983 - ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO: UM ESTUDO DE CASO DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM GOIÂNIA-GO

Carolina Souza Orro de Freitas (1)
Engenheira Civil (UFOP). Pós-graduanda em Engenharia de Planejamento e BI (PUC-MG)
Tamara Daiane de Souza (2)
Engenharia Agrícola e Ambienta (UFV). Mestre e Doutora em Recursos Hídricos e Ambientais (UFV). Pós-Graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho (UFV). Professora adjunta da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).
Mila Correa Sampaio (3)
Engenheira Ambiental (FUMEC). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG). Doutora em Engenharia Mecânica (UFMG). Professora adjunta da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Para (Unifesspa).
Ana Letícia Pilz de Castro (4)
Engenheira Sanitarista e Ambiental (UFMT). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG). Doutora em Engenharia Mecânica (UFMG). Professora adjunta da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Endereço(1): Rua Aristóteles Caldeira, 1010 – Grajaú – Belo Horizonte – Minas Gerais – CEP: 30.431-108 – Brasil - Tel: +55 (31) 8773-9467 - e-mail: **carolinaorro9@gmail.com**

RESUMO

A crescente demanda sobre os recursos hídricos aliada à irregularidade dos regimes de chuva e da má gestão dos recursos, tem causado crises no abastecimento de água em diversas regiões. Dessa forma, o aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis apresenta-se como uma alternativa para reduzir a pressão sobre as fontes de abastecimento. O presente artigo apresenta o estudo da viabilidade de implantação de um sistema de captação de água de chuva para fins não potáveis em uma residência unifamiliar localizada em Goiânia-GO. A metodologia envolveu a caracterização do local, análise da precipitação média com base em séries históricas da estação pluviométrica da cidade e aplicação de diferentes métodos de dimensionamento de reservatórios: NBR 15527:2007, como o Método de Rippl, o Método de Azevedo Neto e o Método Prático Alemão. O Método de Rippl resultou em um reservatório com capacidade de armazenamento de 11.156,96 litros, com um potencial de economia médio de 13,47%. Por outro lado, o Método de Azevedo Neto, apresentou um reservatório de 32.782,255 litros e uma economia estimada de 16,21%. Por último, o Método Prático Alemão obteve uma capacidade de 3106 litros, proporcionando uma economia de 11,20% litros.

PALAVRAS-CHAVE: Captação de água de chuva; Sustentabilidade; Recursos hídricos; Dimensionamento de reservatório.

INTRODUÇÃO

No cenário global, o Brasil é visto como uma nação privilegiada pela sua grande reserva hídrica comparado ao mundo, o país possui cerca de 12% do total de água doce no mundo, distribuída em lagos, rios e aquíferos. Segundo Julião (2024), apesar do Brasil possuir uma das maiores bacias hidrográficas do mundo, diversas regiões sofrem com a escassez de água potável causada pelo desequilíbrio entre a distribuição demográfica, industrial e agrícola em relação à concentração dos recursos hídricos.

A partir desse cenário, torna-se importante a implementação de novas técnicas de aproveitamento da água, como a captação de águas pluviais sugerida por Lomeu (2017), como uma alternativa que gera benefícios econômicos, por possibilitar o reuso para atividades que não necessitam de água potável, como limpeza e irrigação. Além disso, a captação da água da chuva pode ser eficaz para a melhoria da infraestrutura de drenagem e mitigação dos impactos dos alagamentos nas cidades brasileiras, visto que o processo de captação reduz a quantidade de água que será escoado para as ruas e para os dispositivos de drenagem, evitando assim, problemas como enchentes e erosão dos solos (Rebouças, 2015).

Contudo um dos maiores problemas na propagação dos sistemas de aproveitamento de águas de chuva, segundo Amorim e Pereira (2004), está associado ao elevado custo de implantação dos reservatórios, diante dessa realidade, é necessário escolher adequadamente o tipo e tamanho do reservatório para garantir a viabilidade técnica e econômica da implantação. Logo, torna-se importante aplicar os métodos de dimensionamento de reservatórios para a introdução de um sistema com eficiência operacional e custo reduzido, visto que os cálculos realizados possuem o intuito de atender à demanda pelo maior prazo possível, podendo ser por dias, por meses ou durante o ano todo (Amorim e Pereira, 2004).

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal realizar uma análise comparativa entre três métodos distintos de dimensionamento de reservatórios de água pluvial aplicados a uma residência unifamiliar situada em Goiânia-GO, sendo eles: o Método de Rippl, o Método de Azevedo Neto e o Método Prático Alemão, conforme preconizado pela norma ABNT NBR 15527 (2007). A pesquisa busca avaliar a eficiência de cada método em termos de atendimento à demanda não potável, bem como a viabilidade prática e econômica de sua implantação.

Os objetivos específicos incluem: dimensionar os volumes dos reservatórios com base em dados reais de consumo e precipitação; simular o desempenho dos sistemas por meio do software Netuno 4, que permite avaliar o percentual de economia de água potável e o comportamento sazonal do sistema; e, por fim, comparar os resultados obtidos a partir de critérios de eficiência, aplicabilidade e custo, com o intuito de indicar o método mais adequado para residências com características semelhantes às do estudo de caso.

METODOLOGIA

A metodologia foi estruturada em quatro etapas principais: levantamento de dados, dimensionamento do sistema, simulações computacionais e análise comparativa dos resultados.

A) Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Goiânia, capital do estado de Goiás, que possui 1.516.113 habitantes e uma área de 728,84 km², localizada a 749 metros de altitude, é considerada uma das cidades com o melhor índice de qualidade de vida do país e com maior área verde por habitante (Goiânia, 2024).

A classificação climática de Goiânia, de acordo com a Embrapa (2024), está localizada na área de clima “Aw” da classificação climática de Koppen-Geiger, que aborda cinco grupos climáticos principais no Brasil, como pode ser visto na Figura 1.

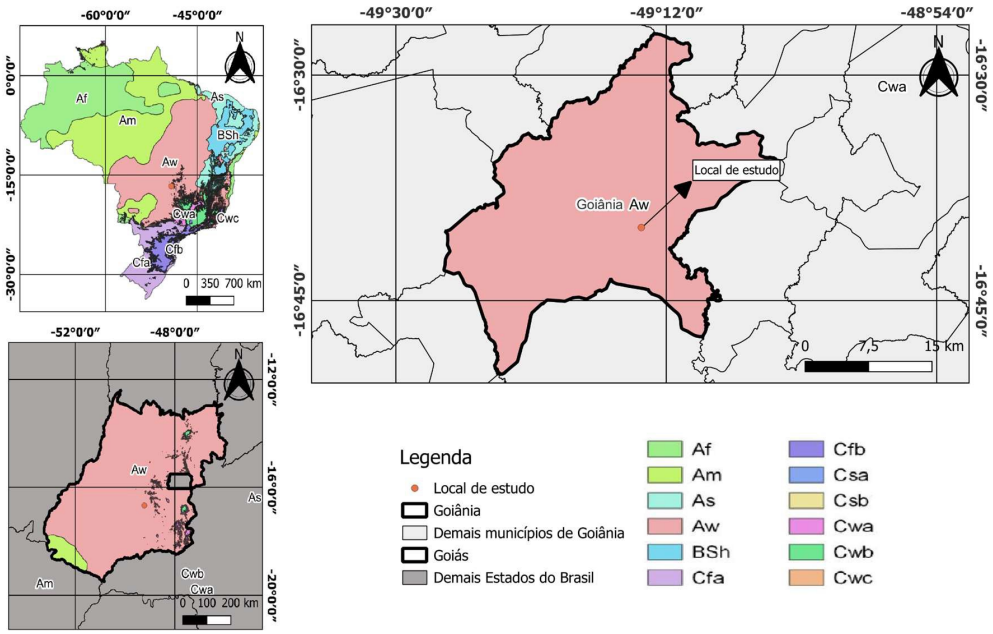

Figura 1: Classificação climática de Köppen

A residência analisada conta com um lote de 360 (m²), dos quais 166,66 (m²) são de área permeável, 193,34 (m²) de área impermeável, e 125,68 (m²) de área de cobertura com potencial para captação é habitada por 3 moradores e possui: 2 quartos, 2 banheiros, varanda, área de serviço, cozinha e garagem.

O telhado, composto por telhas cerâmicas, possui coeficiente de escoamento de 0,85, conforme sugerido por Tomaz (2009) e pela ABNT NBR 15527:2019. O imóvel é habitado por três pessoas e possui dois quartos, dois banheiros, varanda, área de serviço, cozinha e garagem.

B) Dados de precipitação e consumo

Os dados pluviométricos foram obtidos da estação da ANA (Hidroweb), código 01649013, com base em uma série histórica de 1949 a 2021. A precipitação média anual registrada foi de 1.552,6 mm, caracterizando o clima tropical com estação chuvosa bem definida entre novembro e abril, e seca entre maio e setembro. A Estação Pluviométrica está a aproximadamente 4 quilômetros de distância linear da residência. A partir dos dados obtidos gerou-se um gráfico, com a média de precipitação mensal ao longo dos 73 anos, Figura 2.

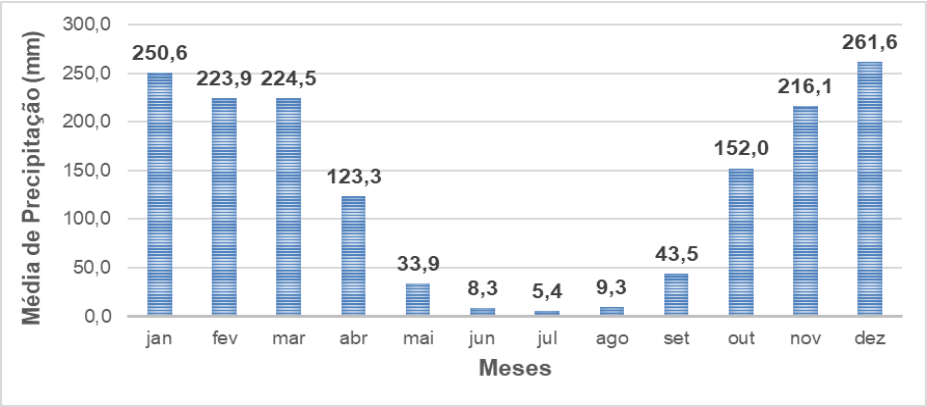

Figura 2 - Média da precipitação mensal em Goiânia de 1949 a 2021

É possível observar que dezembro foi o mais chuvoso ao comparar a média do período analisado com os demais meses, tendo uma média de 261,6 mm. O mês de julho teve o menor índice registrado com 5,4 mm.

A demanda total de água foi estimada a partir da coleta do histórico de consumo dos meses de agosto de 2023 a julho de 2024, obtidos através do site da SANEAGO, companhia de saneamento que opera na cidade. A partir dos dados obtidos, calculou-se a média de consumo mensal do estudo de 21,25 (m³).

A demanda de água potável a ser substituída pela pluvial será obtida a partir de um levantamento do consumo das demandas requeridas para a água pluvial coletada, como: limpeza de varanda, lavagem de carro e irrigação do jardim, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Consumos de água em áreas externas residenciais

Atividade	Unidades	Valores
Lavagem de Carros	L/Lavagem/Carro	150
Torneira de jardim	L/dia	50
Irrigação de Jardim	L/dia/m²	2
Lavagem de Pátio	L/dia/m²	1,5

Legenda: Adaptado de Tomaz (2009).

O volume de água necessário em cada atividade foi estimado pela equação 1.

- $V_{não\ potável} = C \times F$ Equação (1)

Onde:

- Vnão potável: Volume de água não potável (L);
- C: Volume de água consumido por atividade (L);
- F: Frequência em que a atividade é realizada (dia ou mês).

C) Dimensionamento do reservatório

Para o dimensionamento do reservatório é essencial obter-se o Coeficiente de Runoff, ou coeficiente de escoamento superficial da área de captação. Para telhado composto por telhas cerâmicas, que é o caso da residência estudada, foi adotado o valor de 0,85.

Como o objetivo do reaproveitamento de água pluvial é atender a fins não potáveis em uma residência unifamiliar com três moradores, será utilizado apenas um reservatório inferior simples para o armazenamento da água coletada. Isso se justifica pelo fato de a edificação ser de um único pavimento e não haver a intenção de utilizar a água captada para fins internos.

Três métodos foram aplicados para dimensionar o volume ideal de reservatório:

- Método de Rippl: baseado na equação da continuidade hídrica, considera o balanço entre demanda e precipitação mensal acumulada;
- Método de Azevedo Neto: utiliza uma fórmula empírica com coeficiente fixo (0,042), multiplicando a precipitação anual, área de captação e meses secos;
- Método Prático Alemão: adota 6% do menor valor entre a precipitação anual aproveitável e a demanda anual.

Os volumes obtidos por cada método foram inseridos no software Netuno 4, desenvolvido por Ghisi e Cordova (2014), que realiza simulações hidrológicas e fornece a eficiência e viabilidade do sistema em termos de economia de água potável. O programa é amplamente utilizado em estudos relacionados ao aproveitamento de águas pluviais, por permitir uma análise detalhada do desempenho dos sistemas.

D) Simulação com Netuno 4

No Netuno 4, foram inseridos os seguintes dados:

- Área de captação: 125,68 m²
- Precipitação mensal (formato CSV)
- Consumo total: 21,25 m³/mês
- Demanda não potável a ser substituída: 4,31 m³/mês
- Número de moradores: 3
- Coeficiente de escoamento: 0,85
- Volume do reservatório conforme cada método

Com esses dados, foram obtidos os percentuais de economia e eficiência de cada sistema.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na demanda não potável calculada para a residência, o volume total mensal de água potável que pode ser substituído por água pluvial foi estimado em 4.309,16 litros (ou 4,3 m³), o que representa aproximadamente 20,3% do consumo total da residência. Essa substituição parcial tem impacto relevante ao longo do tempo, podendo resultar em uma economia anual de 51.709,92 litros de água potável. Esses valores foram fundamentais para a configuração das simulações no software Netuno 4, que possibilitou a análise do desempenho de diferentes métodos de dimensionamento de reservatórios.

De posse desses dados, partiu-se então para a avaliação comparativa dos volumes projetados pelos três métodos de dimensionamento escolhidos: Rippl, Azevedo Neto e Prático Alemão. A análise permitiu identificar as particularidades de cada abordagem, evidenciando as diferenças nos critérios adotados para o cálculo dos volumes. A Tabela 2 apresenta os volumes obtidos e suas respectivas eficiências em termos de economia de água potável:

Tabela 2: Volume dimensionado e seus potenciais de economia

Método	Volume Dimensionado (L)	Potencial de Economia (%)
Rippl	11.156,96	13,47%
Azevedo Neto	32.782,25	16,21%
Prático Alemão	3.106,00	11,20%

Legenda: Elaborado pela Autora (2025).

O Método de Rippl, amplamente utilizado devido à sua robustez teórica, leva em consideração o balanço hídrico mensal. O Método de Rippl resultou em um reservatório com capacidade de armazenamento de 11.156,96 litros, o método se mostrou eficaz ao dimensionar um volume intermediário com eficiência de 13,47%. Além disso o sistema apresenta a porcentagem de dias em que a demanda por água pluvial será atendida, ele atenderá completamente a demanda em 65,11% dos dias, parcialmente em 1,99% e não atenderá em 32,89% dos dias.

O Método de Azevedo Neto, também chamado de método brasileiro, apresentou o maior volume de reservatório, projetado para armazenar água suficiente durante os meses secos. Isso se reflete diretamente em sua maior eficiência média, contando com um reservatório de 32.782,255 litros e potencial de economia médio equivalente a 16,21%. Já a viabilidade do sistema de captação, ele atenderá completamente a demanda em 78,92% dos dias, parcialmente em 1,45% e não atenderá em 19,62% dos dias.

Contudo, esse resultado deve ser ponderado com as condições econômicas e espaciais do local de instalação, já que um reservatório com esse volume representa um investimento inicial elevado, além de exigir espaço considerável.

Já o Método Prático Alemão é o mais conservador em termos de volume, propondo reservatório de apenas 3.106 litros. Apesar disso, apresentou desempenho inferior aos demais, com economia de 11,20%. Em relação a viabilidade do sistema de captação, ele atenderá completamente a demanda em 52,78% dos dias, parcialmente em 4,61% e não atenderá em 42,61% dos dias. Ainda assim, representa uma solução funcional para residências com espaço reduzido ou menor investimento disponível, e se destaca pela simplicidade de aplicação e rápida implementação.

A tendência de superdimensionamento observada no Método de Azevedo Neto neste estudo também foi identificada por Rezende e Tecedor (2017), cujo trabalho resultou em um volume de reservatório estimado em 130.630 litros, valor considerado excessivamente elevado e economicamente desfavorável, por demandar estruturas de maior porte e custo. No mesmo estudo, o Método de Rippl, adotado como o mais adequado, apresentou um volume de 13.640 litros, evidenciando sua capacidade de fornecer resultados intermediários mais compatíveis com a realidade de projetos residenciais.

Além disso, o uso do Método de Rippl é amplamente recomendado na literatura, como em May (2004), Hernandes et al. (2004) e Campos (2004), que o classificam como um método eficiente, de aplicação prática simples e com boa representatividade dos regimes hidrológicos locais.

Por outro lado, o Método Prático Alemão, de acordo com Rezende e Tecedor (2017), resultou em um sistema subdimensionado, com reservatório de 8.890 litros, corroborando sua tendência de gerar volumes menores. Isso reforça sua adequação para projetos de menor escala, como é o caso do sistema proposto neste trabalho, voltado a uma residência unifamiliar com demanda restrita a usos não potáveis.

CONCLUSÃO

A escolha do método de dimensionamento de reservatórios para sistemas de aproveitamento de água pluvial exerce influência direta sobre a eficiência técnica, o custo de implantação e a funcionalidade dos sistemas. Este estudo, ao aplicar os métodos de Rippl, Azevedo Neto e Prático Alemão conforme a NBR 15527 (2007), demonstrou que há divergências significativas nos volumes projetados por cada abordagem, o que impacta não apenas na economia de água potável alcançada, mas também na viabilidade econômica e operacional da solução proposta.

Os resultados obtidos evidenciam que o Método de Azevedo Neto, por adotar uma abordagem mais conservadora voltada à retenção hídrica durante períodos de estiagem, resultou no maior volume de reservatório e na maior economia de água. No entanto, esse desempenho técnico vem acompanhado de custos mais elevados e maior exigência de espaço, o que pode inviabilizar sua aplicação em residências com limitações estruturais ou orçamentárias. Por outro lado, o Método Prático Alemão apresentou o menor volume e menor eficiência, sendo mais indicado para projetos de menor escala, com menor complexidade e uso mais pontual da água de chuva.

Entre os métodos analisados, o Método de Rippl mostrou-se o mais equilibrado, proporcionando um dimensionamento intermediário que conciliou boa eficiência hídrica com menores exigências de implantação. Sua capacidade de considerar o balanço hídrico mensal torna-o uma alternativa versátil, especialmente para contextos com regime pluviométrico sazonal, como o da cidade de Goiânia, onde o estudo foi realizado.

Portanto, a escolha do método de dimensionamento ideal deve ir além dos valores de economia de água. É fundamental que sejam considerados aspectos como disponibilidade de espaço físico, capacidade financeira do usuário, facilidade de implantação e manutenção, bem como a variabilidade climática da região. A adoção de ferramentas de simulação, como o software Netuno 4, se mostra essencial para validar as decisões de projeto com base em dados reais.

Recomenda-se que futuros estudos aprofundem a análise econômica dos sistemas, considerando o tempo de retorno do investimento e os custos operacionais. Além disso, é imprescindível o fortalecimento de políticas públicas que incentivem o uso de tecnologias sustentáveis como a captação de águas pluviais, tanto em residências quanto em edificações comerciais e públicas. O avanço dessas iniciativas pode contribuir significativamente para a resiliência hídrica das cidades brasileiras e para o enfrentamento de períodos de escassez.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Introdução ao aproveitamento de água pluvial. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 53–69, 2004. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/5359/3284. Acesso em: 10 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

CAMPOS, M. A. S. Aproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais multifamiliares na cidade de São Carlos. 2004. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4636/DissMASC.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 abr. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Clima de Carlos Botelho (SP). Colombo: Embrapa Florestas, 2007. Disponível em: https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm. Acesso em: 10 abr. 2025.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. Netuno 4: manual do usuário. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/Manual-Netuno-4_Junho2014.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025.

GOIÂNIA. Prefeitura Municipal de Goiânia. Sobre Goiânia. 2024. Disponível em: https://www.goiania.go.gov.br/sobre-goiania/. Acesso em: 10 abr. 2025.

HERNANDES, A. T.; CAMPOS, M. A. S.; AMORIM, S. V. Análise de custo da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial para uma residência unifamiliar na cidade de Ribeirão Preto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 4., 2004, Campina Grande. Anais [...]. Campina Grande: [s.n.], 2004.

JULIÃO, N. L. Gestão sustentável de recursos hídricos: proposta de uma matriz de avaliação dos indicadores de sustentabilidade das ações propostas no Plano de Bacias 2020 / 2035 dos Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Campinas: [s.n.], 2024. Disponível em: https://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/bitstream/handle/123456789/17284/cea_ppgsust_disst_juliao_niltonl.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 abr. 2025.

LOMEU, A. A. Aproveitamento de águas pluviais: avaliação preliminar do custo-benefício da implementação de um sistema na Universidade Federal de Juiz de Fora - MG. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2017. Disponível em: http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/Aproveitamento-de%20%C3%A1guas-pluviais.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025.

MAY, S. Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. 2004. 193 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-02082004-122332/publico/simonemay.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025.

REBOUÇAS, A. C. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 4. ed. São Paulo: Escrituras, 2015. Cap. 1 – Água doce no mundo e no Brasil, p. 1–36.

REZENDE, H. R.; TECEDOR, N. Aproveitamento de água de chuva de cobertura em edificações: dimensionamento do reservatório pelos métodos descritos na NBR 15527. Revista Ambiente & Água, Taubaté, v. 12, n. 5, p. 764-777, 2017. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/ggpxVmJS8rphCrSGf9zLsFL/?lang=pt. Acesso em: 10 abr. 2025.
TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar, 2009.