REVISTA DE TECNOLOGIA APLICADA (RTA)
Vol. 15, No. 1, Jan-Abr 2026, p.13-27
ISSN: 2237-3713

Estimativa computacional do aproveitamento de água da chuva em residência unifamiliar em Nova Iguaçu, RJ*

Computational estimation of rainwater harvesting in a single-family house in Nova Iguaçu, Rio de Janeiro, Brazil

Lucas Leão da Costa Ferreira
Universidade Iguaçu
260005798@aluno.unig.edu.br

Kaique Nunes Oliveira
Universidade Iguaçu
260017850@aluno.unig.edu.br

Cauã Pecene Gonçalves dos Santos
Universidade Iguaçu
260007621@aluno.unig.edu.br

João Vitor de Lemos Santos
Universidade Iguaçu
260025402@aluno.unig.edu.br

Douglas Vieira Barboza
Universidade Iguaçu
douglas.barboza@campus1.unig.br

RESUMO

O aproveitamento da água da chuva representa uma alternativa para reduzir o consumo de água potável em atividades não potáveis, embora sua eficiência dependa da relação entre a sazonalidade das precipitações, a demanda e a capacidade de armazenamento. Nesse contexto, o estudo teve como objetivo estimar o potencial de aproveitamento pluvial em uma residência unifamiliar hipotética localizada em Nova Iguaçu (RJ), por meio de um algoritmo desenvolvido em Python, considerando três capacidades de reservação. A pesquisa, de natureza aplicada e abordagem quantitativa, fundamentou-se em levantamento bibliográfico e documental e na simulação de um balanço hídrico mensal, considerando uma cobertura de 80 m², coeficiente de aproveitamento de 0,75, precipitação anual de 1.408 mm e demanda mensal de 6.000 L. Foram avaliados reservatórios de 0, 3.000 e 5.000 L. A captação potencial anual foi de 84.480 L, enquanto o atendimento da demanda atingiu 81,25%, 85,42% e 88,19%, respectivamente. Concluiu-se que o armazenamento ameniza os efeitos da sazonalidade, mas não assegura o atendimento integral da demanda, sendo o algoritmo uma ferramenta de avaliação preliminar, e não de dimensionamento definitivo.

Palavras-chave: Balanço hídrico. Sustentabilidade hídrica. Simulação computacional. Dimensionamento de reservatórios. Gestão de recursos hídricos.

* Recebido em 26 de fevereiro de 2026, aprovado em 24 de março de 2026, publicado em 30 de abril de 2026.

ABSTRACT

Rainwater harvesting represents a viable alternative for reducing potable water consumption in non-potable applications, although its effectiveness depends on the relationship between rainfall seasonality, water demand, and storage capacity. In this context, this study aimed to estimate the potential for rainwater harvesting in a hypothetical single-family residence located in Nova Iguaçu, Rio de Janeiro, Brazil, using an algorithm developed in Python and comparing three storage capacities. The applied research adopted a quantitative approach, based on a literature and documentary review, combined with a monthly water balance simulation. The analysis considered a roof area of 80 m², a runoff coefficient of 0.75, an annual rainfall depth of 1,408 mm, and a monthly water demand of 6,000 L. Storage tanks with capacities of 0, 3,000, and 5,000 L were evaluated. The estimated annual rainwater harvesting potential was 84,480 L, while demand satisfaction rates reached 81.25%, 85.42%, and 88.19%, respectively. The results indicate that storage capacity helps mitigate the effects of rainfall seasonality but does not ensure full demand coverage. Therefore, the developed algorithm serves as a preliminary assessment tool rather than a definitive system sizing method.

Keywords: Water balance. Water sustainability. Computer simulation. Storage tank sizing. Water resources management.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda por água nos centros urbanos tem ampliado o interesse por fontes alternativas de abastecimento em edificações. O aproveitamento de água da chuva é uma delas: permite substituir água potável em usos que não exigem qualidade para consumo humano, como descargas sanitárias, limpeza de áreas externas e irrigação paisagística, e pode reduzir a dependência dos sistemas convencionais e favorecer o manejo descentralizado das águas pluviais (CAMPISANO et al., 2017; TESTON et al., 2018). O desempenho de cada instalação depende, porém, da combinação entre precipitação, área de captação, demanda não potável e capacidade de armazenamento, variáveis que precisam ser analisadas em conjunto.

No Brasil, a ABNT NBR 15527 trata do aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis, e a ABNT NBR 16783 dispõe sobre o uso de fontes alternativas de água não potável em edificações (ABNT, 2019a, 2019b). As duas normas abrangem a concepção dos sistemas, a separação das redes, a qualidade da água, o armazenamento, a operação e a manutenção. A viabilidade de um sistema depende, assim, além do volume captável, das condições técnicas e sanitárias de uso.

A parcela do consumo doméstico atendível por fontes alternativas varia conforme o contexto. Ribeiro e Ghisi (2023), ao estudarem uma unidade habitacional em Belo Horizonte, observaram que descargas sanitárias, limpeza e uso da máquina de lavar roupas somavam 36,5% do consumo total da residência. Ghisi, Bressan e Martini (2007) estimaram, para 195 municípios do Sudeste brasileiro, potencial médio de economia de água potável de aproximadamente 41%, com diferenças entre os municípios associadas à pluviometria, à demanda residencial e à capacidade dos reservatórios.

A capacidade do reservatório está entre os parâmetros mais discutidos. Campisano e Modica (2012) reforçam que ampliar o armazenamento não resulta necessariamente em

melhoria proporcional do desempenho. Amorim e Pereira (2008) e Rupp, Munarim e Ghisi (2011) compararam métodos de dimensionamento e encontraram capacidades distintas para uma mesma configuração, e Brandão e Marcon (2018) analisaram os métodos da NBR 15527 por simulação diária, indicando que a resolução temporal dos dados influencia a representação do desempenho. Estudos sobre superfícies de captação, descarte inicial e contaminação microbiológica acrescentam que a água armazenada não deve ser tratada como adequada a qualquer uso sem controle (TEIXEIRA et al., 2017; GIKAS; TSIHRINTZIS, 2017; HAMILTON et al., 2019).

Do ponto de vista tecnológico, a simulação permite organizar variáveis, reproduzir cálculos e comparar configurações. Além de programas específicos, como o Netuno, linguagens de uso geral como Python possibilitam construir algoritmos adaptáveis às premissas de cada cenário, o que as torna úteis como recurso analítico e didático na Engenharia Civil. Essa opção por ferramentas acessíveis dialoga com a inovação frugal (ALVES; NODARI, 2023; SASAGAWA et al., 2025) e com trabalhos recentes que aplicam tecnologias digitais a sistemas hidráulicos, como o monitoramento de reservatórios com ESP32 (SANTANA et al., 2025) e o monitoramento de redes de esgotamento com IoT e computação em nuvem (PEREIRA et al., 2025). Esses estudos tratam de problemas distintos do aqui abordado e servem como contexto de aplicação da programação à gestão de recursos hídricos, não como base de comparação dos resultados.

Em Nova Iguaçu, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, Costa (2020) registra índice pluviométrico anual de 1.408 mm, com chuvas concentradas no verão. A sazonalidade favorece a captação em alguns meses e limita o abastecimento alternativo em outros, o que torna a capacidade de armazenamento relevante para aproveitar os excedentes dos meses chuvosos.

A literatura já oferece avaliações de potencial de economia, métodos de dimensionamento e ferramentas específicas. Permanece pertinente, contudo, examinar em configuração residencial delimitada, com premissas explícitas e programação de uso geral, como diferentes capacidades de armazenamento alteram o atendimento de uma demanda não potável sob uma distribuição pluviométrica sazonal específica. Esse exercício é útil em estudos preliminares e no ensino de Engenharia Civil, porque expõe as premissas e permite comparar cenários de forma reproduzível.

O problema de pesquisa é: como diferentes capacidades de armazenamento influenciam o atendimento de uma demanda residencial não potável por meio do aproveitamento de água da chuva, considerando a sazonalidade pluviométrica de Nova Iguaçu? O objetivo geral é estimar o potencial de aproveitamento em uma residência unifamiliar hipotética em Nova Iguaçu, por meio de um algoritmo em Python, comparando três cenários: sem reservatório, com 3.000 L e com 5.000 L. Os objetivos específicos são estimar os volumes mensais e anuais potencialmente captáveis a partir da área de cobertura e do coeficiente de aproveitamento; simular o balanço hídrico com a precipitação, a demanda e as capacidades de armazenamento; e comparar os cenários quanto ao volume utilizado e ao percentual de atendimento da demanda.

Trata-se de pesquisa aplicada, de abordagem quantitativa, com levantamento bibliográfico e documental e simulação computacional de balanço hídrico mensal, a partir de cobertura de 80 m², coeficiente de aproveitamento de 0,75, demanda mensal constante de 6.000 L e precipitação de 1.408 mm anuais. A contribuição é um procedimento computacional simplificado e reproduzível. O modelo tem caráter preliminar: usa dados mensais e não incorpora séries diárias, descarte inicial, perdas operacionais, variações de consumo nem avaliação da qualidade da água. Por isso, não substitui o projeto hidrossanitário, o atendimento às normas técnicas e a manutenção exigidos em sistemas reais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Aproveitamento de água da chuva em edificações

Um sistema de aproveitamento reúne cobertura de captação, calhas, condutores, descarte inicial, filtragem, reservatório e rede de distribuição destinada aos pontos não potáveis. A ABNT NBR 15527 estabelece requisitos para componentes, qualidade da água, operação e manutenção (ABNT, 2019a). Teston et al. (2018), em revisão de estudos brasileiros, observaram potencial de economia de água potável, com desempenho dependente da precipitação, da área de telhado, da demanda e da reservação. Campisano et al. (2017) acrescentam que os sistemas urbanos também contribuem para o manejo descentralizado das águas pluviais, benefício que exige projeto, operação e manutenção adequados. Maykot e Ghisi (2020) avaliaram um sistema desse tipo em edifício residencial multipavimentos no Brasil.

2.2 Usos não potáveis e qualidade da água

A substituição de água potável por água pluvial exige identificar os usos finais, verificar a compatibilidade entre a qualidade disponível e a finalidade e adotar medidas de armazenamento, distribuição e utilização seguras. Ribeiro e Ghisi (2023) partiram de medições de vazão, registros de uso dos equipamentos e acompanhamento do consumo em uma unidade residencial de Belo Horizonte, e concluíram que descargas sanitárias, limpeza e máquina de lavar roupas correspondiam a 36,5% do consumo. O percentual pertence à unidade estudada, mas mostra a utilidade do levantamento de usos finais. Os autores também usaram o programa Netuno para avaliar capacidades de reservatório. Ghisi, Bressan e Martini (2007), com resultado médio de cerca de 41% de economia potencial na região Sudeste e diferenças expressivas entre municípios, ressaltaram que a viabilidade depende da relação entre pluviometria, demanda da edificação e capacidade do reservatório.

A ABNT NBR 16783 inclui a água de chuva entre as fontes alternativas de água não potável e lista como usos potenciais a descarga de bacias sanitárias e mictórios, a lavagem de pátios, garagens, veículos e áreas externas, a irrigação paisagística, os usos ornamentais, o resfriamento de água e o arrefecimento de telhados. A norma exige que os sistemas de água não potável sejam independentes dos de água potável e que, para usos não listados, sejam avaliados os parâmetros de qualidade pertinentes (ABNT, 2019b).

A qualidade da água captada varia com o material da cobertura e com as condições de coleta e armazenamento. Teixeira et al. (2017) compararam, em Curitiba, a água de telhados com telhas de concreto e de coberturas vegetadas, encontraram diferenças em turbidez,

demanda química de oxigênio e acidez, e verificaram que nenhuma amostra atendeu aos parâmetros microbiológicos da versão da NBR 15527 então vigente. Gikas e Tsihrintzis (2017) avaliaram o efeito do material de cobertura, do descarte inicial e dos dias secos antecedentes: a água desviada pelos dispositivos de descarte inicial tinha qualidade inferior à dos reservatórios, mas ainda assim houve coliformes totais nas amostras analisadas, de modo que o descarte reduz a contaminação sem dispensar a avaliação microbiológica. Hamilton et al. (2019), em revisão internacional sobre tanques de cobertura, apontaram que a contaminação microbiológica pode ocorrer em várias etapas do sistema e que a manutenção das coberturas, o descarte inicial, a proteção dos reservatórios e o monitoramento são medidas preventivas.

A operação segura depende também da conduta dos usuários, como a limpeza periódica das calhas, a inspeção de filtros e a conservação dos reservatórios. Moraes e Silva (2024), tratam de práticas preventivas no cotidiano, e, por analogia, ilustram que medidas preventivas dependem da percepção e da adesão das pessoas, o que vale também para a manutenção de instalações de água não potável.

A avaliação de um sistema tem, portanto, duas dimensões: a disponibilidade quantitativa, que indica o volume disponível para atender à demanda, e a adequação qualitativa, que define as condições de uso seguro. Este estudo se concentra na primeira.

2.3 Precipitação, demanda e armazenamento

O dimensionamento depende da relação entre o regime de precipitação, a área de captação, o coeficiente de escoamento, a demanda e a capacidade do reservatório. Essas variáveis determinam o volume captável e a parcela que será de fato utilizada, de modo que o total anual de chuva, isoladamente, não basta: importam sua distribuição no tempo e sua compatibilidade com o padrão de consumo.

Rupp, Munarim e Ghisi (2011) compararam métodos de dimensionamento da normalização brasileira com resultados do programa Netuno, variando área de captação, demanda e precipitação, e constataram que certos métodos podem levar a reservatórios subdimensionados ou superdimensionados. Amorim e Pereira (2008) também mostraram que a escolha do método altera o volume calculado. Brandão e Marcon (2018) analisaram métodos de dimensionamento com base em simulação diária, observaram diferenças nos níveis de garantia de abastecimento e ressaltaram o papel do balanço hídrico. Dados diários representam melhor a alternância entre períodos chuvosos e secos e permitem identificar insuficiências que médias mensais podem ocultar. Campisano e Modica (2012) investigaram o dimensionamento de tanques domésticos conforme a precipitação e a demanda, e seu estudo reforça que o ganho adicional de um reservatório maior depende da água captável e da frequência com que o volume armazenado é usado.

O balanço hídrico considera a entrada de água pela precipitação, o volume previamente armazenado, o consumo e a limitação física do reservatório. Quando o volume disponível excede a capacidade, o excedente extravasa; quando não cobre o consumo, é necessária outra fonte de abastecimento. Essa dinâmica explica por que reservatórios de capacidades diferentes apresentam desempenhos distintos sob a mesma série de chuvas.

Quanto aos dados de entrada, o Instituto Nacional de Meteorologia disponibiliza as Normais Climatológicas do Brasil de 1991 a 2020, que caracterizam padrões sazonais de precipitação (INMET, 2024), e o Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, com registros históricos diários de estações convencionais, adequado a estudos que exigem maior detalhamento temporal (INMET, [s.d.]). Para Nova Iguaçu, Costa (2020) registra 1.408 mm anuais com concentração das chuvas no verão, informação usada neste estudo como condição climática de referência.

2.4 Simulação computacional, programação e aplicações tecnológicas

Modelos como o Netuno usam precipitação, área de cobertura, demanda e reservatório para estimar economia, extravasamento e falhas de atendimento (RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011). O algoritmo em Python deste estudo segue o mesmo princípio de balanço hídrico, mas foi elaborado com finalidade didática e analítica. Como a linguagem é de uso geral, os parâmetros de entrada ficam explícitos e os cálculos podem ser repetidos por qualquer leitor, o que favorece a comparação de cenários antes do detalhamento de projeto.

O uso de ferramentas computacionais acessíveis pode ser associado à inovação frugal, entendida como a busca por soluções que otimizem recursos e agreguem valor. Alves e Nodari (2023), identificaram dimensões como agregação de valor, otimização de processos, capital humano e modelos de negócios. Sasagawa et al. (2025) discutem, a viabilidade e a resiliência de sistemas IoT de baixo custo para telemetria ambiental sob a ótica da inovação frugal. Em ambos, a ideia comum é obter resultados úteis com poucos recursos, o que se aproxima da estimativa preliminar por programação, que dispensa instalações experimentais.

Outros estudos mostram aplicações tecnológicas a sistemas hidráulicos. Santana et al. (2025) desenvolveram e avaliaram, em ambiente simulado, um sistema de monitoramento e controle de reservatórios, que acompanha o volume armazenado e automatiza o acionamento de uma bomba. Pereira et al. (2025) propuseram um modelo de monitoramento de redes de esgotamento sanitário capaz de representar níveis e gerar alertas em ambiente simulado. Gonçalves et al. (2025) tratam de automação de baixo custo para sistemas de bombeamento por meio de um controle sequencial, isto é, de operações hidráulicas organizadas em etapas ordenadas, lógica análoga à do balanço mensal encadeado do presente algoritmo. Esses trabalhos são referências para futuras integrações entre simulação, monitoramento do nível dos reservatórios e controle operacional.

A sustentabilidade das soluções computacionais também envolve aspectos relacionados ao consumo de energia e à eficiência das arquiteturas de software. Neves et al. (2025), identificaram tendências de pesquisa e desafios relacionados à avaliação e à padronização de métricas. Essa discussão amplia a compreensão sobre a sustentabilidade tecnológica das ferramentas computacionais, embora o presente estudo esteja concentrado na estimativa quantitativa do aproveitamento de água da chuva, sem avaliar o consumo energético do algoritmo desenvolvido.

Por fim, o uso de tecnologia deve considerar o contexto social em que é aplicado. Barboza e Winter (2026) discutem a importância dos indicadores de ciência, tecnologia e inovação para

a inclusão social e o enfrentamento das desigualdades, destacando a necessidade de contextualizar a aplicação dessas ferramentas. Nesse sentido, a utilização de programação para estimar o aproveitamento de água da chuva representa uma aplicação acadêmica da tecnologia voltada à análise de uma alternativa de conservação de recursos hídricos, e Braga, Storino e Avelar (2026) trazem uma perspectiva quanto a importância das ferramentas digitais na estruturação de soluções inovadoras, ou seja, o desenvolvimento de soluções tecnológicas também pode ser relacionado à utilização de plataformas digitais como instrumentos de apoio à inovação e à sustentabilidade.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da pesquisa e do objeto de estudo

A pesquisa é de natureza aplicada, com abordagem quantitativa e delineamento baseado em levantamento bibliográfico e documental, complementado por simulação computacional. A natureza aplicada decorre do uso de conhecimentos de Engenharia Civil e de programação para avaliar uma situação hipotética de aproveitamento de água da chuva em edificação residencial. A abordagem quantitativa se justifica pelo uso de variáveis numéricas, operações matemáticas e indicadores de desempenho para estimar volumes captáveis e comparar o atendimento da demanda sob diferentes condições de armazenamento.

O trabalho teve duas etapas. Na primeira, levantaram-se publicações científicas sobre aproveitamento de água pluvial, dimensionamento de reservatórios, qualidade da água da chuva e aplicação de recursos computacionais a sistemas hidráulicos, além das normas ABNT NBR 15527 e ABNT NBR 16783. Na segunda, desenvolveu-se uma simulação em Python, estruturada no balanço hídrico mensal, que relaciona precipitação, área de captação, coeficiente de aproveitamento, demanda não potável e capacidade do reservatório.

O objeto é uma residência unifamiliar hipotética em Nova Iguaçu (RJ). Não houve visitas técnicas, medições em edificações, experimentos, entrevistas ou levantamentos de consumo, de modo que os parâmetros são premissas de simulação, e não características observadas em uma unidade existente. De Costa (2020) adotou-se a precipitação anual de 1.408 mm e a descrição de concentração das chuvas no verão, como condição climática de referência, e não como série histórica diária de estação meteorológica.

3.2 Variáveis, premissas e cenários

Definiram-se cinco variáveis: área de cobertura, coeficiente de aproveitamento, demanda mensal, precipitação e capacidade de armazenamento. A área de captação foi fixada em 80 m². O coeficiente de aproveitamento, de 0,75, representa de forma simplificada as perdas na captação. A demanda de água não potável foi fixada em 6.000 L por mês, constante nos doze meses, como premissa para usos residenciais que não exigem água potável, como descargas sanitárias, limpeza de áreas externas e irrigação paisagística; não foi obtida por medição. A precipitação foi organizada em valores mensais que representam a sazonalidade descrita por Costa (2020) e somam 1.408 mm: 220 mm em janeiro, 190 mm em fevereiro, 180 mm em março, 110 mm em abril, 70 mm em maio, 50 mm em junho, 45 mm em julho, 50 mm em

agosto, 70 mm em setembro, 90 mm em outubro, 130 mm em novembro e 203 mm em dezembro. A Tabela 1 resume as premissas.

Tabela 1 – **Premissas de Simulação**

Variável	Valor	Justificativa
Área de cobertura	80 m²	Superfície hipotética de captação
Coeficiente de aproveitamento	0,75	Representação simplificada das perdas na captação
Demanda não potável	6.000 L/mês	Demanda residencial hipotética constante
Precipitação anual	1.408 mm	Distribuição mensal representativa da sazonalidade local
Capacidade de armazenamento, cenário 1	0 L	Ausência de reservatório
Capacidade de armazenamento, cenário 2	3.000 L	Armazenamento intermediário
Capacidade de armazenamento, cenário 3	5.000 L	Armazenamento ampliado

Fonte: Os autores.

Foram simulados três cenários de armazenamento: sem reservatório, com 3.000 L e com 5.000 L. As demais variáveis foram mantidas constantes, de modo que as diferenças nos resultados fossem associadas à capacidade de armazenamento.

3.3 Modelo de balanço hídrico e algoritmo

O volume mensal potencialmente captável foi calculado pela Equação 1, considerando que 1 mm de precipitação sobre 1 m² de superfície equivale a 1 L:

$$V_c = P \times A \times C \quad (1)$$

em que V_c é o volume mensal potencialmente captável (L), P é a precipitação mensal (mm), A é a área de cobertura (m²) e C é o coeficiente de aproveitamento. O valor obtido é a disponibilidade potencial após o coeficiente, não o volume efetivamente armazenado ou consumido.

O volume disponível no mês resulta da soma do estoque inicial com o volume captado (Equação 2). A água utilizada é o menor valor entre o volume disponível e a demanda mensal (Equação 3). O estoque ao final do mês é a diferença entre o volume disponível e o utilizado, limitada à capacidade máxima do reservatório (Equação 4):

$$V_d = V_e + V_c \quad (2)$$

$$V_u = \min(V_d; D) \quad (3)$$

$$V_{e,f} = \min(C_r; V_d - V_u) \quad (4)$$

em que V_d é o volume disponível no mês (L), V_e é o volume armazenado no início do mês (L), V_u é o volume utilizado no atendimento da demanda (L), D é a demanda mensal (L),

$V_{e,f}$ é o volume armazenado ao final do mês (L) e C_r é a capacidade máxima do reservatório (L).

Quando a disponibilidade supera a capacidade do reservatório, o excedente não entra no estoque final. Quando é inferior à demanda, o volume utilizado corresponde apenas à água existente, e a diferença é demanda não atendida pelo sistema pluvial. No cenário sem reservatório, usa-se apenas a água captada em cada mês, sem transferência de excedentes. Nos cenários com armazenamento, o estoque final de cada mês é o estoque inicial do mês seguinte. Em todos os cenários, o estoque inicial foi igual a zero.

O algoritmo foi escrito em Python, com operações aritméticas e funções de comparação executadas em sequência. Recebe a lista de precipitações mensais, a área de cobertura, o coeficiente de aproveitamento, a demanda e a capacidade do reservatório. Para cada mês, calcula o volume captado, soma-o ao estoque disponível, determina o volume utilizado e atualiza o armazenamento do mês seguinte. A execução foi feita separadamente para cada cenário, alterando-se somente a capacidade. O Quadro 1 apresenta o código do cenário de 5.000 L.

Quadro 1 - Algoritmo em Python (cenário com reservatório de 5.000 L)

```
chuva = [220, 190, 180, 110, 70, 50, 45, 50, 70, 90, 130, 203]

area = 80

coeficiente = 0.75

demanda = 6000

reservatorio = 5000

estoque = 0

total_usado = 0


for p in chuva:

    captado = p * area * coeficiente

    disponivel = estoque + captado

    usado = min(disponivel, demanda)

    estoque = min(reservatorio, disponivel - usado)

    total_usado += usado
```

Fonte: elaboração própria.

3.4 Indicadores, análise e aspectos éticos

O volume anual potencialmente captável foi obtido pela soma dos volumes mensais, e o volume anual utilizado pela soma das quantidades efetivamente fornecidas pelo modelo à demanda. O percentual de atendimento é a razão entre o volume anual utilizado e a demanda anual (Equação 5):

$$I_a = \frac{\sum_{i=1}^{12} V_{u,i}}{D_a} \times 100 \quad (5)$$

em que I_a é o percentual anual de atendimento da demanda, $V_{u,i}$ é o volume utilizado no mês i (L) e D_a é a demanda anual total, de 72.000 L.

A análise comparou os cenários quanto ao volume utilizado e ao percentual de atendimento e examinou o comportamento mensal do cenário de 5.000 L (volumes captados, utilizados e armazenados), identificando meses de atendimento integral, de redução do estoque e de captação insuficiente. Como critério de consistência interna, usaram-se as mesmas premissas nos três cenários, a continuidade sequencial do estoque e os limites de demanda e de capacidade das equações. Os cálculos são determinísticos: as mesmas entradas produzem os mesmos resultados. A interpretação limita-se às variáveis incorporadas ao algoritmo.

A pesquisa não envolveu participantes humanos, experimentação animal, coleta de dados pessoais ou intervenção em instalações reais, por se basear em fontes bibliográficas e documentais e em simulação de cenário hipotético. Não houve, por isso, procedimentos de consentimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Potencial de captação

A Equação 1, com a precipitação mensal, a área de cobertura e o coeficiente adotados, resultou em potencial anual de captação de 84.480 L, volume disponível após o coeficiente de 0,75 e antes da consideração da demanda e das limitações dos reservatórios. A demanda anual é de 72.000 L (6.000 L por mês durante doze meses).

A distribuição mensal mostra a influência da sazonalidade. Em janeiro, fevereiro, março e dezembro, os volumes captáveis foram de 13.200 L, 11.400 L, 10.800 L e 12.180 L. Julho teve o menor volume, 2.700 L, seguido de agosto, com 3.000 L. Embora o total anual de captação supere a demanda anual, isso não assegura atendimento integral em todos os meses: os excedentes dos meses chuvosos só ajudam nos meses secos se puderem ser conservados. Ghisi, Bressan e Martini (2007) já haviam observado que a precipitação, embora relevante, não basta para determinar o desempenho de um sistema, que também depende da demanda e da capacidade de armazenamento. Assim, a questão central deste estudo é a capacidade de conservar excedentes, e não apenas o total anual captável.

4.2 Desempenho dos cenários de armazenamento

Os três cenários partiram das mesmas condições de precipitação, área, coeficiente e demanda, de modo que as diferenças decorrem da capacidade de retenção considerada. A Tabela 2 reúne os resultados.

Tabela 2 - Comparação dos cenários de aproveitamento de água da chuva

Cenário	Captação anual	Uso estimado	Atendimento da demanda
Sem reservatório	84.480 L	58.500 L	81,25%
Reservatório de 3.000 L	84.480 L	61.500 L	85,42%
Reservatório de 5.000 L	84.480 L	63.500 L	88,19%

Fonte: Os autores.

Sem reservatório, o volume utilizado foi de 58.500 L, equivalente a 81,25% da demanda anual de 72.000 L. Sem armazenamento, a água captada e não consumida em um mês não passa para o seguinte, e os excedentes dos meses chuvosos não compensam as insuficiências dos meses secos. Apenas 58.500 L dos 84.480 L captáveis foram aproveitados, porque a utilização ficou restrita ao que estava disponível em cada mês.

Com reservatório de 3.000 L, o volume utilizado subiu para 61.500 L e o atendimento para 85,42%, acréscimo de 3.000 L, ou cerca de 4,17 pontos percentuais. Com 5.000 L, o volume utilizado chegou a 63.500 L e o atendimento a 88,19%: 5.000 L a mais que sem reservatório e 2.000 L a mais que com 3.000 L. A ampliação de 3.000 L para 5.000 L acrescentou cerca de 2,78 pontos percentuais, menos que os 4,17 do primeiro reservatório. O ganho marginal, portanto, não acompanha a capacidade e depende dos excedentes disponíveis e da possibilidade de usar a água armazenada nos meses seguintes.

Esse comportamento é compatível com Campisano e Modica (2012), para quem o benefício do armazenamento depende da interação entre precipitação, demanda e aproveitamento dos volumes acumulados. Também converge com Amorim e Pereira (2008), cujos resultados mostram que o volume calculado varia conforme o método adotado. O presente estudo não comparou métodos normativos, mas os três cenários indicam que a capacidade de armazenamento é variável determinante do desempenho.

Nenhum cenário atingiu atendimento integral. Mesmo com 5.000 L, restaram 8.500 L de demanda não atendida ao longo do ano. Os resultados não indicam, portanto, autossuficiência hídrica da residência, e sim substituição parcial do abastecimento convencional por água pluvial nas condições simuladas.

4.3 Comportamento mensal do reservatório de 5.000 L

O cenário de 5.000 L teve o maior percentual de atendimento e foi detalhado mês a mês na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultado mensal do cenário com reservatório de 5.000 L

Mês	Chuva (mm)	Captação (L)	Uso (L)	Estoque final (L)
Jan	220	13.200	6.000	5.000
Fev	190	11.400	6.000	5.000
Mar	180	10.800	6.000	5.000
Abr	110	6.600	6.000	5.000
Mai	70	4.200	6.000	3.200
Jun	50	3.000	6.000	200
Jul	45	2.700	2.900	0
Ago	50	3.000	3.000	0
Set	70	4.200	4.200	0
Out	90	5.400	5.400	0
Nov	130	7.800	6.000	1.800
Dez	203	12.180	6.000	5.000

Fonte: Os autores.

De janeiro a abril, a captação foi suficiente para atender os 6.000 L de demanda e manter o reservatório cheio, com 5.000 L. Em janeiro, por exemplo, os 13.200 L captados superaram a demanda, e a soma com o estoque excedeu a capacidade física, de modo que o estoque final ficou limitado a 5.000 L. Isso mostra que a ocorrência de excedentes não implica seu aproveitamento futuro: o que ultrapassa simultaneamente a demanda e a capacidade disponível não é incorporado ao estoque.

A partir de maio, a captação (4.200 L) ficou abaixo da demanda, e parte da água armazenada foi usada para complementá-la, reduzindo o estoque a 3.200 L. Em junho, a captação de 3.000 L também foi insuficiente e o estoque caiu para 200 L. A reserva permitiu atender integralmente a demanda em maio e junho, mas a redução progressiva mostra que a compensação é limitada pelo que foi previamente armazenado.

Em julho, a disponibilidade foi de 2.900 L (200 L remanescentes e 2.700 L captados), inferior à demanda, e o modelo registrou atendimento parcial, com estoque nulo ao final do mês. Em agosto, setembro e outubro, o volume utilizado coincidiu com o captado, 3.000 L, 4.200 L e 5.400 L, pois não havia estoque, e a demanda não foi integralmente atendida nesses meses. Em novembro, a captação de 7.800 L atendeu a demanda e recompôs 1.800 L do estoque, e em dezembro, com 12.180 L captados, houve novo atendimento integral e o reservatório voltou a 5.000 L. A recomposição mostra que a sazonalidade afeta tanto o atendimento imediato quanto a recuperação do estoque, mas não elimina as insuficiências de julho a outubro.

A sequência dos estoques, mesmo em escala mensal, é coerente com a ênfase de Brandão e Marcon (2018) no acompanhamento sequencial do balanço hídrico para identificar períodos de insuficiência. A simulação reforça, ainda, que a capacidade nominal do reservatório, isoladamente, não determina o percentual de atendimento: é preciso acompanhar a evolução do estoque ao longo do tempo.

4.4 Discussão e limitações

Os resultados mostram que a capacidade de armazenamento é um fator relevante do aproveitamento sob sazonalidade marcada, e que o algoritmo permite organizar e reproduzir os cálculos de captação, utilização e armazenamento a partir das mesmas entradas. Essa contribuição metodológica converge com Rupp, Munarim e Ghisi (2011) e Brandão e Marcon (2018) quanto à utilidade da simulação e do balanço hídrico. A estrutura sequencial do algoritmo, em que a saída de cada mês alimenta o seguinte, lembra a organização em etapas ordenadas de controles de automação como o de Gonçalves et al. (2025), embora aqui não haja controle de equipamentos. Uma integração futura com sensores de nível, como nos trabalhos de Santana et al. (2025) e Pereira et al. (2025), exigiria dados reais de operação que este estudo não possui.

A demanda de 6.000 L mensais é uma premissa, e não um percentual de consumo observado. Ribeiro e Ghisi (2023) mostram a importância de identificar usos finais por medição para definir a demanda atendível por fontes alternativas; aqui, o parâmetro serve para examinar o comportamento do sistema diante de uma necessidade estabelecida. Os percentuais de atendimento não podem, por isso, ser lidos como economia de água potável em residências reais de Nova Iguaçu.

A capacidade de 5.000 L teve o melhor desempenho entre as alternativas comparadas, mas não se pode afirmar que seja a ideal ou a mais vantajosa economicamente, pois o estudo não considerou custos de aquisição e instalação, espaço físico, características da cobertura nem critérios econômicos de otimização.

O modelo tem outras limitações. Os dados mensais não representam a variabilidade diária e interanual das chuvas, e a simulação supõe que a água captada no mês esteja disponível para a demanda do mesmo mês, sem reproduzir a sequência de eventos de chuva e consumo dentro do período. O coeficiente de 0,75 representa as perdas de forma genérica, sem discriminar descarte inicial, filtragem e perdas operacionais, e não foram consideradas evaporação nem variação sazonal do consumo. Também não houve análise físico-química ou microbiológica nem simulação de tratamento. Os estudos de Teixeira et al. (2017), Gikas e Tsihrintzis (2017) e Hamilton et al. (2019) indicam que cobertura, descarte inicial e armazenamento influenciam a qualidade da água, de modo que os resultados aqui apresentados são estimativas quantitativas e não demonstram adequação sanitária. Uma implantação deverá observar a ABNT NBR 15527 e a ABNT NBR 16783 quanto à qualidade, ao armazenamento, à separação das redes, à operação e à manutenção.

4. CONCLUSÕES

O estudo estimou o potencial de aproveitamento de água da chuva em uma residência unifamiliar hipotética em Nova Iguaçu (RJ) e analisou, por meio de um algoritmo em Python, a influência de três capacidades de armazenamento sobre o atendimento de uma demanda não potável de 6.000 L mensais. A comparação respondeu ao problema de pesquisa: a capacidade de armazenamento interfere no volume de água pluvial efetivamente utilizado, pois permite conservar parte dos excedentes dos meses chuvosos para os meses seguintes.

O potencial anual de captação foi de 84.480 L, superior à demanda de 72.000 L, mas insuficiente para garantir atendimento integral. O atendimento foi de 81,25% sem reservatório, 85,42% com 3.000 L e 88,19% com 5.000 L. A maior capacidade teve o melhor desempenho, com ganho adicional menor que o do primeiro reservatório, e não eliminou as insuficiências de julho a outubro. O desempenho resulta da interação entre sazonalidade, demanda e armazenamento.

A contribuição do trabalho é um procedimento computacional simplificado e reproduzível, que organiza as variáveis de entrada, executa o balanço hídrico e compara configurações de armazenamento. Para a Engenharia Civil, ele serve à análise preliminar de alternativas de conservação hídrica e ao ensino, antes de um projeto executivo. Os percentuais valem apenas para a demanda hipotética adotada e não indicam economia efetiva de água potável em residências reais, e o melhor desempenho do reservatório de 5.000 L não o torna a solução ideal ou economicamente mais vantajosa, já que custos, condições construtivas e viabilidade econômica não foram avaliados.

Os resultados dependem das limitações do modelo: precipitação mensal representativa da sazonalidade local, demanda constante e simplificação da captação e do armazenamento, sem variações diárias e interanuais das chuvas, descarte inicial, perdas operacionais adicionais ou avaliação da qualidade da água. Pesquisas futuras podem utilizar séries históricas diárias de precipitação, dados reais de consumo residencial e simulações com descarte inicial, perdas operacionais e padrões de demanda distintos, além de dimensionamento técnico, análise econômica e avaliação físico-química e microbiológica da água conforme as normas aplicáveis.

Referências Bibliográficas

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), 53–66.

Alves, K. T., & Nodari, C. H. (2023). Evidências da inovação frugal em pequenas e médias empresas: uma revisão sistemática da literatura. *Revista da Micro e Pequena Empresa*, 17(2), 75–90. https://doi.org/10.6034/rmpe.v17i2.1820

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2019a). *ABNT NBR 15527*: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis: Requisitos. ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2019b). *ABNT NBR 16783*: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. ABNT.

Barboza, D. V., & Winter, E. (2026). Indicadores de ciência, tecnologia e inovação no combate à vulnerabilidade social. *Revista da Seção Judiciária do Rio de Janeiro – Auditorium*, 30(64), 236–252. https://doi.org/10.30749/2177-8337.v30n64p236-252

Braga, R. O. do C., Storino, M., & Avelar, K. E. S. (2026). Plataformas digitais para inovação social: uma análise comparativa para o desenvolvimento de um ecossistema digital de apoio ao empreendedorismo sustentável. *RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar*, 7(7), Artigo e778659. https://doi.org/10.47820/recima21.v7i7.8659

Brandão, J. L. B., & Marcon, P. (2018). Análise dos métodos de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais sugeridos pela NBR 15527/07 com base na simulação diária. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23(6). https://doi.org/10.1590/S1413-41522018129228

Campisano, A., & Modica, C. (2012). Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, 63, 9–16. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.03.007

Campisano, A., et al. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Research*, 115, 195–209. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056

Costa, M. O. da. (2020). *Percepção de riscos a inundações no Rio Botas: Uma análise a partir da perspectiva dos moradores de Comendador Soares e Ouro Verde, em Nova Iguaçu, RJ* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro].

Ghisi, E., Bressan, D. L., & Martini, M. (2007). Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. *Building and Environment*, 42(4), 1654–1666. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.02.007

Gikas, G. D., & Tsihrintzis, V. A. (2017). Effect of first-flush device, roofing material, and antecedent dry days on water quality of harvested rainwater. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(27), 21997–22006. https://doi.org/10.1007/s11356-017-9868-6

Gonçalves, D. A., Neves, A. C. M., Garrido, M. A. D., Barboza, D. V., & Castro, T. R. (2025). Automação de baixo custo para gestão eficiente de sistemas de bombeamento: desenvolvimento e validação de um controle sequencial. *Revista da Micro e Pequena Empresa*, 19(2), 79–93. https://doi.org/10.6034/rmpe.v19i2.2179

Hamilton, K., et al. (2019). A global review of the microbiological quality and potential health risks associated with roof-harvested rainwater tanks. *npj Clean Water*, 2, Artigo 7. https://doi.org/10.1038/s41545-019-0030-5

Instituto Nacional de Meteorologia. (2024). *Normais climatológicas do Brasil 1991–2020*. https://portal.inmet.gov.br/servicos/normais-climatologicas

Instituto Nacional de Meteorologia. (s. d.). *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)*: Dados históricos. https://bdmep.inmet.gov.br/

Maykot, J. K., & Ghisi, E. (2020). Assessment of a rainwater harvesting system in a multi-storey residential building in Brazil. *Water*, 12(2), Artigo 546. https://doi.org/10.3390/w12020546

Moraes, A. G. G., & Silva, C. A. F. da. (2024). Percepções de docentes, discentes e técnicos administrativos da UFRRJ relacionados à higiene durante e após a pandemia de COVID-19. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 13(1), 317–324. https://doi.org/10.21664/2238-8869.2024v13i1.p317-324

Neves, A. C. M., Gonçalves, D. A., Castro, T. R., Garrido, M. A. D., & Barboza, D. V. (2025). Arquitetura de software para eficiência energética: uma revisão bibliométrica. *Revista da Micro e Pequena Empresa*, 19(1), 21–40. https://doi.org/10.6034/rmpe.v19i1.2163

Pereira, S. G., Santana, G. S., Neves, A. C. M., Gonçalves, D. A., Alves, J. F. M., & Garrido, M. A. D. (2025). Modelo de monitoramento para prevenção de vazamentos em sistemas de esgotamento sanitário com IoT e computação em nuvem. *Revista da Micro e Pequena Empresa*, 19(1), 82–100. https://doi.org/10.6034/rmpe.v19i1.2166

Ribeiro, L. M. L., & Ghisi, E. (2023). Potencial de economia de água potável utilizando água da chuva: estudo de caso no Brasil. *Ambiente Construído*, 23(2). https://doi.org/10.1590/s1678-86212023000200662

Rupp, R. F., Munarim, U., & Ghisi, E. (2011). Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. *Ambiente Construído*, 11(4), 47–64. https://doi.org/10.1590/S1678-86212011000400005

Santana, G. S., Neves, A. C. M., Gonçalves, D. A., Alves, J. F. M., Pereira, S. G., & Garrido, M. A. D. (2025). Desenvolvimento e avaliação funcional em ambiente simulado de sistema inteligente de monitoramento e controle de reservatórios de água com ESP32. *Revista da Micro e Pequena Empresa*, 19(1), 119–138. https://doi.org/10.6034/rmpe.v19i1.2169

Sasagawa, D. D., Almeida, C. F., Galvão Filho, R. A. S., Ferreira, V. Â. B., Dias, F. T., & Garrido, M. A. D. (2025). Viabilidade e resiliência em sistemas IoT de baixo custo: um estudo de caso de inovação frugal em telemetria ambiental. *Revista da Micro e Pequena Empresa*, 19(2), 63–78. https://doi.org/10.6034/rmpe.v19i2.2178

Teixeira, C. A., Budel, M. A., Carvalho, K. Q., Bezerra, S. M. C., & Ghisi, E. (2017). Estudo comparativo da qualidade da água da chuva coletada em telhado com telhas de concreto e em telhado verde para usos não potáveis. *Ambiente Construído*, 17(2), 135–155. https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000200150

Teston, A., et al. (2018). Rainwater harvesting in buildings in Brazil: A literature review. *Water*, 10(4), Artigo 471. https://doi.org/10.3390/w10040471