo de retorno do investimento de 2 anos e 3 meses para um custo de projeto de R\$38.040,15.

Por fim, é importante salientar que o trabalho apresentado não apenas é benéfico em relação a economia financeira discutida, mas também é uma proposta que proporciona a conscientização ambiental em virtude de permitir a economia de água potável a partir da substituição dessa em atividades cotidianas que não necessitem de água tratada. Desse modo, pode-se dizer que o presente trabalho aplica conceitos da engenharia em prol da conservação do meio ambiente visando proporcionar um futuro melhor às próximas gerações.

6.2 Trabalhos futuros

Após a elaboração do presente trabalho, seguem algumas sugestões a respeito de trabalhos futuros:

- a. Preparar uma cartilha para divulgação da viabilidade do projeto a fim de disseminar o conhecimento para a vizinhança ao entorno da região onde foi desenvolvido o estudo de caso.
- b. Aplicar o estudo desenvolvido em diferentes cidades e condições climáticas
- c. Elaborar estudo referente ao tratamento de água para possível utilização de água potável em toda a extensão residencial.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527:água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos, 2007.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais, 1989.

Água no mundo — Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo>>. Acesso em: 13 jun. 2023.

BARRETO, D. Residential water consumption pattern and internal uses of water. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 23–40, 2008.

Consumo de água – DEMAÉ. Disponível em: <<https://www.demae.go.gov.br/projetos/consumo-de-agua/>>. Acesso em: 5 jun. 2023.

Consumo sustentável – Manual da Educação Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf>>. Acesso em: 7 jun. 2023.

DETONI, T. L.; DONDONI, P. C. A Escassez da água: um olhar global sobre a sustentabilidade e a consciência acadêmica. **Revista Ciências Administrativas**, v. 14, n. 2, p. 191–204, 2008.

Dmae corrige tarifas de água e esgotos | Prefeitura de Porto Alegre. Disponível em: <<https://prefeitura.poa.br/dmae/noticias/dmae-corrige-tarifas-de-agua-e-esgotos>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

EPE. Balanço Energético Nacional (BEN) 2022: Ano base 2021 - Relatório Final. p. 264, 2022.

HESPANHOL, I. Potencial de Reúso de Água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **Recursos Hídricos: APRH**, Portugal, v. 23, n.2, p.43-65, nov. 2002.

IBGE | Cidades@ | Brasil | Pesquisa | Frota de veículos | Veículo | 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?ano=2022>>. Acesso em: 13 jun. 2023.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: 5 jun. 2023.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Acesso à água nas regiões Norte e Nordeste do Brasil: desafios e perspectivas. **Saneamento é Saúde**, p. 187, 2018.

MAESTRI, R. S. Análise Custo-Benefício para o Aproveitamento da Água da Chuva em Florianópolis. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental: UFSC. Florianópolis, 2003

MARINOVSKI, D. L.; GHISI, E.; GÓMEZ, L. A. Aproveitamento de água pluvial e dimensionamento de reservatório para fins não potáveis: Estudo de caso em um conjunto residencial localizado em Florianópolis-SC. **I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável; X Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**, v. 10, n. January, 2004.

PEREZ, J.; FARIA, R. Estudo da viabilidade econômica do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em residências em Itajubá – Minas Gerais Resumo O trabalho aqui exposto descreve um

sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em edificações. n. 1, p. 9–18, 2016.

Rafael, p.; freitas, d. E.; leal, f. Universidade federal rural do semi-árido pró-reitoria de graduação campus caraúbas bacharelado em ciência e tecnologia estudo de viabilidade econômica da implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais no restaurante universitário da ufersa Caraúbas, 2019.

RODRIGUES, M. L. unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” CAMPUS DE GUARATINGUETÁ. 2016.

TOMAZ, P. **Aproveitamento De Água De Chuva**. [2010]. v. I

TONELO, K.C (Org.). Gestão e Planejamento de Recursos Hídricos no Brasil: conceitos, legislações e aplicações. São Carlos: Coleção UAB-UFSCar, 2011, 115 p. - Portal Brasil/Demografia:
<http://www.brasil.gov.br/governo/2011/02/demografia>

Water – at the center of the climate crisis | United Nations. Disponível em:

<https://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/water?gclid=CjwKCAjwvpCkBhB4EiwAujULMmJHlxgOK5A8Vnnblq8SWpdCUa0sEJDyl1rAPz0a-Jq2hLe-BVA6nRoC1cYQAvD_BwE>. Acesso em: 10 jun. 2023.