



UFC

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MARIA VYRNA LOPES MARTINS

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE
RESERVATÓRIOS DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DE
CHUVA EM UMA REGIÃO SEMIÁRIDA**

CRATEÚS/CE

2024

MARIA VYRNA LOPES MARTINS

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE
RESERVATÓRIOS DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DE CHUVA
EM UMA REGIÃO SEMIÁRIDA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Civil.

Orientador: Prof.^a Ms. Tatiane Lima Batista

CRATEÚS/CE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M344e Martins, Maria Vyrna Lopes.
Estudo comparativo entre métodos de dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de águas de chuva em uma região semiárida / Maria Vyrna Lopes Martins. – 2024.
56 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2024.
Orientação: Prof. Me. Tatiane Lima Batista.
1. SAAC. 2. Semiárido. 3. Eficiência de reservatórios. I. Título.

CDD 620

MARIA VYRNA LOPES MARTINS

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE
RESERVATÓRIOS DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DE CHUVA
EM UMA REGIÃO SEMIÁRIDA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Civil.

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Ms. Tatiane Lima Batista (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Alan Michell Barros Alexandre
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Ms. Karina Albuquerque da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

À minha família, que me ensinou o significado de casa bem antes da faculdade de Engenharia Civil.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pela força, sabedoria e orientação durante toda esta jornada acadêmica.

À minha querida família, por todo amor, apoio e sacrifício. Vocês foram meu pilar em momentos de dificuldade e minha maior motivação para seguir em frente. Agradeço especialmente aos meus pais, Neto e Norminha, e aos meus avós maternos, Luís e Maria, que sempre acreditaram em mim e me proporcionaram todas as oportunidades para crescer.

Ao meu namorado, Wesley Caio, por seu amor, paciência e apoio incondicional. Obrigada por estar sempre ao meu lado, me encorajando, acreditando em mim e aguentando todos os meus estresses ao longo deste trabalho.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado, oferecendo apoio emocional e conselhos. Especialmente minhas amigas, Vanessa, Nicole, Gilvany e Ana Clara, que me proporcionaram vários momentos felizes e de descontração necessários para manter o equilíbrio durante esta trajetória.

Aos meus professores, que compartilharam seus conhecimentos, me guiaram com paciência e contribuíram de maneira fundamental para a minha formação. Em especial, à professora Tatiane Lima, pelas suas constantes orientações, atenção, cuidado e paciência que foram essenciais para a concretização deste projeto.

A todos os meus colegas de curso, em especial Timóteo e Robson, com quem compartilhei desafios, conquistas e aprendizado ao longo destes anos. A amizade e o espírito de colaboração entre nós fizeram toda a diferença.

E, finalmente, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade. Meu sincero agradecimento a todos vocês.

RESUMO

A água, um recurso natural finito essencial para a vida e atividades humanas, está se tornando cada vez mais escassa e dispendiosa. Em resposta a esses desafios contemporâneos de escassez hídrica, especialmente em regiões com chuvas irregulares e semiáridas, os sistemas de aproveitamento de água da chuva surgem como uma prática importante. Este estudo, conforme NBR 15527 (ABNT, 2007), compara métodos de dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água da chuva em residências: Método Rippl, Método Azevedo Neto, Método prático alemão, Método prático australiano e Método prático inglês. Os métodos são avaliados quanto à eficiência pelo Método de Balanço Hídrico Diário, visando atender à demanda de descarga de bacias sanitárias em residências com 2, 4 e 6 habitantes, para áreas de captação em telhados de 40, 80 e 100 m². Os resultados indicam que o Método Azevedo Neto alcançou eficiência superior a 90% em dois cenários específicos, enquanto o Método Rippl e o Método Prático Australiano, em geral, demonstraram as melhores eficiências, sendo considerados os métodos mais adequados para os objetivos deste estudo.

Palavras-chave: SAAC; semiárido; eficiência de reservatórios.

ABSTRACT

Water, a finite natural resource essential for human life and activities, is becoming increasingly scarce and expensive. In response to these contemporary challenges of water scarcity, especially in regions with irregular and semi-arid rainfall, rainwater harvesting systems have emerged as an important practice. This study, in accordance with NBR 15527 (ABNT, 2007), compares methods for sizing reservoirs for using rainwater in homes: Rippl Method, Azevedo Neto Method, German practical method, Australian practical method and English practical method. The methods are evaluated for efficiency using the Daily Water Balance Method, aiming to meet the demand for flushing toilets in homes with 2, 4 and 6 inhabitants, for catchment areas on roofs of 40, 80 and 100 m². The results indicate that the Azevedo Neto Method achieved efficiency greater than 90% in two specific scenarios, while the Rippl Method and the Australian Practical Method, in general, demonstrated the best efficiencies, being considered the most suitable methods for the objectives of this study.

Keywords: SAAC; semi-arid; reservoir efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição do consumo de água em uma residência em Independência/CE.	21
Figura 2 - Distribuição do consumo de água em uma residência em Crateús/CE.....	21
Figura 3 - Sistema de captação e aproveitamento de águas de chuva conforme NBR 15537..	22
Figura 4 - Fluxograma do método de pesquisa.....	28
Figura 5 - Mapa de localização de Crateús.....	29
Figura 6 - Fluxograma de simulação de reservatório.	33
Figura 7 - Média Anual das precipitações de Crateús.	35
Figura 8 - Média Mensal de Crateús.	36
Figura 9 - Relação entre a eficiência da cisterna e o adimensional π	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros mínimos de qualidade de água de chuva para usos não potáveis.	20
Tabela 2 - Dados da estação pluviométrica da cidade de Crateús.	29
Tabela 3 - Combinação dos Casos Considerados no Dimensionamento do Reservatório.	30
Tabela 4 - Consumo médio de água potável a ser substituída.	31
Tabela 5 - Volumes para o Reservatório obtidos através do Método Rippl.	37
Tabela 6 - Volumes para o Reservatório obtidos Através do Método Azevedo Neto.	38
Tabela 7 - Valores de confiança em função dos volumes de reservatório analisados pelo Método Prático Australiano.	39
Tabela 8 - Volumes para o Reservatório obtidos através do Método Prático Australiano.	39
Tabela 9 - Volumes para o Reservatório obtidos através da demanda anual por água não potável e do volume anual de precipitação aproveitável.	40
Tabela 10 - Volumes para o Reservatório obtidos através do Método Prático Alemão.	40
Tabela 11 - Volumes para o Reservatório obtidos através do Método Prático Inglês.	41
Tabela 12 - Resumo dos valores dos dimensionamentos dos reservatórios.	41
Tabela 13 - Dados de eficiência dos volumes (em %).	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASA	Articulação no Semiárido Brasileiro
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
NBR	Norma Brasileira
PVC	Policloreto de Vinilo
SAAC	Sistema de Aproveitamento de Água da Chuva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Questão de pesquisa	15
1.2	Objetivos	15
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	15
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	15
1.3	Estrutura do trabalho	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	A problemática da escassez de água no semiárido cearense	17
2.2	Aproveitamento de água da chuva	18
2.3	Componentes do sistema de aproveitamento de águas de chuva	22
2.4	Métodos de dimensionamento de reservatórios de águas de chuva	23
2.4.1	<i>Método de Rippl</i>	23
2.4.2	<i>Método de Azevedo Neto</i>	24
2.4.3	<i>Método Prático Alemão</i>	25
2.4.4	<i>Método Prático Australiano</i>	25
2.4.5	<i>Método Prático Inglês</i>	26
3	MÉTODO DE PESQUISA	28
3.1	Área de Estudo	28
3.2	Coleta de dados	29
3.3	Cenários de Captação de Água	30
3.4	Aplicação dos métodos de Dimensionamento	31
3.5	Avaliação da eficiência	31
3.5.1	<i>Balanco Hídrico Diário</i>	31
3.6	Análise de Resultados	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1	Análise pluviométrica	35
4.2	Cálculo dos volumes dos reservatórios pelos métodos de dimensionamento ...	36
4.2.1	<i>Método de Rippl</i>	36
4.2.2	<i>Método Azevedo Neto</i>	37
4.2.3	<i>Método Prático Australiano</i>	38
4.2.4	<i>Método Prático Alemão</i>	39
4.2.5	<i>Método Prático Inglês</i>	40

4.2.6	<i>Avaliação da eficiência de cada método</i>	41
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
5.1	Conclusões Gerais	45
5.2	Sugestões de Trabalhos Futuros	46
	REFERÊNCIAS	47
	APÊNDICE A	52

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água potável para o consumo humano, em quantidade suficiente e com qualidade adequada, ainda é um desafio (Santos *et al.*, 2020). O Brasil é um dos países que têm a maior disponibilidade de água doce, representando cerca de 13,8% do deflúvio médio global (Freitas; Santos, 1999). Porém, algumas regiões, como o semiárido nordestino, enfrentam problemas de escassez de água (Brito *et al.*, 2007). A característica mais proeminente dessa região é a irregularidade do regime de precipitação pluviométrica, apresentando uma média anual inferior a 800 mm e com uma taxa de evaporação aproximadamente de 3000 mm por ano (ASA, 2021; IRPAA, 2012). Portanto, é importante que a gestão dos recursos hídricos nessas regiões seja eficiente, a fim de proporcionar uma boa convivência com a seca, especialmente em anos mais críticos.

A captação e o armazenamento de água são processos essenciais para garantir água potável em épocas de seca. Além disso, ações como reuso de águas e aproveitamento de água da chuva, dentre outras, podem ser usadas como estratégias para gestão eficiente dos recursos hídricos de uma região. Há séculos, as cisternas têm sido usadas como forma de armazenamento de água da chuva e o governo tem adotado medidas nesse sentido, sendo considerada uma opção mais vantajosa em termos de custo e benefício, comparada a outras alternativas como poços, microbarragens e barragens subterrâneas, para enfrentar a escassez de água, especialmente em regiões rurais (Filho e Cavalcanti, 2009).

O planejamento de um reservatório para armazenar água da chuva em edificações residenciais requer a aplicação de abordagens adequadas às condições locais e à própria estrutura da edificação (Dapieve, 2014). Estes tanques de armazenamento não devem ser de dimensões tão reduzidas a ponto de causar o desperdício de águas de chuva, nem tão grandes a ponto de permanecerem inativos por um período prolongado (Amorim; Pereira, 2008).

No semiárido, onde as precipitações são concentradas em poucos meses do ano, os métodos usados para dimensionar esse reservatório devem levar em consideração essa distribuição da chuva no tempo, além de questões relacionadas à demanda de água e à área de captação disponível. É importante, portanto, avaliar quais métodos, dentre os que estão disponíveis na literatura, produzem melhores resultados nessas regiões.

Assim, neste estudo, foram empregados e avaliados cinco métodos de dimensionamento de reservatórios para o armazenamento de água da chuva, sendo eles, o Método de Rippl, o Método Azevedo Neto, o Método prático alemão, o Método prático australiano e o Método

prático inglês, com a finalidade de avaliar quais métodos é mais adequado para o dimensionamento de reservatórios para regiões semiáridas (Favretto, 2016).

A escolha e aplicação adequada desses métodos para o dimensionamento dos reservatórios dos sistemas de aproveitamento de água da chuva, considerando as especificidades da região e da edificação, contribui para a eficiência desses sistemas. Por outro lado, a padronização dos volumes usados, em regiões urbanas ou rurais, pode provocar problemas relacionados ao sub ou superdimensionamento desses reservatórios.

1.1 Questão de pesquisa

Com base no contexto anteriormente exposto, este estudo visa abordar a seguinte indagação:

Que métodos de dimensionamento de reservatórios de águas de chuva são mais adequados para uma região semiárida?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Comparar métodos de dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de águas de chuva em uma região semiárida.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar a pluviometria de Crateús-CE.
- b) Comparar as variações de volumes dos reservatórios utilizando métodos teóricos disponíveis na literatura;
- c) Avaliar a eficiência das capacidades dos reservatórios nos cenários propostos para cada método.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho é composto por cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma introdução sobre o assunto a ser estudado, detalhando também os objetivos do trabalho.

No segundo capítulo, é feita uma breve revisão bibliográfica sobre a problemática da escassez de água no semiárido cearense, o aproveitamento de águas de chuva, os componentes do seu sistema e os métodos de dimensionamento de reservatórios de águas da chuva.

O terceiro capítulo descreve a metodologia aplicada ao estudo, explicando como foram obtidos os dados pluviométricos, evidenciando os cenários das residências estudadas e a

aplicação dos métodos da literatura. Além disso, apresenta como será avaliada a eficiência do dimensionamento dos reservatórios segundo cada método.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos, baseados no dimensionamento dos reservatórios e na eficiência, para identificar quais métodos de dimensionamento de reservatórios de águas de chuva são mais adequados para regiões semiáridas.

No quinto capítulo, por fim, são apresentadas as conclusões do presente estudo e sugestões para futuros trabalhos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção aborda elementos sobre o aproveitamento de água da chuva, os componentes dos sistemas de aproveitamento de água da chuva, a necessidade do aproveitamento dessa água para região semiárida, e por fim, os métodos de dimensionamento de reservatórios.

2.1 A problemática da escassez de água no semiárido cearense

A reserva de água doce do mundo armazenada nos rios e lagos, disponível para consumo, é capaz de suprir de 6 a 7 vezes a demanda anual mínima de água por habitante do planeta. No entanto, apesar dessa aparente abundância, esse recurso está se tornando cada vez mais escasso (Andrade, 2006). Na visão de Brasil (2006), o aumento crescente da demanda por água, aliado ao crescimento urbano, à impermeabilização do solo, à manipulação da capacidade de produção dos recursos hídricos, à poluição da água e ao desperdício, traz consigo uma situação preocupante em termos de sustentabilidade do abastecimento público.

A Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação, afirma que durante o último século, o aumento no consumo de água foi o dobro da taxa de crescimento populacional. Além disso, as previsões para o ano de 2025 indicam que cerca de 1,8 bilhão de pessoas em todo o mundo viverão em regiões ou países onde a escassez de água será absoluta, com disponibilidade de menos de 500 metros cúbicos por habitante por ano, e que aproximadamente dois terços da população global enfrentam condições de estresse hídrico, com valores de disponibilidade de água variando entre 500 e 1000 metros cúbicos por habitante por ano (FAO, 2014).

O semiárido nordestino, apesar de ser a segunda região mais populosa do Brasil, possui o menor potencial de recursos hídricos disponível. O padrão mensal e anual de chuvas apresenta extrema irregularidade, com chuvas que ocorrem durante apenas dois a três meses na maioria dos locais, enquanto em outros, persistem por até nove meses ou ocorrem de forma torrencial em uma área e quase não afetam seus arredores (Almeida *et al.*, 2013).

Para Silva (2008), as regiões semiáridas são geralmente marcadas pela aridez do clima, pela escassez de água com imprevisibilidade das chuvas e pela presença de solos com baixa matéria orgânica. O longo período seco anual resulta em altas temperaturas locais, caracterizando a aridez sazonal. De acordo com essa definição, o nível de aridez de uma região depende da quantidade de chuva (precipitação) e da temperatura, que afeta a perda de água por meio da evapotranspiração potencial.

De acordo com Andrade (2006), ao comparar a disponibilidade de recursos hídricos com a distribuição geográfica da população brasileira, fica evidente a situação crítica da região

Nordeste, se fazendo necessário a implementação de estratégias de convivência com o semiárido, que se baseiam em tecnologias de conservação de água, tais como a coleta, armazenamento (por exemplo, em tanques de pedra ou cisternas de calçadão) e gestão da água da chuva. Além disso, é fundamental a criação de barragens subterrâneas e a construção de pequenas barragens para atender a uma demanda de consumo em menor escala.

O estado do Ceará, situado no Nordeste Brasileiro, registra uma precipitação anual que varia de 500 a 800mm por ano (CEARÁ, 2018). A região dos Sertões de Crateús, uma das mais afetadas pela escassez de recursos hídricos no estado do Ceará, enfrenta um problema antigo que se agrava com o crescimento da população local (Barros *et al.*, 2018).

Rosa (2019) ressalta que essa região possui rios significativos, mas devido à baixa qualidade e à disponibilidade de água restrita a um curto período do ano, a utilização de reservatórios se torna necessária. No entanto, os dados históricos dos reservatórios da região apresentam preocupações significativas, onde o sistema de abastecimento, que em 2009 operava com 99,63% de sua capacidade de armazenamento, diminuiu drasticamente para apenas 0,61% em 2015 (CEARÁ, 2015).

Segundo Oliveira (2007), cada vez mais, surge a necessidade de garantir o acesso à água em quantidade e qualidade adequadas para uma variedade de fins, o que exige planejamento e coordenação de ações. A utilização de fontes alternativas de água, como a captação e aproveitamento imediato da água da chuva, emerge como uma das soluções viáveis para suprir as demandas de água em diversas situações (Souza *et al.*, 2017).

2.2 Aproveitamento de água da chuva

Os sistemas de captação e aproveitamento da água da chuva estão presentes há milhões de anos. De acordo com Tomaz (1998), em uma das inscrições mais antigas do mundo, a Pedra Moabita, localizada no Oriente Médio e datada de 850 a.C, o rei Mesha propôs a construção de uma cisterna em cada residência para a captação da água da chuva.

O uso da água da chuva, portanto, não é uma novidade, especialmente para civilizações antigas que utilizavam em todas as suas atividades, principalmente em regiões de clima semiárido com chuvas irregulares. No entanto, com o avanço tecnológico, algumas sociedades abandonaram essa prática em favor de sistemas centralizados de abastecimento de água. Agora, diante dos desafios atuais de escassez de água, a coleta de água da chuva está ganhando destaque como uma alternativa crucial para enfrentar os problemas de abastecimento de água. (Werneck, 2006; Moruzzi *et al.*, 2012).

A água da chuva pode ser uma fonte de água limpa e confiável, desde que os sistemas de coleta sejam construídos e controlados de maneira adequada, e a água seja tratada de acordo com o especificado. Para usos com menos exigências, é possível alcançar níveis adequados de qualidade por meio de uma simples filtração e desinfecção (Goldenfum, 2005).

Ennenbach *et al.* (2017), ressalva que os sistemas de aproveitamento de água da chuva (SAAC) estão sendo cada vez mais utilizados e são considerados uma opção viável em cenários de deficiência hídrica, uma vez que, se adotados em larga escala, podem contribuir para a redução da demanda de água no sistema público de abastecimento.

Segundo Marinoski (2007), a implementação de um sistema de aproveitamento de água da chuva está intrinsecamente ligada a três fatores fundamentais: a precipitação, a área de coleta e a demanda por água. Além disso, ao projetar tal sistema, é imperativo considerar as condições ambientais específicas da região, o clima predominante, os aspectos econômicos envolvidos e os diversos usos pretendidos para a água, evitando assim a uniformização de soluções técnicas.

A água da chuva encontra aplicações diversas em atividades não relacionadas ao consumo humano direto, abrangendo os setores residencial, industrial e agrícola. No contexto residencial, é possível empregar água da chuva em várias frentes, como descarga de vasos sanitários, lavagem de roupas, sistemas de prevenção contra incêndios, limpeza de veículos, higienização de pisos e privacidade de jardins. No setor industrial, a água da chuva é útil para tarefas como refrigeração evaporativa, climatização interna, processos de lavanderia industrial, limpeza de maquinaria, alimentação de caldeiras, lava jato de veículos e fins relacionados à limpeza industrial, entre outros usos. Na agricultura, seu trabalho é mais notável na supervisão de cultivos (May e Prado, 2004).

Conforme Mano e Schmitt (2004), a água da chuva pode ser aproveitada tanto de forma integral como parcial, sendo o uso integral para a utilização de água para todas as necessidades, incluindo ingestão, preparação de alimentos e higiene pessoal, por outro lado, o uso parcial se limita às aplicações específicas em pontos de consumo, como, por exemplo, a utilização exclusiva em sistemas de descarga de vasos sanitários.

O tratamento da água da chuva varia de acordo com a qualidade da água coletada e seu destino final. (May e Prado, 2004). Em conformidade com a norma da ABNT, NBR 15527 de 2019, os parâmetros de qualidade a serem seguidos para a utilização de água de chuva em sistemas não potáveis em áreas urbanas devem aderir às diretrizes especificadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros mínimos de qualidade de água de chuva para usos não potáveis.

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Escherichia coli</i>	< 200 / 100 MI
<i>Turbidez</i>	< 5,0 Ut
<i>pH</i>	6,0 a 9,0

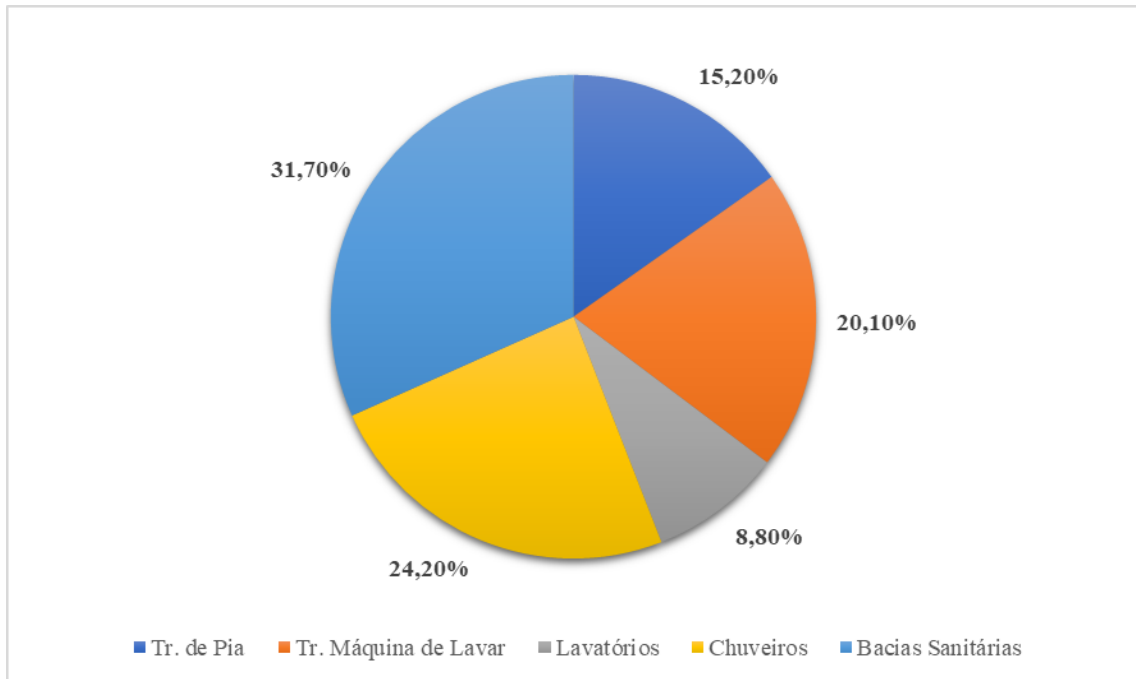
Fonte: ABNT NBR 15527 (2019).

A ABNT NBR 15527 (2019) enfatiza que pode ser essencial realizar a desinfecção da água da chuva antes de sua utilização. Essa alteração pode ser realizada por meio da aplicação de cloro, ozônio, radiação ultravioleta ou outras tecnologias disponíveis. Para assegurar os padrões de qualidade, a água não potável precisa passar por monitoramento através de análises laboratoriais, que devem ser realizadas com amostras coletadas na saída do reservatório de distribuição.

As porcentagens relacionadas aos usos que podem ser considerados não potáveis nas edificações podem variar consideravelmente dependendo do local de estudo, do nível econômico e do número de moradores das residências. Algumas pesquisas encontraram esses valores de consumo de água para cada equipamento de residências.

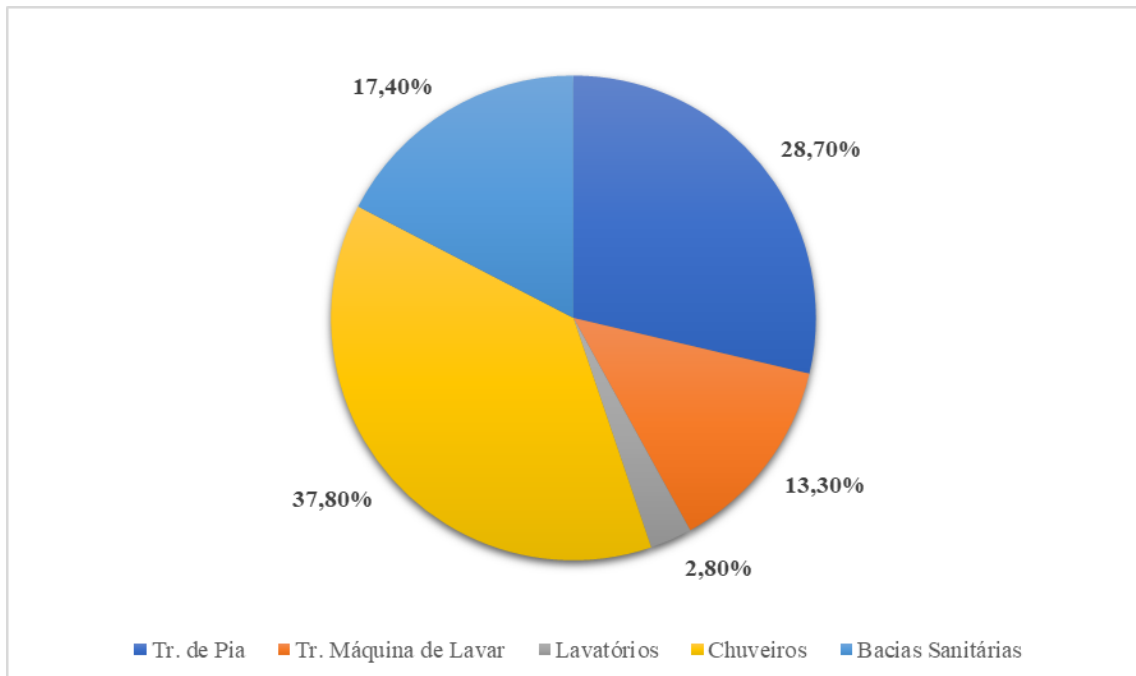
Como exemplo, pode-se citar o trabalho de Machado (2022) que pesquisou duas residências, uma localizada em Independência e outra em Crateús, no estado do Ceará. A residência 1 era constituída por dois pavimentos e uma área construída de 120 m². A residência 2 era composta por um único pavimento e com uma área construída de 95,33 m², em um terreno de 175 m². Os gráficos das Figuras 1 e 2 ilustram a distribuição do consumo encontrado nas residências.

Figura 1 - Distribuição do consumo de água em uma residência em Independência/CE.



Fonte: Machado (2022).

Figura 2 - Distribuição do consumo de água em uma residência em Crateús/CE.



Fonte: Machado (2022).

No estudo de Heberson *et al.* (2009), observou-se que os dados sobre o uso final da água variam significativamente de acordo com o local do estudo, o nível econômico e a quantidade

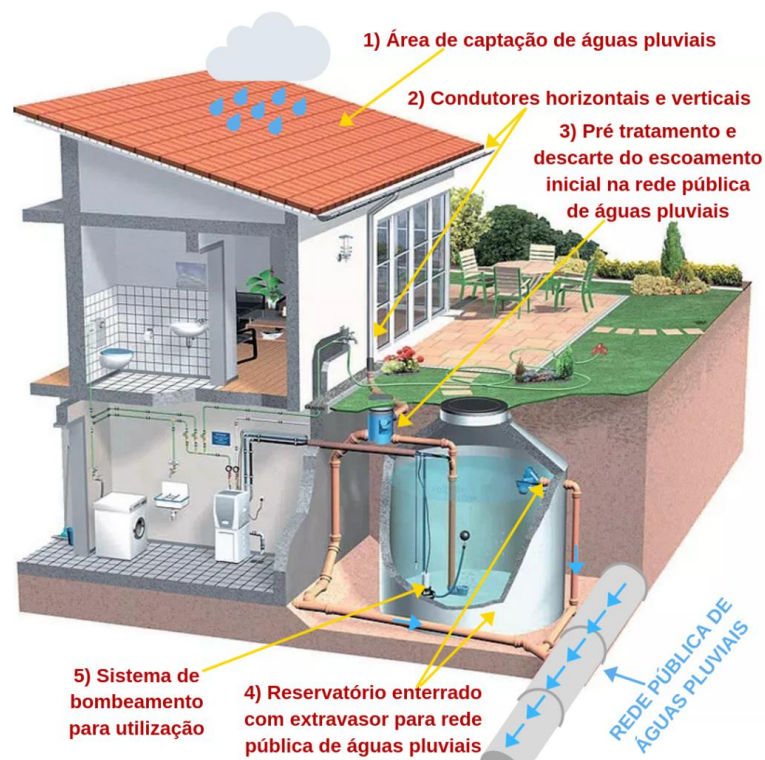
de moradores das residências. Na comparação da distribuição do consumo de água nas residências de São Paulo e Goiânia, as maiores diferenças estão no consumo de água nos chuveiros e nas bacias sanitárias, enquanto os demais pontos de consumo são praticamente iguais.

2.3 Componentes do sistema de aproveitamento de águas de chuva

O sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva em edificações é composto por diversos elementos, que incluem a área de captação da água da chuva, os componentes de transporte, como condutores horizontais e verticais, uma cisterna ou reservatório inferior, um mecanismo de elevação, um reservatório superior e uma rede de tubulações para a distribuição da água aos pontos de uso, como ilustrado na figura 3 (Dapieve, 2014).

A condução da água até o ponto de armazenamento ocorre através de calhas, condutores horizontais e verticais, passando por sistemas de filtragem e dispositivos para a remoção de impurezas. Em alguns casos, há a utilização de um dispositivo de desvio para as primeiras águas da chuva. Após passar pelo processo de filtragem, a água é geralmente armazenada em um reservatório subterrâneo, conhecido como cisterna, e, em seguida, bombeada para um segundo reservatório elevado. A partir desse segundo reservatório, a água da chuva é distribuída por meio de tubulações dedicadas para usos não potáveis (Fernandes *et al.*, 2022).

Figura 3 - Sistema de captação e aproveitamento de águas de chuva conforme NBR 15537.



Fonte: Assis Engenharia.

O volume de água da chuva que não pode ser aproveitado deve ser adequadamente direcionado para a rede pública de águas de chuva, para áreas públicas ou para a infiltração no solo, desde que não apresente risco de contaminar o lençol freático, e sempre respeitando os regulamentos estabelecidos pela autoridade local competente (Assis Engenharia, 2021).

Em áreas destinadas à captação de água da chuva, é comum o uso de materiais como telhas galvanizadas revestidas com tintas não prejudiciais à saúde, superfícies de concreto, cerâmica, policarbonato e fibra de vidro. As calhas também devem ser fabricadas com materiais inertes, como PVC ou outras formas de plástico, a fim de evitar a possibilidade de partículas tóxicas provenientes desses componentes serem arrastadas para os tanques de armazenamento (Macomber, 2001).

2.4 Métodos de dimensionamento de reservatórios de águas de chuva

A fim de garantir a sustentabilidade econômica de um sistema, é essencial que o dimensionamento do reservatório seja feito de maneira precisa, considerando o método mais apropriado para as necessidades específicas desse sistema, isso implica levar em consideração dados como a demanda a ser suprida, a área de captação, informações pluviométricas da região e outros fatores relevantes (Coelho Filho, 2005).

A seguir são apresentadas metodologias para dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água da chuva.

2.4.1 Método de Rippl

Esse método, também conhecido como o Método do Diagrama de Massas, é o mais prevalente nas obras de referência sobre esse tema nos dias de hoje, especialmente por sua fácil aplicação (Amorim; Pereira, 2008). No entanto, Campos *et al.* (2007), afirma que existem diversas objeções quanto ao seu uso, sobretudo devido ao fato de que este método foi originalmente concebido para aplicação em reservatórios de grande porte, o que poderia resultar em uma estimativa excessiva do volume a ser reservado.

Tomaz (2005) enfatiza que este método fornece o valor máximo do volume do reservatório e é fundamental tê-lo como ponto de referência máximo em comparação com os demais volumes obtidos através da aplicação de outros métodos.

A metodologia se apoia nas séries históricas de precipitações diárias ou mensais, na área de captação e no consumo de água. A soma do volume de chuva e da demanda no mesmo período determinará se há um excedente ou falta de água no reservatório. Através dos volumes

acumulados, identifica-se o valor máximo alcançado, que deve ser levado em consideração no dimensionamento do reservatório, conforme ilustrado pelas equações 1, 2 e 3 (Favretto, 2016).

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad (1)$$

Sendo,

$$Q_{(t)} = P_{(t)} \times A \times C \times \eta \quad (2)$$

Onde:

$S_{(t)}$: Volume de água no reservatório no tempo t (m³);

$Q_{(t)}$: Volume de chuva captada no tempo t (m³);

$D_{(t)}$: Demanda ou consumo no tempo t (m³);

$P_{(t)}$: Precipitação no tempo t (mm);

A: Área de captação (m²);

C: Coeficiente de escoamento superficial (adimensional).

η : É eficácia do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e o desvio de escoamento inicial, sendo utilizado um fator de captação de 0,85.

Por fim, a capacidade do reservatório de água da chuva recomendada é dada por:

$$V = \sum S_{(t)}, \text{ somente para valores } S_{(t)} > 0 \quad (3)$$

Sendo que: $\sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)}$.

2.4.2 Método de Azevedo Neto

Este método também é conhecido como Método Prático Brasileiro. Neste método empírico, a influência da demanda não é levada em consideração, sendo analisados apenas o volume captado e o período de estiagem (mensal) (Cohim *et al.*, 2008). Conforme a norma NBR 15527 (ABNT, 2007) o volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (4)$$

Onde:

P: Precipitação média anual (mm);

T: Número de meses de pouca chuva ou seca;

A: Área de coleta em projeção (m²);

V: Volume do reservatório aproveitável (litros).

Sousa *et al.* (2017) ressalta que existe uma lacuna no método Azevedo Netto que reside na ausência de critérios para estabelecer o que são os "meses de pouca chuva". Além disso, uma desvantagem adicional é a omissão da análise da distribuição da precipitação ao longo do ano, levando em consideração somente a precipitação média anual.

2.4.3 Método Prático Alemão

Segundo Rocha (2009), muitos autores consideram os métodos práticos inadequados, uma vez que generalizam uma série de grandezas de elevada variabilidade, como a precipitação pluviométrica e as demandas de água potável e pluvial.

De acordo com a NBR 11527 (ABNT, 2007), esse é um método empírico que implica a aplicação do valor mais baixo entre duas opções: 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação captada. Assim tem-se:

$$V_{adot} = \text{mínimo de } \left\{ \begin{array}{l} V \times 0,06 \\ D \times 0,06 \end{array} \right. \quad (7)$$

Onde:

V_{adot} : Volume do reservatório (litros);

V: Volume anual aproveitável de água de chuva (litros);

D: Demanda anual de água não potável (litros).

Na NBR 15527 (ABNT, 2007), não está explicitamente indicado como se obtém o volume de água da chuva anual pelo método Prático Alemão. Portanto, esse valor foi calculado utilizando a Equação 2. Por outro lado, a demanda anual de água não potável foi obtida por meio da equação 8.

$$D = \text{Demanda} \left(\frac{\text{L}}{\text{hab}} \right) \times \text{habitantes} \times \text{Percent. de água a ser subst.} \times 365 \quad (8)$$

2.4.4 Método Prático Australiano

O Método Prático Australiano leva em conta a interceptação da água que atinge a superfície e as potenciais perdas por evaporação (Sousa *et al.*, 2017). A determinação do volume de chuva é efetuada por meio da Equação 9:

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (9)$$

Onde:

Q: Volume mensal produzido pela chuva (m³);

C: Coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

A: Área de captação (m²);

P: Precipitação média mensal (m);

I: Perdas (primeira chuva, evaporação, etc.), geralmente 2 mm por dia.

Segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007), a determinação do volume do reservatório é um processo iterativo, buscando alcançar valores otimizados de confiança e capacidade do

reservatório. No contexto de um reservatório para a coleta de água da chuva, onde essa é a única fonte de água potável disponível, é crucial que a confiança seja máxima. Os cálculos são realizados de acordo com a equação 10.

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)} \quad (10)$$

Onde:

$V_{(t)}$: Volume de água no reservatório no fim do mês (litros);

$V_{(t-1)}$: Volume de água no reservatório no início do mês (litros);

$Q_{(t)}$: Volume mensal produzido pela chuva no mês t;

$D_{(t)}$: Demanda mensal de água não potável (litros).

Para efeitos de cálculos, considera-se o reservatório vazio no início do primeiro mês.

$$\text{Quando } [V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)}] < 0, \text{ então } V_{(t)} = 0 \quad (11)$$

Após determinar as dimensões do reservatório, proceda-se ao cálculo da confiança para avaliar a eficiência do reservatório, conforme indicado na Equação 12.

$$P_r = \frac{N_r}{N} \quad (12)$$

Onde:

P_r : Falha;

N_r : Número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda [$V_{(t)} = 0$];

N : Número de meses considerados.

$$\text{Confiança} = 1 - P_r \quad (13)$$

A NBR 15527 (ABNT, 2007), recomenda que os valores de confiança estejam entre 90% e 99%.

2.4.5 Método Prático Inglês

No método Prático Inglês, o dimensionamento do reservatório é realizado multiplicando a média dos totais anuais de previsões pela área da superfície de captação e pelo coeficiente 0,05 (ABNT, 2007), que garante a retenção da água na cisterna por um período de até 18 dias (ANQUIP, 2009). O cálculo do volume de chuva precipitado é realizado utilizando a seguinte equação:

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (14)$$

Onde:

V : Volume do reservatório (litros);

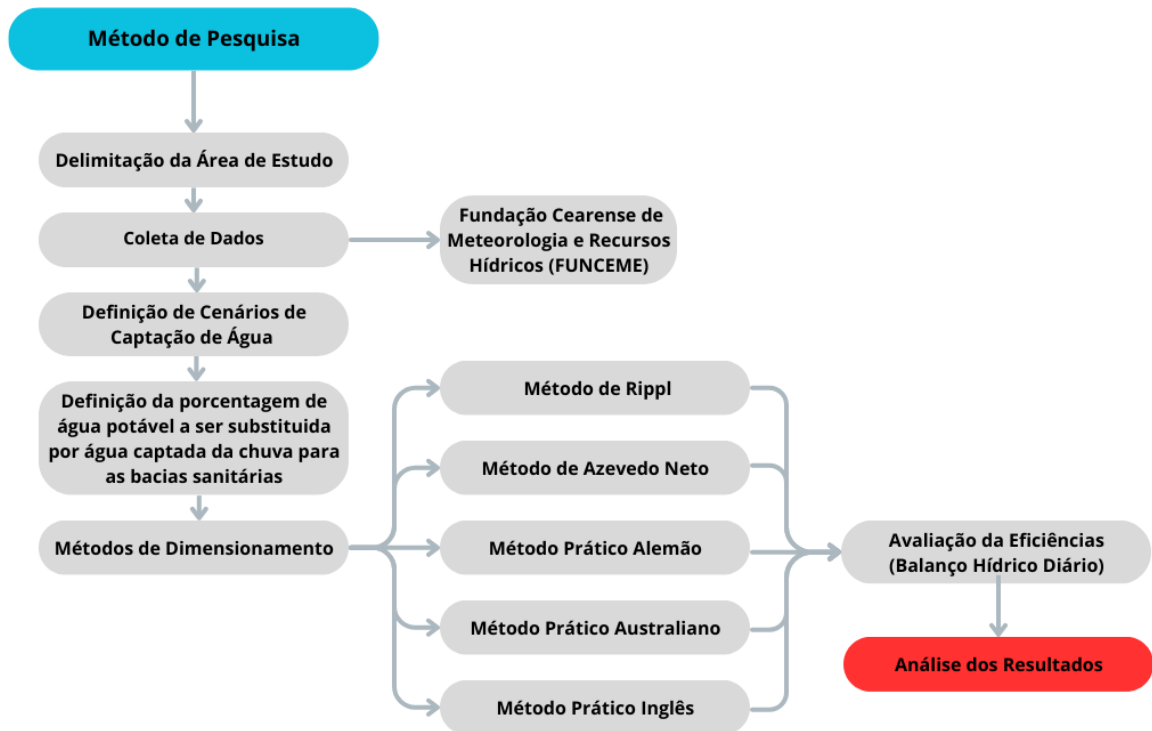
P : Precipitação média anual (mm);

A: Área de captação (m²).

3 MÉTODO DE PESQUISA

Esta seção aborda a caracterização da área de estudo e o método de pesquisa utilizado, detalhando os procedimentos necessários para atingir os objetivos propostos. A Figura 4 ilustra um fluxograma das etapas realizadas.

Figura 4 - Fluxograma do método de pesquisa.

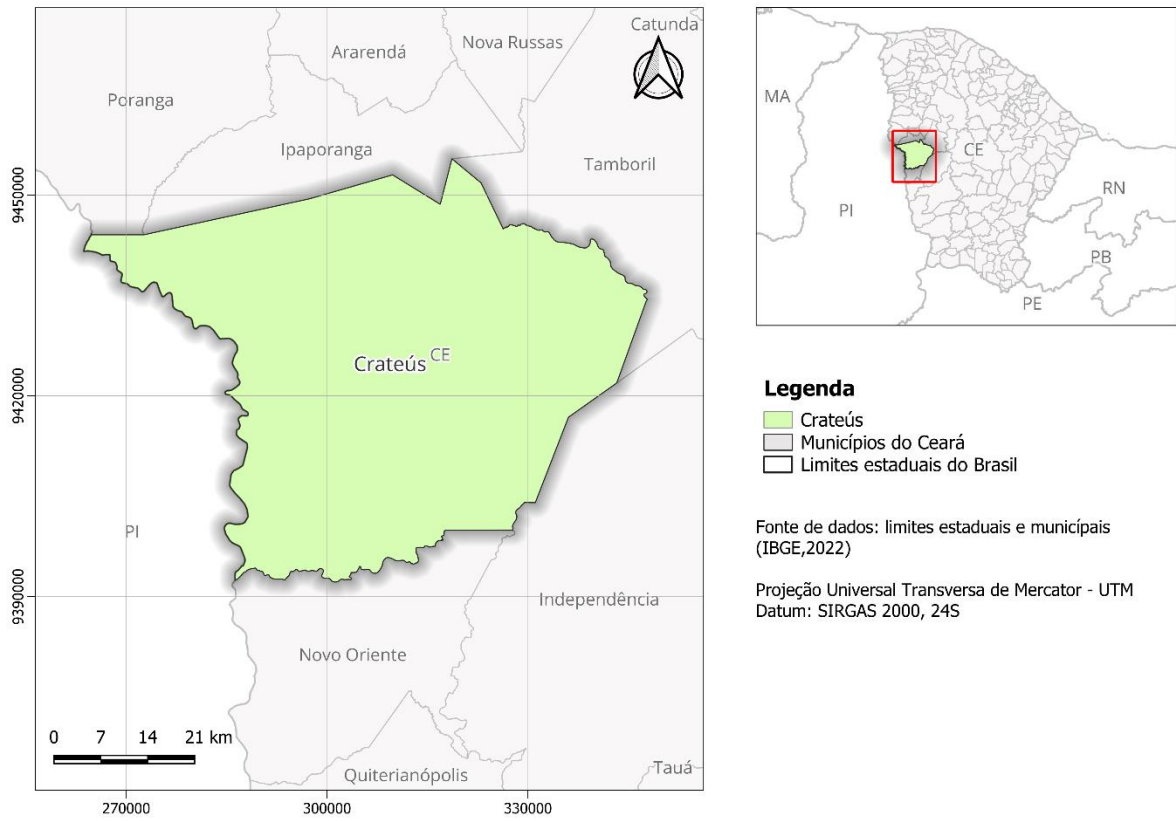


Fonte: Elaborado pela autora.

3.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado no município de Crateús, no estado do Ceará, que apresenta uma área territorial de 2.981,46 km² e 76.390 habitantes (IGBE, 2023). A localização da área de estudo é apresentada na Figura 5.

Figura 5 - Mapa de localização de Crateús.



Fonte: Elaborado pela autora.

3.2 Coleta de dados

Os dados pluviométricos utilizados neste estudo foram adquiridos no site da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Para esse estudo foi escolhido o posto pluviométrico com a maior quantidade de anos de observação. As informações do posto estão resumidas na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados da estação pluviométrica da cidade de Crateús.

<i>Municípios</i>	<i>ID</i>	<i>Latitude (°)</i>	<i>Longitude (°)</i>
<i>Crateús</i>	42	-5,175	-40,679

Fonte: FUNCEME (2020).

Para calcular a ocorrência média mensal e anual da localidade, foi identificado um período com dados de ocorrências continuamente registrados. Foi selecionada uma série histórica abrangendo 31 (trinta e um) anos, compreendendo o intervalo de 1990 a 2020.

3.3 Cenários de Captação de Água

Os cenários de captação de água da chuva foram estabelecidos com base na quantidade de residentes na casa e área de captação. As quantidades de habitantes usadas foram 2, 4 e 6. Já as áreas dos telhados utilizadas foram 40, 80 e 100 m². Assim, os cenários retratam construções com situações variadas de consumo e captação de águas de chuvas, dando um total de 9 variações de cenários (Tabela 3).

A demanda diária de água considerada neste estudo foi a demanda média para o município de Crateús, de acordo com dados disponibilizados pela Cagece, que foi de 145,95 em litros/hab x dia.

Tabela 3 - Combinação dos Casos Considerados no Dimensionamento do Reservatório.

<i>Caso</i>	<i>Área de Captação</i>	<i>Habitantes</i>
1	40 m ²	2
2		4
3		6
4	80 m ²	2
5		4
6		6
7	100 m ²	2
8		4
9		6

Fonte: Elaborado pela autora.

Optou-se por utilizar telha cerâmica como material de superfície de captação em todos os cenários propostos, dado que é uma cobertura comum em edificações residenciais, apresentando um coeficiente de escoamento superficial igual a 0,8 (Fendrich, 2002).

Consequentemente, o volume de água captado foi multiplicado por esse coeficiente para levar em conta as perdas associadas à captação de chuva no telhado de cerâmica.

Neste estudo, foi considerado o aproveitamento da água da chuva coletada especificamente para uso na descarga das bacias sanitárias. É crucial obter dados precisos sobre o uso para cada finalidade na residência a fim de calcular adequadamente o tamanho do reservatório necessário.

Considera-se que a água potável que seria utilizada nas bacias sanitárias será substituída pela água captada e armazenada no sistema de aproveitamento de água da chuva. De acordo com os valores encontrados na literatura foi considerado neste trabalho um consumo médio de 22,7% de água potável a ser substituída, como apresentado na tabela 4

Tabela 4 - Consumo médio de água potável a ser substituída.

<i>Referências</i>	<i>Bacia Sanitária</i>
<i>Machado (2022)</i>	17,40%
<i>Machado (2022)</i>	31,70%
<i>Oliveira (2005)</i>	19%
<i>Média</i>	22,70%

Fonte: Elaborado pela autora.

3.4 Aplicação dos métodos de Dimensionamento

Os volumes dos reservatórios foram dimensionados para cada cenário considerando os seguintes métodos: o Método de Rippl, o Método Azevedo Neto, o Método prático alemão, o Método prático australiano e o Método prático inglês.

Foram utilizadas séries históricas médias anuais das precipitações para os métodos Azevedo Neto, Prático Inglês e Prático Alemão e médias mensais para os métodos Rippl, e Prático Australiano. O conjunto de equações associado a cada um desses métodos foi apresentado na seção 2.3.

3.5 Avaliação da eficiência

Como uma base de comparação para os outros métodos, foi utilizado o método de balanço hídrico com um avaliador de eficiência.

3.5.1 Balanço Hídrico Diário

Os primeiros milímetros de chuva arrastam consigo impurezas presentes no ar e na área de coleta, tornando essa água inadequada para uso. Essa porção inicial é denominada "first-flush" e deve ser descartada. De acordo com as diretrizes da ABNT (2007), é recomendado eliminar os primeiros 2 milímetros. Assim, o volume de água aproveitável da precipitação é calculado pela Equação 15.

$$V_a = A \times c \times (P - FF) \quad (15)$$

Sendo:

A é a área de coleta, em metros quadrados;

C é o coeficiente de escoamento superficial;

P é a precipitação média, em metros;

FF é o valor de descarte dos milímetros iniciais da chuva, adota-se 2mm.

A avaliação da eficácia do sistema em satisfazer as necessidades é realizada por meio de um modelo de balanço hídrico. Neste estudo, optou-se por utilizar o modelo Supply After Spillage (YAS), explorado por Mitchell (2007), o qual postula que a demanda é suprida após a captação da água da chuva e o transbordamento do reservatório. Esse modelo se fundamenta nas equações 16 e 17.

$$Y_t = \text{menor} \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} + V_a \end{array} \right. \quad (16)$$

$$V_t = \text{menor} \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + V_a - Y_t \\ C + Y_t \end{array} \right. \quad (17)$$

Sendo:

Y_t : é o volume que atendeu a demanda ao final do intervalo t, em m³;

V_t : é o volume armazenado no final do intervalo de tempo t, em m³;

D_t : é a demanda total de água no intervalo de tempo t, em m³;

V_{t-1} : é o volume armazenado ao final do tempo t-1, em m³;

V_a : é a parte da água precipitada que foi captada e armazenada, em m³;

C: é a capacidade de armazenamento da cisterna, em m³.

Conforme as diretrizes da ABNT (2007), é sugerido que a eficácia do sistema esteja dentro da faixa de 90% a 99%. Essa eficácia é calculada pela proporção entre o volume de água fornecido para suprir a demanda (Y) e a própria demanda (D), conforme expresso na equação 18.

$$E = \frac{\sum_{t=1}^T Y_t}{\sum_{t=1}^T D_t} \times 100\% \quad (18)$$

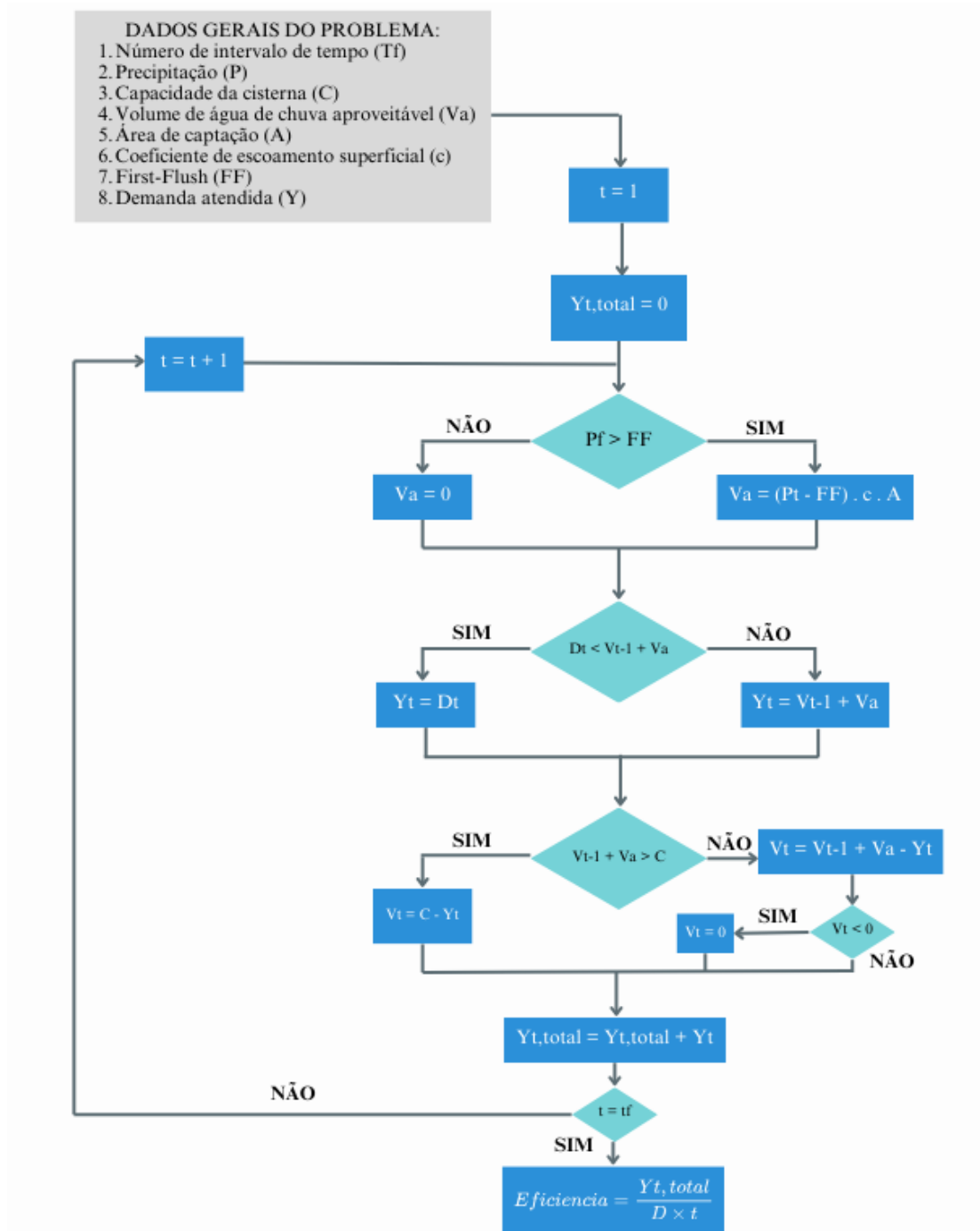
Sendo:

T: É o período total analisado, que neste caso corresponde ao número de dias.

Levando em consideração os registros de precipitação diária, foram conduzidas simulações considerando três variáveis principais: o volume da cisterna, a área disponível do telhado e a demanda diária. Em relação aos volumes de cisterna, foram testados os valores encontrados em cada método.

Para determinar as eficiências individuais de cada cisterna, levando em conta as diferentes áreas de telhado e as demandas a serem supridas, foram realizadas simulações conforme o fluxo delineado na Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma de simulação de reservatório.



Fonte: Adaptado de Minikowski e Maia, 2009.

3.6 Análise de Resultados

Para analisar os resultados encontrados de acordo com o fluxograma (figura 6), foi utilizado a pesquisa conduzida por Khastagir e Jayasuriya (2010) como ponto de partida para calcular um parâmetro adimensional (descrito na equação 19), com o intuito de estabelecer uma relação matemática entre o volume do reservatório, a área de telhado e a demanda diária.

$$\pi = \frac{\left(\frac{C \times A}{D^{\frac{5}{3}}} \right)}{10000} \quad (19)$$

Sendo:

C é a capacidade do reservatório, em m³;

A é a área de telhado disponível, em m²;

D é a demanda diária de água, em m³.

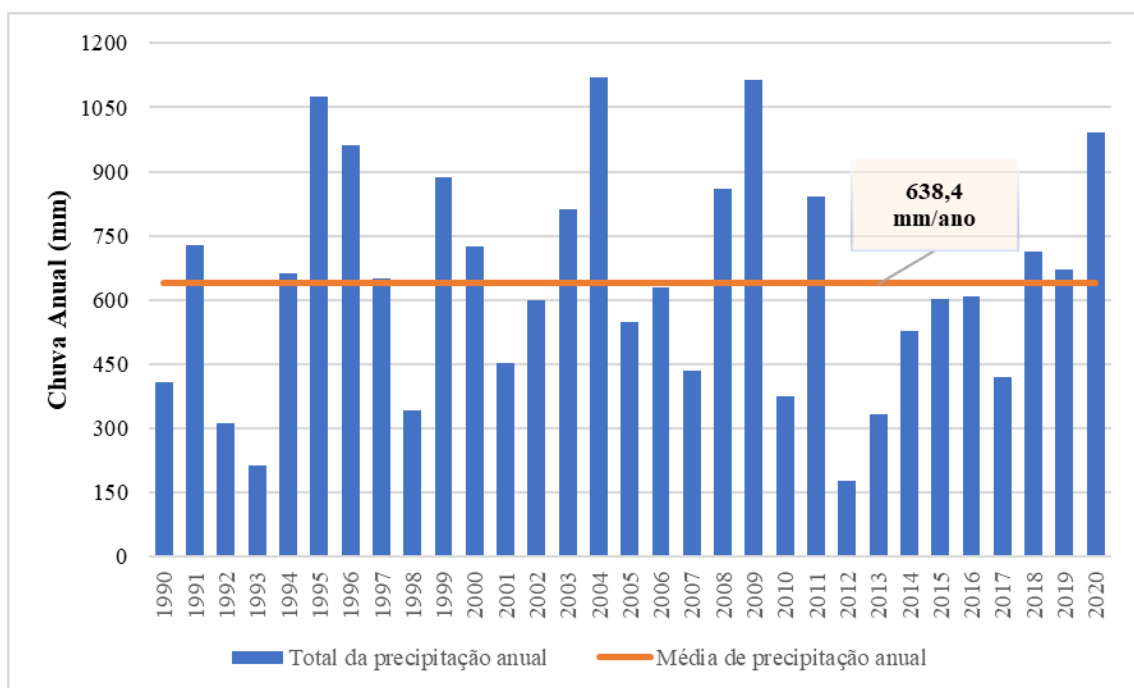
E assim, a partir dos dados encontrados, para cada cenário e para cada método, foi realizada uma discussão sobre vantagens e desvantagens dos métodos para a região de estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise pluviométrica

O gráfico da Figura 7 representa as médias anuais de precipitação na cidade de Crateús entre 1990 e 2020. Esses dados foram obtidos a partir das informações históricas da estação meteorológica de ID 42, administrada pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

Figura 7 - Média Anual das precipitações de Crateús.

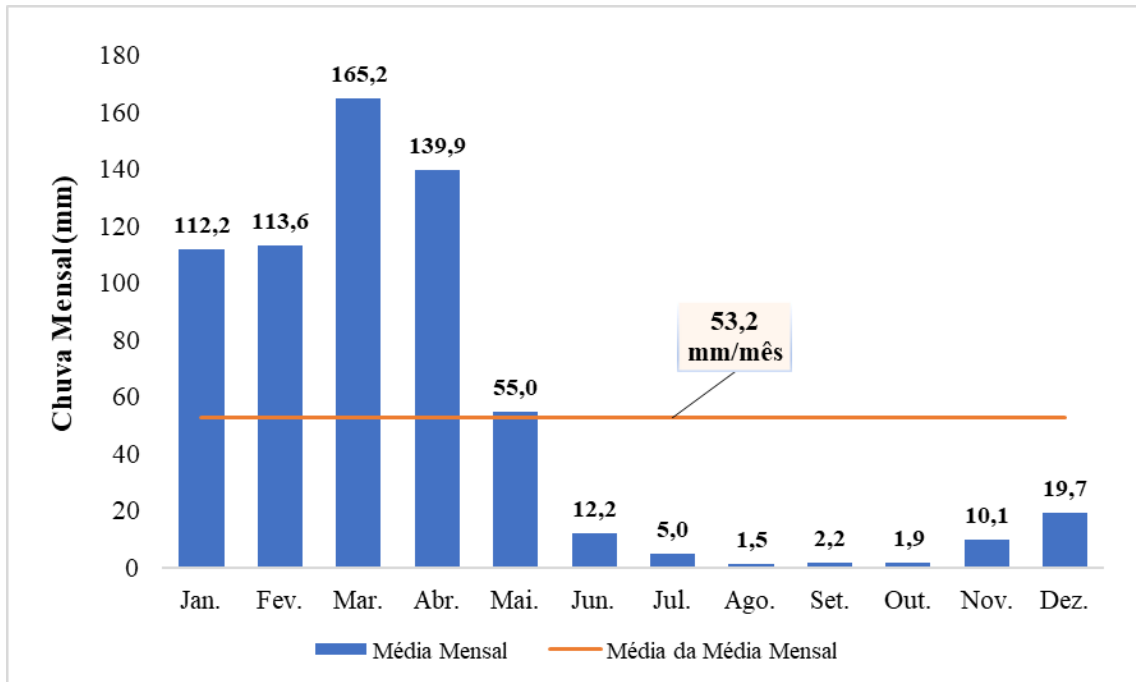


Fonte: Elaborado pela autora.

Com base nestes dados, a precipitação anual média para Crateús é de 638,4 mm/ano. É possível perceber, a partir desse gráfico, a alta variabilidade interanual das precipitações anuais do município, característica de regiões semiáridas. Cabe destacar a última seca que aconteceu na região de 2012 a 2017, onde é possível notar as precipitações abaixo da média.

A figura 8 ilustra as médias mensais para o mesmo período de 1990 a 2020, utilizando os dados da mesma fonte do gráfico anterior.

Figura 8 - Média Mensal de Crateús.



Fonte: Elaborado pela autora.

Neste gráfico, é evidente uma situação preocupante em relação ao dimensionamento do reservatório. Durante um período de sete meses, de junho a dezembro, sendo considerado os meses que apresentaram um valor menor que média mensal, observa-se uma redução drástica na quantidade de chuva na região. Isso indica uma desigualdade na distribuição das chuvas intra anuais em Crateús, o que pode resultar em problemas na disponibilidade de água em sistemas que dependem exclusivamente da água da chuva. Como consequência, pode ser necessário aumentar as dimensões do reservatório, tornando o sistema menos viável e reduzindo seu potencial de economia.

4.2 Cálculo dos volumes dos reservatórios pelos métodos de dimensionamento

4.2.1 Método de Rippl

O Método de Rippl, leva em consideração vários fatores, incluindo a precipitação média mensal, a demanda a ser atendida, a área de captação, o volume de chuva mensal e a diferença entre os volumes de demanda e de chuva.

Para efetuar os cálculos, alguns parâmetros foram fixados, a saber: o percentual de substituição de água potável por água da chuva ($p = 22,7\%$); fator de captação, referente ao dispositivo de descarte de sólidos e o desvio de escoamento inicial ($\eta = 0,85$); o coeficiente

de escoamento superficial ($C = 80\%$); e a demanda total de água em Crateús ($D = 145,95$ l/hab x dia).

As variáveis a serem consideradas foram: a área de captação (A) e o número de habitantes da edificação (Hab). Essas variáveis assumiram os valores previamente estabelecidos na Tabela 3. Os cálculos realizados com o auxílio de planilhas eletrônicas (Apêndice A), resultaram nos seguintes volumes para o reservatório (Tabela 5):

Tabela 5 - Volumes para o Reservatório obtidos através do Método Rippl.

<i>Área de telhado (m^2)</i>	Habitantes	Volume (m^3)
40	2	13,2
	4	31,5
	6	55,2
80	2	11,3
	4	26,4
	6	42,5
100	2	10,5
	4	24,9
	6	41,1

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.2 Método Azevedo Neto

O Método Azevedo Neto, também conhecido como Método Prático Brasileiro, considera apenas três variáveis para determinar o volume do reservatório: a precipitação média anual (P), a área de coleta da precipitação (A) e o número de meses com baixa precipitação.

A área de coleta da precipitação (A) já está definida de acordo com os casos em estudo. A precipitação média anual (P) foi obtida a partir da série histórica de pluviometria, como indicado no gráfico da Figura 7, com o valor numérico de 638,4 mm/ano.

Quanto ao número de meses com baixa precipitação (T), a NBR 15527 (ABNT, 2007) não estabelece critérios específicos para essa definição, e não foram encontradas referências sobre esse critério na literatura consultada.

Para estabelecer um critério para determinar o número de meses com baixa precipitação, foram observados os valores médios mensais de precipitação ao longo da série histórica de 31 anos. Conforme os dados apresentados no gráfico da Figura 8, é viável calcular o valor médio das médias mensais, que totalizam 53,2 mm. Considerando que os meses de junho a dezembro

expõem valores menores do valor médio das médias mensais, é possível estabelecer que o número de meses com baixa chuva é sete ($T = 7$).

Dessa forma, ao empregar $T=7$ e a precipitação anual, encontramos os seguintes valores:

Tabela 6 - Volumes para o Reservatório obtidos Através do Método Azevedo Neto.

<i>Área de telhado (m²)</i>	Habitantes	Volume (m³)
40	2	7,5
	4	7,5
	6	7,5
80	2	15
	4	15
	6	15
100	2	18,8
	4	18,8
	6	18,8

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.3 Método Prático Australiano

O Método Prático Australiano emprega os parâmetros de entrada e dimensiona o reservatório por meio de tentativas. A literatura usa dois pontos principais que resultam em resultados ligeiramente diferentes: primeiro, apenas a hipótese de um reservatório inicialmente vazio é considerada para o cálculo de cada tentativa, e segundo os primeiros 2 mm de cada chuva são ignorados como interceptação. Entretanto, neste trabalho foi necessário considerar o reservatório cheio no início do mês, devido a região em estudo apresentar mais demanda do que chuva.

Nesse cenário, é necessário estabelecer volumes para as tentativas, até que se atinja um valor dentro de um intervalo de confiança de 90% a 99%. Assim, adotou-se o planejamento de utilização de volumes tabelados para realizar as tentativas para os 9 cenários, tais como: 9 m³; 10 m³; 20 m³; 25 m³; 35 m³ e 45 m³. A escolha desses volumes se justifica pela necessidade de encontrar um volume que atenda a confiança de 90% a 99% para cada cenário. A Tabela 7 mostra os valores de reservatório analisados com seus respectivos valores de confiança obtidos.

Tabela 7 - Valores de confiança em função dos volumes de reservatório analisados pelo Método Prático Australiano.

Área de telhado (m ³)	Habitantes	Volume de cisternas (m ³)					
		9	10	20	25	35	45
40	2	83,33	91,67	100	100	100	100
	4	58,33	58,33	83,33	91,67	100	100
	6	33,33	41,67	58,33	58,33	75	91,67
80	2	91,67	91,67	100	100	100	100
	4	66,67	66,67	91,67	100	100	100
	6	58,33	58,33	66,67	75	91,67	100
100	2	91,67	100	100	100	100	100
	4	66,67	66,67	91,67	100	100	100
	6	58,33	58,33	75	75	91,67	100

Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, a tabela 8 mostra o resumo dos volumes estabelecidos pelo Método Prático Australiano.

Tabela 8 - Volumes para o Reservatório obtidos através do Método Prático Australiano.

Área de telhado (m ³)	Habitantes	Volume (m ³)
40	2	10
	4	25
	6	45
80	2	9
	4	20
	6	35
100	2	9
	4	20
	6	35

Fonte: Elaborado pela autora.

No caso da área de telhado 80 m³ e habitantes 2, apresentou 91,67 % de confiança nos volumes de cisterna de 9 m³ e 10 m³. Dessa maneira, foi considerado o volume menor, pois quanto maior o volume de uma cisterna, mais custoso será o sistema.

4.2.4 Método Prático Alemão

Este método é altamente simplificado, determinando que o volume do reservatório seja o menor valor entre 6% do volume anual de precipitação aproveitável ou 6% da demanda anual por água não potável.

Dessa forma, o dimensionamento do reservatório é influenciado por apenas duas grandezas: a área disponível para captação da chuva (A) e o consumo per capita de água. Isso se deve ao fato de que o volume anual de precipitação aproveitável é uma função da área disponível para captação, enquanto a demanda anual por água não potável é uma função de um percentual previamente estabelecido do consumo per capita de água. A Tabela 9 mostra os valores encontrados por meio das equações 8 e 2, respectivamente.

Tabela 9 - Volumes para o Reservatório obtidos através da demanda anual por água não potável e do volume anual de precipitação aproveitável.

Demanda anual de água não potável (m³)	24,2	48,4	72,6
Volume de precipitação anual aproveitável (m³)	17,4	34,7	43,4

Fonte: Elaborado pela autora.

Aplicando a equação 7, chegou-se à conclusão que o dimensionamento dos reservatórios, para todos os cenários, seria utilizados valores dos volumes anuais aproveitáveis, pois apresentou o menor valor entre os 6%, conforme a tabela 10.

Tabela 10 - Volumes para o Reservatório obtidos através do Método Prático Alemão.

Área de telhado (m²)	Habitantes	Demanda anual de água não potável (m³)	Volume aproveitável (m³)
40	2	1,5	1
	4	2,9	1
	6	4,4	1
80	2	1,5	2,1
	4	2,9	2,1
	6	4,4	2,1
100	2	1,5	2,6
	4	2,9	2,6
	6	4,4	2,6

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.5 Método Prático Inglês

Este método determina que o volume do reservatório corresponda a 5% do valor médio potencialmente aproveitável. Para realizar esses cálculos, foi utilizado o valor médio anual de precipitação 638,4 mm, além das áreas disponíveis para captação, estabelecidas em 40 m², 80 m² e 100 m², conforme os casos em estudo. Ao efetuarmos os dimensionamentos para os 9 cenários, os valores obtidos para os reservatórios mostrado na tabela 11.

Tabela 11 - Volumes para o Reservatório obtidos através do Método Prático Inglês.

<i>Área de telhado (m²)</i>	Habitantes	Volume (m³)
40	2	1,3
	4	1,3
	6	1,3
80	2	2,6
	4	2,6
	6	2,6
100	2	3,2
	4	3,2
	6	3,2

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.6 Avaliação da eficiência de cada método

A Tabela 12 apresenta resumo dos volumes dos reservatórios calculados por meio dos métodos citados acima, abrangendo todos os cenários.

Tabela 12 - Resumo dos valores dos dimensionamentos dos reservatórios.

<i>Área de telhado (m²)</i>	<i>Demanda (hab.)</i>	<i>Volume das cisternas (m³)</i>				
		Rippl	Azevedo Neto	Alemão	Australiano	Inglês
40	2	13,2	7,5	1	10	1,3
	4	31,5	7,5	1	25	1,3
	6	55,2	7,5	1	45	1,3
80	2	11,3	15	2,1	9	2,6
	4	26,4	15	2,1	20	2,6
	6	42,5	15	2,1	35	2,6
100	2	10,5	18,8	2,6	9	3,2
	4	24,9	18,8	2,6	20	3,2
	6	41,1	18,8	2,6	35	3,2

Fonte: Elaborado pela autora.

Com base nas combinações de demanda e área de telhado, foram obtidas as eficiências dos volumes encontrados para cada método (Tabela 12), apresentando os resultados conforme listado na Tabela 13.

Tabela 13 - Dados de eficiência dos volumes (em %).

Área de telhado (m ²)	Demanda (hab)	Eficiência (%)				
		Rippl	Azevedo Neto	Alemão	Australiano	Inglês
40	2	67,4	57,67	34,81	63,09	37,01
	4	37,09	34,21	23,08	37,09	24,82
	6	24,72	23,71	17,14	24,72	18,38
80	2	82,6	91,15	47,32	74,87	49,79
	4	67,4	57,67	35,24	63,09	37,01
	6	49,13	43,13	28,06	48,7	29,69
100	2	82,65	96,99	51,39	77,27	54,14
	4	74,75	67,69	38,86	69,21	40,78
	6	59,87	50,82	31,91	58,37	33,6

Fonte: Elaborado pela autora.

Com base nestes dados é possível verificar que, as eficiências dos volumes de reservatório são baixas, e apenas o método Azevedo Neto conseguiu atingir uma eficiência que seja maior que 90%, o que é recomendado pela ABNT (2007), para os cenários que apresentada uma área de 80m² e 100m² com demanda de 2 habitantes.

Medeiros *et al.* (2018), conduziram um estudo de eficiência em Natal/RN, utilizando o mesmo método comparativo deste trabalho. Eles consideraram três variáveis nas simulações: volume da cisterna, área de telhado disponível e demanda diária. Os resultados diferiram deste estudo, pois alcançaram eficiências de cisternas para aproveitamento de água de chuva acima de 90%. Notavelmente, a eficiência aumentou com o incremento da área de telhado e da capacidade do reservatório. Entretanto, é importante ressaltar que o clima predominante em Natal é tropical litorâneo úmido, com um índice pluviométrico de cerca de 1.500 mm/ano e chuvas bem definidas nos meses de outono e inverno. Isso contrasta com a área de estudo deste trabalho, que possui um clima semiárido e chuvas irregulares.

A partir da Tabela 13, observa-se também que a eficiência aumenta conforme se amplia a área do telhado para uma mesma demanda, ou seja, quanto maior a área de captação, melhores são os resultados.

Além disso, nota-se que os cenários com combinações envolvendo 6 habitantes apresentam as menores eficiências. Isso se justifica pelo fato de que o volume captado ao longo do ano é pequeno em relação à demanda, especialmente na região de estudo, onde a precipitação é baixa. Assim, o tamanho do reservatório é irrelevante se não houver chuva suficiente para enchê-lo, o que demonstra que a eficiência está diretamente relacionada ao volume de chuva.

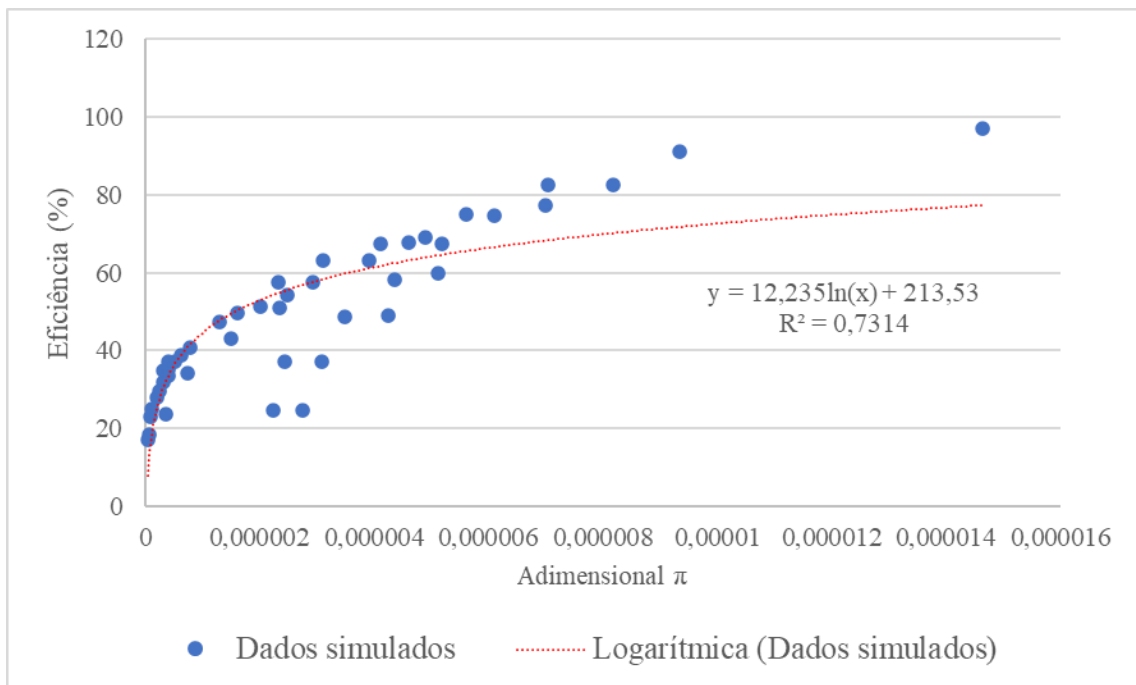
Os métodos Rippl e Prático Australiano obtiveram valores próximos e foram os que tiveram os melhores resultados, dentre os outros métodos. Já os métodos empíricos, Prático

Alemão e Prático Inglês apresentaram as menores eficiências, tendo em vista que são métodos mais simplificados, que não consideram o balanço hídrico entre o volume de captação do cenário e sua demanda.

Segundo Rocha (2009), muitos autores consideram os métodos práticos inadequados, uma vez que generalizam uma série de grandezas de elevada variabilidade, como a precipitação pluviométrica e as demandas de água potável e pluvial.

Foi plotado um gráfico demonstrando a relação entre a eficiência do sistema de aproveitamento de água de chuva e o parâmetro adimensional π , usando a Equação 19 e os dados da Tabela 13 (Figura 9).

Figura 9 - Relação entre a eficiência da cisterna e o adimensional π .



Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo a Equação 19, o parâmetro adimensional π cresce com o aumento da capacidade do reservatório (C) e da área de telhado (A), mas diminui à medida que a demanda (D) aumenta. A Figura 9 ilustra esse crescimento da eficiência em relação ao adimensional, em linha com os resultados das simulações, onde o aumento do tamanho do reservatório e da área de coleta resulta em maior eficiência do sistema.

Ao analisar o gráfico, observa-se que, para pequenos valores de π , um aumento modesto nesse parâmetro resulta em aumentos significativos na eficiência. No entanto, ao considerar valores maiores de π , nota-se que a eficiência não cresce na mesma proporção. Isso é

evidenciado pela inclinação da curva vermelha, que é mais acentuada no início do gráfico e gradualmente diminui.

Além disso, no final da curva vermelha, percebe-se uma tendência de aproximação aos 100%, com a inclinação se tornando assintótica. Isso indica que, independentemente do quanto se aumente o valor de π , não haverá ganhos adicionais substanciais na eficiência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões Gerais

Com base nos objetivos propostos no presente trabalho e nos resultados obtidos, conclui-se que foi possível comparar métodos de dimensionamento de sistemas de armazenamento de águas de chuva para aproveitamento em bacias sanitárias e determinar qual apresenta melhores eficiências em residências, considerando combinações propostas de área de telhado e demanda, no município de Crateús.

No estudo da caracterização pluviométrica do município, foi observada uma alta variabilidade intra anual das precipitações, o que evidencia uma distribuição desigual das chuvas em Crateús, típica de regiões semiáridas. Essa condição pode acarretar problemas na disponibilidade de água em sistemas que dependem exclusivamente da captação de água da chuva.

Com base nos resultados da comparação dos métodos conforme a NBR 15527 (ABNT, 2007), com o método de balanço hídrico diário, apenas o método Azevedo Neto alcançou uma eficiência superior a 90%, conforme recomendado pela ABNT (2007), para cenários com áreas de 80m² e 100m² e demanda de 2 habitantes. Ressalta-se que esse método não leva em consideração a demanda. Portanto, mostrou-se adequado neste estudo apenas para situações onde a demanda é pequena.

Além disso, notou-se que em Crateús - CE, o tamanho do reservatório se torna irrelevante para uma demanda maior, na ausência de chuvas suficientes para enchê-lo, evidenciando que a eficiência está diretamente ligada ao volume de precipitação. Portanto, nessas situações de maiores demandas, levando em consideração a realidade da caracterização da chuva da região, se torna difícil conseguir que os métodos consigam maiores eficiências. Contudo, ao considerar as melhores eficiências em todos os cenários, destacam-se dois métodos: Rippl e Prático Australiano, os quais utilizam o balanço hídrico mensal entre o volume captado no cenário e sua demanda.

Ao analisar os resultados obtidos, verifica-se que, para a realidade de Crateús, os métodos Rippl e Prático Australiano apresentaram-se mais adequados para dimensionar o volume de reservatórios destinados ao aproveitamento de água de chuva com fins não potáveis em residências.

5.2 Sugestões de Trabalhos Futuros

Seria viável realizar estudos comparativos entre os resultados obtidos para a cidade de Crateús - CE e os municípios do Sertão de Crateús, com o objetivo de avaliar a variação nos volumes de reservatório entre diferentes localidades e determinar se os métodos mencionados neste estudo como os mais eficientes, apresentam resultados consistentes em todas as regiões analisadas.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15527: água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos**. São Paulo. 2007.
- ALMEIDA, H. A. de, FREITAS, R. C., SILVA, L. **Determinação de períodos secos e chuvosos em duas microrregiões da Paraíba através da técnica dos quantis**. Revista de Geografia (UFPE), v. 30, n. 1, p. 217-232, 2013.
- AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. (2008). **Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial**. Ambiente Construído, 8(2), pp. 53-66.
- AMORIM, Simar V.; PEREIRA, Daniel J. A. **Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.8, n.2, p.53-66, 2008.
- ANDRADE, L. R. **A influência do regime pluviométrico no desempenho de sistemas de aproveitamento de água de chuva**. 2014. 33 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – UFRN, Natal, 2014.
- ASA. **Ações da Articulação Semiárido Brasileiro**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/acoes/p1mc>. Acesso em: 14 set. 2023.
- ASSIS ENGENHARIA. **NBR 15527:2019 – Aproveitamento de Água de Chuva de Coberturas para Fins Não Potáveis**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://asisengenharia.com.br/index.php/2019/10/18/nbr-155272019-aproveitamento-de-agua-de-chuva-de-coberturas-para-fins-nao-potaveis/>. Acesso em: 5 set. 2023.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA A QUALIDADE DE INSTALAÇÕES PREDIAIS (ANQUIP). (2009) **ETA 0710: sistemas de aproveitamento de águas pluviais em edifícios (SAAP)**. Coimbra: Associação Nacional para a Qualidade de Instalações Prediais. v. 4. 24 p.
- BRASIL. Secretaria de Recursos Hídricos/Ministério do Meio Ambiente – **Água: Manual de Uso**. Brasília – DF, 2006.
- Campos, Arnoldo, e Melo Alves, Adriana. **O Programa Água para Todos: ferramenta poderosa contra a pobreza**, In O Brasil sem miséria, organizado por Tereza Campello, Tiago Falcão, e Patrícia Vieira da Costa, 1ª edição, 2014, p.467–92. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome.
- CAMPOS, M. A. S. et al. **Sistema de aproveitamento de água pluvial: aspectos qualitativos e quantitativos**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 10., 2007, São Carlos. Anais. São Carlos: UFSCar, 2007. 1 CD-ROM.
- CEARÁ, G. E. **Plano estadual de convivência com a seca ações emergenciais e estruturantes**. Fortaleza, 2015.

CEARÁ. **Plano estadual de convivência com a seca**, 2018.

COELHO FILHO, J. M. **Análise de desempenho de reservatório de armazenamento de água de chuva no suprimento domiciliar e controle do escoamento nas cidades de Natal e Caicó**. 2005, 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

COHIM, E. **O VOLUME ÚNICO DAS CISTERNAS RURAIS É ADEQUADO? XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, [s. l.], 2013.

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. **CAPTAÇÃO E APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA: dimensionamento de reservatórios**. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, [s. l.], 2008.

CORRÊA, L. N.; BEZERRA, A. E.; FURLANI, C. E. A. **Métodos de dimensionamento e simulação para reservatórios de água pluvial**. III Workshop Internacional sobre água no Semiárido Brasileiro, [s. l.], 2017.

DAPIEVE, A. R. **Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva no município de caçador/SC**. 2014. Recursos Hídricos (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios) - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, [S. l.], 2014.

DIETRICH, T. P. (2019). **Acesso à Água e Resultados Educacionais. Evidências para o semiárido brasileiro**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Avaliação da sustentabilidade do Programa Cisternas do MDS em parceria com a ASA**. Petrolina: FUNDER/FAO – Embrapa Semiárido – SAGI/DAM/MDS, 2009.

ENNENBACH, M. W.; LARRAURI, P. C.; LALL, U. **County-Scale Rainwater Harvesting Feasibility in the United States: Climate, Collection Area, Density, and Reuse Considerations**. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. p. 1-20, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12607>.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **Panorama da agricultura**. Relatório de 2014. Brasília. Disponível em: <[https://www.fao.org/news/archive/newsbydate/2014/pt/?page=2&ipp=10&no_cache=1&tx_dynalist_pi1\[par\]=YT0xOntzOjE6IkwiO3M6MToiOSI7fQ==>](https://www.fao.org/news/archive/newsbydate/2014/pt/?page=2&ipp=10&no_cache=1&tx_dynalist_pi1[par]=YT0xOntzOjE6IkwiO3M6MToiOSI7fQ==>)>. Acesso em: 5 de agosto de 2023.

FAVRETTO, C. R. **Captação da água da chuva para utilização na lavagem de veículos: Estudo de caso para o município de Pelotas - RS**. 2016. Recursos Hídricos (Engenharia Ambiental e Sanitária) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, [S. l.], 2016.

FENDRICH, R. (2002). **Coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana**. 547 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FILHO, P. F. A. de; CAVALCANTI, A. M. **Avaliação da disponibilidade hídrica para captação de água de chuva**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, [s. l.], 2012.

FREITAS, M. A. V. de; SANTOS, A. H. M. Importância da água e da informação hidrológica. In: FREITAS, M. A. V. de. (Ed.). **O estado das águas no Brasil: perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos**. Brasília, DF: ANEEL/MME/ MMA-SRH/OMM, 1999. p. 13-16. il.

FUNCEME. **Postos Pluviométricos**. [S. l.], 2020. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2694. Acesso em: 17 nov. 2023.

GOLDENFUM, J.A. **Reaproveitamento de Águas Pluviais**. UFRGS-RS. RS. 2005.
IBGE. Censo Demográfico. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 20 out. 2023.

HEBERSON, A. S. *et al.* **Estudo de Metodologias de dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de água de chuva** - Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, [S. l.], 2009.

IBGE. **Cidades e Estados: Crateús**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/crateus.html>. Acesso em: 26 jan. 2024.

IRPAA. **A água no Semiárido Brasileiro**. [S. l.], 2012. Disponível em: <https://irpaa.org/ebookbr/page5.htm#:~:text=O%20Semi%2D%C3%A1rido%20est%C3%A1%20situado,aproximadamente%203.000%20mm%20por%20ano>. Acesso em: 10 ago. 2023.

KHASTAGIR, A.; JAYASURIYA, N. (2010). **“Optimal sizing of rainwater tanks for domestic water conservation”**. Journal of Hydrology, saída 381, p. 181-188, 2010.

LI, X.; JIANG, F.; LI, L.; WANG, G. **Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China**. Int. J. Climatol., n. 31, p. 1679-1693, 2011.

MACHADO, Antonio Victor Lima. **Estudo comparativo de tecnologias de conservação da água em edificações residenciais de pequeno porte**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Campus de Crateús, Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2022. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/67402>.

MACOMBER, P.S.H. **Guidelines on Rainwater Catchment Systems for Hawaii**. Department of Natural Resources and Environmental Management. College of Tropical Agriculture and Human Resource. University of Hawaii at Manoa, 2001.

MANO, R. S.; SCHMITT, C. M. **Captação Residencial de Água Pluvial, para Fins Não Potáveis, em Porto Alegre: Aspectos Básicos da Viabilidade Técnica e dos Benefícios do Sistema**. CLACS' 04 – I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e ENTAC 04, - 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo - SP, Anais. CD Rom, 2004.

MARINOSKI, A.K. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: Estudo de caso em Florianópolis – SC**. Trabalho de Conclusão de

Curso. Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2007.

MAY S.; PRADO R. T. A. **Estudo da Qualidade da Água de Chuva para Consumo Não Potável em Edificações**. CLACS' 04 – I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e ENTAC 04, - 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo - SP, Anais.CD Rom, 2004.

MAY, S. **Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva para Consumo Não Potável em Edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Curso de Pós Graduação em Engenharia da Construção Civil. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MEDEIROS, Guilherme Adler Acirole. **Estudo da eficiência de reservatórios de aproveitamento de água de chuva no município de Natal/RN**. 2018. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

MITCHELL V. G. (2007). “**How important is the selection of computational analysis method to the accuracy of Rainwater tank behavior modelling?**” In: **Hydrological process**. v. 21, p. 2850-2861, 2007.

OLIVEIRA, Edenis César de Oliveira. **Considerações teóricas sobre o processo participativo como modelo de gestão do comitê de bacia hidrográfica no gerenciamento de recursos hídricos: uma abordagem preliminar**. XIV Simpósio de Engenharia de Produção, 2007. Disponível em: <http://www.faculdadesgammon.edu.br/painel/arquivos/24895edenis.pdf>> Consultado em 23/08/2023.

OLIVEIRA, Lúcia Helena. **Guia de Conservação da Água em Domicílios**. FUNASA – Fundação Nacional de Saúde – Ministério da Saúde. Goiânia – GO. 2005. 60p.

ROCHA, V.L. **Validação do Algoritmo do Programa Netuno Para Avaliação do Potencial de Economia de Água Potável e Dimensionamento de Reservatórios de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial em Edificações**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2009.

ROSA, C. S. **Operação De Reservatórios Do Sistema De Abastecimento Dos Municípios Da Região Hidrológica Dos Sertões De Crateús**. 2019. 2019.

SANTOS, C.F; RIOS, M.L; SILVA, F.F; FONSECA, D.L. **Aproveitamento de água de chuva para fins potáveis numa escola pública no interior do município de Campo Formoso (BA)**. Rev. Monogr. Ambient., [s. l.], 16 de maio de 2020.

SCHERVIER, ARTUR *et al.* **Estudo de metodologias de dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de água de chuva**. Construção Civil – Sistemas Prediais (Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, [S. l.], 2009.

SILVA, A. S. **A interferência da crise hídrica na qualidade de vida: Um estudo de caso na cidade de Campina Grande - PB.** 2017. Administração - UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, [s. l.], 2017.

SIMIONI, W.I.; GHISI, E.; GÓMEZ, L.A. **Potencial de economia de água tratada através do aproveitamento de águas pluviais em postos de combustíveis: estudo de caso.** In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1., ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo, SP. Anais... São Paulo: ANTAC, 2004.

SOUSA, A. B. de; NETO, C. O. A. de; MAIA, A. G. **Análise dos métodos de dimensionamento de cisternas com base na avaliação de volumes calculados para zonas pluviais homogêneas distintas.** Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA), [s. l.], 2017.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água de Chuva: Para áreas urbanas e fins não potáveis.** São Paulo: Navegar Editora, 2005. 180p.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. UFRGS/ABRH, 2002.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Global Environment Outlook 3: past, present and future perspectives.** London: Earthscan, 2002.

VIEIRA, N. S.; LOPES, D. P. T.; SILVA, F. A. G. H.; SOARES, N. S. F.; HIGUCHI, A. K. **O Programa Cisternas nas Escolas nos Vales do Jequitinhonha e do Mucuri, Minas Gerais, Brasil.** Administração Pública e Gestão Social, [s. l.], 2022.

WERNECK, G A. M.; **Sistemas de utilização da água da chuva nas edificações: o estudo de caso da aplicação em escola de Barra do Piraí.** Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura - UFRJ/ FAU/ PROARQ Rio de Janeiro: UFRJ/ FAU, 2006.

APÊNDICE A – TABELAS DE CÁLCULOS DO MÉTODO RIPPL

Cenário 1 - 40 m² de área e 2 habitantes

MÊS	Chuva média mensal (mm)	Área (m²)	Vol. De chuva mensal (m³)	Demanda mensal (m³)	Demanda - Volume	Diferença acumulada (m³)
<i>Janeiro</i>	112,2	40	3,1	2	-1,0	
<i>Fevereiro</i>	113,6	40	3,1	2	-1,1	
<i>Março</i>	165,2	40	4,5	2	-2,5	
<i>Abril</i>	139,9	40	3,8	2	-1,8	
<i>Mai</i>	55,0	40	1,5	2	0,5	0,5
<i>Junho</i>	12,2	40	0,3	2	1,7	2,2
<i>Julho</i>	5,0	40	0,1	2	1,9	4,1
<i>Agosto</i>	1,5	40	0,0	2	2,0	6,1
<i>Setembro</i>	2,2	40	0,1	2	2,0	8,0
<i>Outubro</i>	1,9	40	0,1	2	2,0	10,0
<i>Novembro</i>	10,1	40	0,3	2	1,7	11,7
<i>Dezembro</i>	19,7	40	0,5	2	1,5	13,2

Cenário 2 - 40 m² de área e 4 habitantes

MÊS	Chuva média mensal (mm)	Área (m²)	Vol. De chuva mensal (m³)	Demanda mensal (m³)	Demanda - Volume	Diferença acumulada (m³)
<i>Janeiro</i>	112,2	40	3,1	4	1,0	1,0
<i>Fevereiro</i>	113,6	40	3,1	4	0,9	1,9
<i>Março</i>	165,2	40	4,5	4	-0,5	
<i>Abril</i>	139,9	40	3,8	4	0,2	2,1
<i>Mai</i>	55,0	40	1,5	4	2,5	4,7
<i>Junho</i>	12,2	40	0,3	4	3,7	8,4
<i>Julho</i>	5,0	40	0,1	4	3,9	12,3
<i>Agosto</i>	1,5	40	0,0	4	4,0	16,3
<i>Setembro</i>	2,2	40	0,1	4	4,0	20,2
<i>Outubro</i>	1,9	40	0,1	4	4,0	24,2
<i>Novembro</i>	10,1	40	0,3	4	3,8	28,0
<i>Dezembro</i>	19,7	40	0,5	4	3,5	31,5

Cenário 3 - 40 m² de área e 6 habitantes

MÊS	Chuva média mensal (mm)	Área (m²)	Vol. De chuva mensal (m³)	Demanda mensal (m³)	Demanda - Volume	Diferença acumulada (m³)
<i>Janeiro</i>	112,2	40	3,1	6	3,0	3,0
<i>Fevereiro</i>	113,6	40	3,1	6	3,0	6,0
<i>Março</i>	165,2	40	4,5	6	1,6	7,5
<i>Abril</i>	139,9	40	3,8	6	2,2	9,7
<i>Maio</i>	55,0	40	1,5	6	4,5	14,3
<i>Junho</i>	12,2	40	0,3	6	5,7	20,0
<i>Julho</i>	5,0	40	0,1	6	5,9	25,9
<i>Agosto</i>	1,5	40	0,0	6	6,0	31,9
<i>Setembro</i>	2,2	40	0,1	6	6,0	37,9
<i>Outubro</i>	1,9	40	0,1	6	6,0	43,9
<i>Novembro</i>	10,1	40	0,3	6	5,8	49,7
<i>Dezembro</i>	19,7	40	0,5	6	5,5	55,2

Cenário 4 - 80 m² de área e 2 habitantes

MÊS	Chuva média mensal (mm)	Área (m²)	Vol. De chuva mensal (m³)	Demanda mensal (m³)	Demanda - Volume	Diferença acumulada (m³)
<i>Janeiro</i>	112,2	80	6,1	2	-4,1	
<i>Fevereiro</i>	113,6	80	6,2	2	-4,2	
<i>Março</i>	165,2	80	9,0	2	-7,0	
<i>Abril</i>	139,9	80	7,6	2	-5,6	
<i>Maio</i>	55,0	80	3,0	2	-1,0	
<i>Junho</i>	12,2	80	0,7	2	1,4	1,4
<i>Julho</i>	5,0	80	0,3	2	1,7	3,1
<i>Agosto</i>	1,5	80	0,1	2	1,9	5,0
<i>Setembro</i>	2,2	80	0,1	2	1,9	6,9
<i>Outubro</i>	1,9	80	0,1	2	1,9	8,8
<i>Novembro</i>	10,1	80	0,5	2	1,5	10,3
<i>Dezembro</i>	19,7	80	1,1	2	0,9	11,3

Cenário 5 - 80 m² de área e 4 habitantes

MÊS	Chuva média mensal (mm)	Área (m²)	Vol. De chuva mensal (m³)	Demanda mensal (m³)	Demanda - Volume	Diferença acumulada (m³)
<i>Janeiro</i>	112,2	80	6,1	4	-2,1	
<i>Fevereiro</i>	113,6	80	6,2	4	-2,1	
<i>Março</i>	165,2	80	9,0	4	-5,0	
<i>Abril</i>	139,9	80	7,6	4	-3,6	
<i>Mai</i>	55,0	80	3,0	4	1,0	1,0
<i>Junho</i>	12,2	80	0,7	4	3,4	4,4
<i>Julho</i>	5,0	80	0,3	4	3,8	8,2
<i>Agosto</i>	1,5	80	0,1	4	4,0	12,1
<i>Setembro</i>	2,2	80	0,1	4	3,9	16,0
<i>Outubro</i>	1,9	80	0,1	4	3,9	20,0
<i>Novembro</i>	10,1	80	0,5	4	3,5	23,4
<i>Dezembro</i>	19,7	80	1,1	4	3,0	26,4

Cenário 6 - 80 m² de área e 6 habitantes

MÊS	Chuva média mensal (mm)	Área (m²)	Vol. De chuva mensal (m³)	Demanda mensal (m³)	Demanda - Volume	Diferença acumulada (m³)
<i>Janeiro</i>	112,2	80	6,1	6	-0,1	
<i>Fevereiro</i>	113,6	80	6,2	6	-0,1	
<i>Março</i>	165,2	80	9,0	6	-2,9	
<i>Abril</i>	139,9	80	7,6	6	-1,6	
<i>Mai</i>	55,0	80	3,0	6	3,1	3,1
<i>Junho</i>	12,2	80	0,7	6	5,4	8,4
<i>Julho</i>	5,0	80	0,3	6	5,8	14,2
<i>Agosto</i>	1,5	80	0,1	6	6,0	20,2
<i>Setembro</i>	2,2	80	0,1	6	5,9	26,1
<i>Outubro</i>	1,9	80	0,1	6	5,9	32,0
<i>Novembro</i>	10,1	80	0,5	6	5,5	37,5
<i>Dezembro</i>	19,7	80	1,1	6	5,0	42,5

Cenário 7 - 100 m² de área e 2 habitantes

MÊS	Chuva média mensal (mm)	Área (m²)	Vol. De chuva mensal (m³)	Demanda mensal (m³)	Demanda - Volume	Diferença acumulada (m³)
<i>Janeiro</i>	112,2	100	7,6	2	-5,6	
<i>Fevereiro</i>	113,6	100	7,7	2	-5,7	
<i>Março</i>	165,2	100	11,2	2	-9,2	
<i>Abril</i>	139,9	100	9,5	2	-7,5	
<i>Mai</i>	55,0	100	3,7	2	-1,7	
<i>Junho</i>	12,2	100	0,8	2	1,2	1,2
<i>Julho</i>	5,0	100	0,3	2	1,7	2,9
<i>Agosto</i>	1,5	100	0,1	2	1,9	4,8
<i>Setembro</i>	2,2	100	0,2	2	1,9	6,6
<i>Outubro</i>	1,9	100	0,1	2	1,9	8,5
<i>Novembro</i>	10,1	100	0,7	2	1,3	9,9
<i>Dezembro</i>	19,7	100	1,3	2	0,7	10,5

Cenário 8 - 100 m² de área e 4 habitantes

MÊS	Chuva média mensal (mm)	Área (m²)	Vol. De chuva mensal (m³)	Demanda mensal (m³)	Demanda - Volume	Diferença acumulada (m³)
<i>Janeiro</i>	112,2	100	7,6	4	-3,6	
<i>Fevereiro</i>	113,6	100	7,7	4	-3,7	
<i>Março</i>	165,2	100	11,2	4	-7,2	
<i>Abril</i>	139,9	100	9,5	4	-5,5	
<i>Mai</i>	55,0	100	3,7	4	0,3	0,3
<i>Junho</i>	12,2	100	0,8	4	3,2	3,5
<i>Julho</i>	5,0	100	0,3	4	3,7	7,2
<i>Agosto</i>	1,5	100	0,1	4	3,9	11,1
<i>Setembro</i>	2,2	100	0,2	4	3,9	15,0
<i>Outubro</i>	1,9	100	0,1	4	3,9	18,9
<i>Novembro</i>	10,1	100	0,7	4	3,3	22,2
<i>Dezembro</i>	19,7	100	1,3	4	2,7	24,9

Cenário 9 - 100 m² de área e 6 habitantes

MÊS	Chuva média mensal (mm)	Área (m²)	Vol. De chuva mensal (m³)	Demanda mensal (m³)	Demanda - Volume	Diferença acumulada (m³)
<i>Janeiro</i>	112,2	100	7,6	6	-1,6	
<i>Fevereiro</i>	113,6	100	7,7	6	-1,7	
<i>Março</i>	165,2	100	11,2	6	-5,2	
<i>Abril</i>	139,9	100	9,5	6	-3,5	
<i>Maió</i>	55,0	100	3,7	6	2,3	2,3
<i>Junho</i>	12,2	100	0,8	6	5,2	7,5
<i>Julho</i>	5,0	100	0,3	6	5,7	13,2
<i>Agosto</i>	1,5	100	0,1	6	5,9	19,2
<i>Setembro</i>	2,2	100	0,2	6	5,9	25,1
<i>Outubro</i>	1,9	100	0,1	6	5,9	31,0
<i>Novembro</i>	10,1	100	0,7	6	5,4	36,3
<i>Dezembro</i>	19,7	100	1,3	6	4,7	41,1