



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE- CAA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

SIMÉIA ELIZAENE DOMINGOS DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA PEGADA HÍDRICA EM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE  
CHUVA PARA CONDOMÍNIOS SUSTENTÁVEIS**

CARUARU

2025

SIMÉIA ELIZAENE DOMINGOS DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA PEGADA HÍDRICA EM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE  
CHUVA PARA CONDOMÍNIOS SUSTENTÁVEIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestra em Engenharia Civil e Ambiental. Área de concentração: Recursos Naturais e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves

CARUARU

2025

Catálogo de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Oliveira, Siméia Elizaene Domingos de.

Estudo da pegada hídrica em sistema de captação de água de chuva para condomínios sustentáveis / Siméia Elizaene Domingos de Oliveira. - Caruaru, 2025.

112f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2025.

Orientação: Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves.

Inclui referências, apêndices e anexos.

1. Sustentabilidade; 2. Água de chuva; 3. Semiárido; 4. SDAG.  
I. Gonçalves, Elizabeth Amaral Pastich. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

SIMÉIA ELIZAENE DOMINGOS DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA PEGADA HÍDRICA EM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE  
CHUVA PARA CONDOMÍNIOS SUSTENTÁVEIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestra em Engenharia Civil e Ambiental. Área de concentração: Recursos Naturais e Meio Ambiente.

Aprovado em: 17/11/2025

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco- UFPE

---

Prof<sup>º</sup>. Dr. José Francisco de Oliveira Neto (Examinador Externo)  
Centro Universitário Maurício de Nassau- Uninassau Caruaru

---

Prof<sup>º</sup>. Dr. Wanderli Rogério Moreira Leite (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Pernambuco- UFPE

Aos meus pais, por terem me incentivado desde a infância a seguir o caminho dos estudos e  
por me ensinarem o valor do conhecimento e da dedicação.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me sustentar nos momentos mais desafiadores e por guiar cada passo dessa caminhada.

Ao meu esposo, Hugo, pela compreensão, paciência e incentivo ao longo deste período. Obrigada por acreditar em mim, muitas vezes mais do que eu mesma, e por ser meu alicerce em todos os momentos.

Aos meus pais, Elizael e Socorro, por todo o esforço que fizeram durante a vida para construir quem sou hoje. Sou imensamente grata pelos valores que me ensinaram e pelo incentivo constante aos estudos.

Ao meu irmão Abinadade, pela parceria de sempre e pela alegria imensa trazida pelo meu sobrinho Abner, o neném da família.

Aos meus avós, Severino e Maria, por acreditarem no poder transformador da educação e me estimularem desde a infância a seguir esse caminho.

À minha família do coração de Agrestina, especialmente à vovó Nete e à tia Alda, que foram um suporte emocional fundamental em momentos difíceis. Sua presença e carinho fizeram toda a diferença.

À minha orientadora, Elizabeth Pastich, pela confiança, incentivo e orientação. Sua generosidade intelectual e humana foi essencial para que este trabalho se concretizasse.

A todos os professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM) da UFPE – CAA, por contribuírem com seus conhecimentos e experiências, que tanto enriqueceram minha formação.

A todos os membros do Laboratório de Engenharia Ambiental da UFPE – CAA, pelas trocas valiosas e pelo apoio ao longo da pesquisa.

À Startup Pluvi e a todos que fazem parte dela, pela parceria e colaboração.

À FACEPE, pelo apoio financeiro que tornou este projeto possível.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para que esta etapa da minha vida fosse concluída com êxito, deixo aqui minha profunda gratidão.

## RESUMO

A escassez hídrica em regiões semiáridas, como o Agreste pernambucano, demanda soluções sustentáveis e eficientes no uso da água. Neste contexto, o presente estudo avaliou a sustentabilidade ambiental, social e econômica do sistema de captação e aproveitamento de água de chuva DesviUFPE, implantado em residências unifamiliares no município de Caruaru-PE. A pesquisa foi desenvolvida em cinco etapas: (i) avaliação da qualidade da água captada e da eficiência do DesviUFPE como barreira sanitária, (ii) análise da percepção ambiental e do nível de satisfação dos usuários, (iii) estimativa da viabilidade financeira do sistema, (iv) cálculo da pegada hídrica dos insumos e (v) avaliação da sustentabilidade ambiental do sistema. A pegada hídrica foi calculada com base no consumo hídrico dos materiais empregados nos sistemas de captação e armazenamento. No sistema de captação, os materiais em PVC representaram o maior impacto, correspondendo a 93,57% da pegada hídrica total do conjunto. Já no sistema de armazenamento, o cimento foi o insumo de maior contribuição, respondendo por 78,37% do total, evidenciando a influência dos materiais construtivos na intensidade hídrica de cada componente do sistema. A sustentabilidade ambiental foi avaliada por meio do método Sustainable Development Analytical Grid (SDAG) que integrou as três dimensões do estudo. A dimensão social foi analisada com base na percepção dos beneficiários, utilizando escala Likert aplicada às questões sobre a quantidade de água fornecida e o impacto na qualidade de vida, obtendo 88,66% de aprovação e classificação excelente. A dimensão ambiental, quantificada pelo Índice de Qualidade da Água (IQA) e pela percepção dos usuários após a implantação do sistema, alcançou 94,16%, também com padrão excelente. Na dimensão econômica, o impacto financeiro do sistema na renda familiar resultou em 62,5%, classificado como satisfatório. Adicionalmente, o sistema apresentou potencial de economia média anual de 13,66% da demanda total de água da residência e tempo de retorno do investimento de aproximadamente 10,35 anos. Os resultados das três dimensões confirmaram o potencial da tecnologia DesviUFPE como alternativa sustentável para o semiárido pernambucano. Conclui-se que o sistema contribui para a segurança hídrica, reduz a pressão sobre fontes convencionais e promove benefícios sociais, ambientais e econômicos, podendo ser replicado em outras regiões com características semelhantes.

Palavras-chaves: Sustentabilidade; água de chuva; semiárido; SDAG;

## ABSTRACT

Water scarcity in semiarid regions, such as the Agreste of Pernambuco, demands sustainable and efficient water use solutions. In this context, the present study evaluated the environmental, social, and economic sustainability of the DesviUFPE rainwater harvesting and utilization system implemented in single-family residences in the municipality of Caruaru, PE. The research was developed in five stages: (i) evaluation of the quality of the harvested rainwater and the efficiency of *DesviUFPE* as a sanitary barrier, (ii) analysis of the users' environmental perception and satisfaction level, (iii) estimation of the financial feasibility of the system, (iv) calculation of the water footprint of the materials used and (v) overall assessment of the system's environmental sustainability. The water footprint was calculated based on the water consumption associated with the materials employed in both the catchment and storage systems. In the catchment system, PVC materials had the highest impact, accounting for 93.57% of the total water footprint. In the storage system, cement contributed the most, representing 78.37% of the total, highlighting the influence of construction materials on the water intensity of each system component. Environmental sustainability was assessed through the Sustainable Development Analytical Grid (SDAG), integrating the three sustainability dimensions. The social dimension scored 88.66%, rated as excellent; the environmental dimension, measured by the Water Quality Index (WQI) and users' perception after system implementation, reached 94.16%, also rated as excellent; and the economic dimension achieved 62.5%, considered satisfactory. Additionally, the system presented an annual average water savings potential of 13.66% and an investment payback period of approximately 10.35 years. The results confirm the potential of the DesviUFPE technology as a sustainable alternative for the Pernambuco semiarid region, contributing to water security, reducing pressure on conventional sources, and promoting social, environmental, and economic benefits. The system can be replicated in other regions with similar conditions.

Keywords: Sustainability; rainwater; semiarid region; SDAG;



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Delimitação do semiárido brasileiro.....	20
Figura 2- Linha do tempo do aproveitamento da água da chuva .....	21
Figura 3- Pontos críticos de contaminação de um sistema de captação de água de chuva .....	28
Figura 4- Classificação da pegada hídrica e suas definições.....	33
Figura 5- Etapas da avaliação da pegada hídrica .....	34
Figura 6- Mapa do local do estudo.....	36
Figura 7- Planta baixa do empreendimento.....	36
Figura 8- Sistema de captação de água de chuva. (a) calha; (b) DesviUFPE; (c) Encaminhamento a cisterna .....	37
Figura 9- Tendência de precipitação na área de estudo nos últimos 20 anos (2004-2024). (a) Precipitação média mensal; (b) Precipitação média anual .....	38
Figura 10- Pontos de coleta do sistema de captação de água de chuva.....	39
Figura 11- Etapas da análise temática .....	45
Figura 12- Esquematização dos insumos para a produção do sistema de captação .....	52
Figura 13- Esquematização dos insumos para a produção do sistema de armazenamento .....	53
Figura 14- Dimensões e critérios usados na avaliação da sustentabilidade .....	54
Figura 15- Valores de pH e Alcalinidade para os diferentes pontos do sistema e para a água da chuva .....	59
Figura 16- Valores de Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e Cloretos ( $\text{mg}/\text{L}$ ) para os diferentes pontos do sistema e para a água da chuva.....	60
Figura 17- Valores de Cor aparente ( $\text{uH}$ ) e Turbidez ( $\text{NTU}$ ) para os diferentes pontos do sistema e para a água da chuva .....	61
Figura 18- Valores de Dureza Total ( $\text{mg}/\text{L}$ ) e Dureza de Cálcio ( $\text{mg}/\text{L}$ ) para os diferentes pontos do sistema e para a água da chuva.....	63
Figura 19- Frequência relativa da percepção dos participantes sobre: (a) cor da água antes e depois da instalação do sistema; (b) sabor da água antes e depois da instalação do sistema; (c) cheiro da água antes e depois da instalação do sistema.....	67
Figura 20- Frequência relativa dos participantes sobre a frequência de limpeza na cisterna.....	69
Figura 21- Aspectos mais valorizados pelos participantes em relação ao sistema.....	71
Figura 22- Volume médio de água da chuva captado por mês na residência padrão do estudo .....	73
Figura 23- Comparação mensal dos valores pagos à COMPESA com e sem o sistema de captação de água de chuva.....	78
Figura 24- (a) Economia e despesas anuais geradas pelo sistema; (b) Fluxo de caixa acumulado e tempo de retorno do investimento .....	79
Figura 25. Distribuição da Pegada hídrica dos materiais do sistema de captação.....	83
Figura 26- Distribuição da Pegada Hídrica dos Materiais no Sistema de Captação .....	85
Figura 27- Triângulo de sustentabilidade ambiental do sistema de captação de água de chuva .....	90
Figura 28-Projeto utilizado no orçamento.....	105

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Relação entre o estudo e os ODS da Agenda 2030 .....	18
Quadro 2- Leis estaduais de Pernambuco relacionadas ao aproveitamento da água da chuva. ....	27
Quadro 3- Limites de potabilidade e implicações na água da chuva .....	30
Quadro 4 – Aplicações da pegada hídrica encontradas na literatura.....	32
Quadro 5- Parâmetros avaliados, códigos dos métodos do Standard Methods, unidade e limite de acordo com a Portaria Nº 888/2021 .....	40
Quadro 6- Roteiro da entrevista (caracterização socioeconômica) .....	41
Quadro 7- Roteiro da entrevista (qualidade da água).....	42
Quadro 8- Roteiro da entrevista (Quantidade da água).....	43
Quadro 9- Roteiro da entrevista (Condições sanitárias).....	43
Quadro 10- Roteiro da entrevista (avaliação do sistema e percepção dos usuários).....	44
Quadro 11- Itens considerados para os custos de manutenção do sistema.....	47
Quadro 12- Objetivos da avaliação da pegada hídrica .....	50
Quadro 13- Intervalo do Índice de Qualidade da Água especificado para água potável no Brasil .....	56
Quadro 14 - Avaliação de metas .....	56
Quadro 15- Categorias temáticas das justificativas para indicação do sistema de captação de água de chuva .....	72
Quadro 16- Classificação de qualidade da água (Qi) para os parâmetros microbiológicos .....	86
Quadro 17- Avaliação da Sustentabilidade Ambiental pelo método SDAG.....	89
Quadro 18- Propostas de melhoria para o sistema DesviUFPE com base nos resultados obtidos.....	90
Quadro 19- Características da cisterna padrão das residências .....	105

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição da mão de obra para fixação de tubos de PVC (item 91181/SINAPI) .....	47
Tabela 2- Tarifas cobradas pela concessionária .....	48
Tabela 3- Valores de coliformes totais (UFC/100mL) para os diferentes pontos do sistema e para a água da chuva .....	63
Tabela 4- Valores de Escherichia coli (UFC/100mL) para os diferentes pontos do sistema e para a água da chuva .....	63
Tabela 5- Grau de instrução dos participantes da pesquisa .....	65
Tabela 6- Ocupação dos participantes da pesquisa .....	66
Tabela 7- Comparativo entre estudos sobre potencial de economia de água da chuva .....	74
Tabela 8- Custo do modelo do sistema de captação de água de chuva do estudo (Captação e armazenamento) .....	74
Tabela 9-Comparativos entre os custos e viabilidade de três modelos de implantação do sistema .....	75
Tabela 10- Cálculo do custo real médio mensal do consumo de água por residência sem a instalação do sistema .....	76
Tabela 11- Cálculo do custo real médio do consumo de água por residência depois da instalação do sistema .....	77
Tabela 12- Custo anual de manutenção do sistema .....	77
Tabela 13- Quantificação do peso total de materiais em PVC e metálicos utilizados no subsistema de captação .....	81
Tabela 14- Pegada hídrica dos materiais do sistema de captação .....	82
Tabela 15- Pegada hídrica dos materiais do sistema de armazenamento .....	84
Tabela 16- Detalhes dos parâmetros com seu peso relativo e peso atribuído com padrões de água potável estabelecidos pela Portaria GM/MS Nº888/2021 e Resolução Nº 357, de 17 de Março de 2005 .....	85
Tabela 17- Valores de Classificação de qualidade da água (Qi) para os parâmetros físico-químicos ..	86
Tabela 18- Valores de Classificação de qualidade da água (Qi) para os parâmetros microbiológicos ..	87
Tabela 19- Taxa do Índice de Qualidade da Água (IQA) .....	87
Tabela 20- Avaliação da qualidade da água pelos beneficiários e pontuação atribuída .....	88
Tabela 21- Avaliação das respostas dos beneficiários para o âmbito social e pontuação atribuída .....	88
Tabela 22- Avaliação das respostas dos beneficiários para a dimensão econômica e pontuação atribuída .....	89

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**ODS** - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

**IPTU** - Imposto Predial e Territorial Urbano

**PH** - Pegada Hídrica

**SDAG** - Sustainable Development Analytical Grid

**IQA** - Índice de Qualidade da Água

**WHO**- World Health Organization

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1. Objetivos .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2. Justificativa .....</b>	<b>18</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1. Regiões semiáridas e os desafios da escassez hídrica .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. Captação de água de chuva como tecnologia sustentável no combate a escassez hídrica .....</b>	<b>21</b>
2.2.1. Histórico de captação de água de chuva .....	21
2.2.2. Aplicações do sistema de aproveitamento de água de chuva no mundo .....	22
2.2.2.1. África .....	23
2.2.2.2. Ásia .....	23
2.2.2.3. Oceania .....	24
2.2.2.4. Europa .....	24
2.2.2.5. Américas .....	25
<b>2.3. Legislação Brasileira e incentivos para o uso da água da chuva .....</b>	<b>26</b>
<b>2.4 Qualidade da água da chuva e influências de contaminação .....</b>	<b>28</b>
<b>2.5 Implicações dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de chuva captada .....</b>	<b>30</b>
<b>2.6. Tratamento para água da chuva .....</b>	<b>30</b>
2.6.1. Desvio dos primeiros milímetros da água de chuva .....	31
2.6.2. Desinfecção .....	32
<b>2.7. Pegada Hídrica .....</b>	<b>32</b>
2.7.1. Conceito e tipos de pegada hídrica .....	32
2.7.2 Avaliação de pegada hídrica .....	33
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1. Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2. Sistema de captação de água de chuva do estudo .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3. Dados de precipitação na área de estudo .....</b>	<b>37</b>
<b>3.4 Seleção das famílias beneficiadas .....</b>	<b>38</b>
<b>3.5. Avaliação da qualidade da água da chuva e eficiência do sistema DesviUFPE .....</b>	<b>38</b>
<b>3.6. Avaliação da percepção ambiental e nível de satisfação da população atendida pelo projeto .....</b>	<b>40</b>
3.6.1. População da pesquisa .....	41

3.6.2. Caracterização socioeconômica.....	41
3.6.3. Qualidade da água .....	41
3.6.4. Quantidade da água .....	42
3.6.5 Condições sanitárias .....	43
3.6.6. Avaliação do sistema e percepções dos usuários.....	43
3.7.1. Potencial de volume médio de água da chuva e economia de água na residência padrão do estudo.....	45
3.7.2. Custo de implantação e manutenção do sistema .....	46
3.7.3. Tarifa de água cobrada pela concessionária de abastecimento de água .....	48
3.7.4 Análise financeira do sistema .....	48
<b>3.8. Avaliação da pegada hídrica.....</b>	<b>49</b>
3.8.1. Definição de objetivos e escopo .....	49
3.8.2 Contabilização da pegada hídrica do sistema de captação de água de chuva.....	50
3.8.2.1 Cálculo das pegadas hídricas azul, verde e cinza do sistema de captação de água de chuva.....	50
3.8.3 Análise da sustentabilidade ambiental da pegada hídrica da tecnologia nas condições locais.....	53
3.8.4. Formulação da resposta aos resultados.....	57
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1. Avaliação da qualidade da água da chuva e eficiência do sistema DesviUFPE .....</b>	<b>58</b>
<b>4.2. Avaliação da percepção ambiental e nível de satisfação da população atendida pelo projeto.....</b>	<b>65</b>
4.2.1. Perfil socioeconômico das famílias beneficiadas .....	65
4.2.2. Percepção dos usuários sobre a qualidade da água.....	66
4.2.3. Percepção dos usuários sobre a quantidade da água.....	68
4.2.4. Percepção dos usuários sobre as condições sanitárias.....	69
4.2.5. Avaliação geral e percepção dos usuários sobre o sistema .....	70
<b>4.3. Avaliação da viabilidade financeira do sistema com base na relação entre custos e economia de água.....</b>	<b>73</b>
4.3.1. Potencial de volume médio de água da chuva e economia de água na residência padrão do estudo.....	73
4.3.2. Custo de instalação do sistema .....	74
4.3.3. Custo real médio do consumo de água sem a instalação do sistema.....	76
4.3.4. Custo real médio do consumo de água depois da instalação do sistema.....	76
4.3.5. Custo anual de manutenção do sistema .....	77

4.3.6. Análise financeira do sistema e tempo de retorno do investimento .....	78
<b>4.4. Contabilização da pegada hídrica do sistema de captação de água de chuva .....</b>	<b>80</b>
4.4.1. Pegada hídrica dos insumos utilizados no sistema de captação de água de chuva.....	80
4.4.1.1. Sistema de captação .....	81
4.4.1.2. Sistema de armazenamento .....	84
<b>4.5. Avaliação da sustentabilidade ambiental da pegada hídrica da tecnologia nas condições locais .....</b>	<b>85</b>
4.5.1. Quantificação da dimensão ambiental para a aplicação do método SDAG .....	85
4.5.2. Quantificação da dimensão social para a aplicação do método SDAG.....	88
4.5.3. Quantificação da dimensão econômica para a aplicação do método SDAG.....	89
4.5.4. Aplicação do método <i>Sustainable Development Analytical Grid</i> (SDAG).....	89
<b>4.6. Formulação de respostas aos resultados.....</b>	<b>90</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>92</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO A- MEMORIAL DESCRITIVO E PLANTA DO MODELO DE CISTERNA UTILIZADO NO ESTUDO .....</b>	<b>105</b>
<b>APÊNDICE A- INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS- QUESTIONÁRIO .....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE B- PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE SERVIÇOS DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO .....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE C- PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE INSUMOS DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO .....</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICE D- PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE INSUMOS DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO .....</b>	<b>112</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A escassez de água e sua gestão tornaram-se desafios globais críticos, particularmente em regiões semiáridas onde padrões de precipitação erráticos e a crescente demanda por recursos hídricos representam ameaças significativas à segurança hídrica (Patel *et al.*, 2023).

Nesse contexto, o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº 6, da Agenda 2030, da Organização das Nações Unidas, estabelece como meta o acesso universal à água potável segura e saneamento e higiene adequados para todos até 2030. Diante disso, torna-se imperativo investir em alternativas sustentáveis para complementar a demanda por água.

A captação e armazenamento da água da chuva é uma importante solução diante da escassez hídrica (Carvalho *et al.*, 2018). Contudo, é necessário investigar se sistemas de captação de água de chuva, de fato, representam uma alternativa sustentável em diferentes dimensões. Avaliar seus impactos reais por meio de indicadores que integrem dimensões ambientais, sociais e econômicas é fundamental para compreender sua efetividade. Essa abordagem conecta-se ao ODS 3, uma vez que o acesso à água de qualidade contribui para a redução de riscos de doenças, promovendo saúde e bem-estar.

Uma das ferramentas que pode ser incorporada para avaliar esses impactos é a Pegada Hídrica, que é um indicador multidimensional que quantifica o volume total de água doce consumido e poluído ao longo de toda a cadeia produtiva de um produto ou processo (Hoekstra *et al.*, 2011). Entretanto, apenas o cálculo isolado da pegada hídrica não é suficiente, é preciso também interpretar sua sustentabilidade.

Como proposto por Hoekstra *et al.* (2011), a avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica considera o contexto local e global do uso da água, comparando os volumes utilizados com a disponibilidade hídrica real, identificando pontos críticos de escassez e analisando se esse uso é justificável do ponto de vista socioambiental. Essa análise se aproxima do ODS 12, ao buscar compreender impactos associados ao consumo e à produção responsáveis, inclusive pela análise da pegada hídrica dos materiais envolvidos.

O município de Caruaru, localizado no agreste pernambucano, enfrenta historicamente desafios relacionados à escassez hídrica, realidade agravada pelas características do semiárido e pela desigualdade no acesso à água (Sousa *et al.*, 2020). Diante desse cenário, iniciativas como a captação e o uso da água de chuva têm se mostrado alternativas viáveis para reduzir a vulnerabilidade de comunidades em áreas urbanas e rurais. Além de reforçar o ODS 6, essa perspectiva também dialoga com o ODS 11, ao contribuir para a resiliência urbana em cidades e comunidades sustentáveis, especialmente em habitações populares situadas em regiões



vulneráveis, bem como com o ODS 13, ao fortalecer medidas de adaptação em áreas suscetíveis aos efeitos das mudanças climáticas.

Apesar do avanço de tecnologias sociais voltadas ao aproveitamento de água de chuva, como o DesviUFPE, ainda são escassos os estudos que realizam uma avaliação sistemática da sustentabilidade desses sistemas, pois limitam-se ao desempenho hidráulico ou à qualidade da água, sem considerar os impactos mais amplos de sua implementação.

Este estudo se diferencia ao propor uma abordagem ampliada, que incorpora o conceito de Pegada Hídrica para mensurar os impactos ambientais associados aos materiais utilizados, e realiza uma avaliação de sustentabilidade considerando dimensões ambientais, sociais e econômicas. Além disso, inclui a percepção dos usuários, relacionando aspectos de bem-estar, dignidade e segurança hídrica, e estabelece vínculos com políticas públicas, reforçando sua contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a sustentabilidade de um modelo de sistema de captação de água de chuva implantado em conjuntos habitacionais na cidade de Caruaru, fruto de uma parceria entre a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e uma construtora privada. O sistema analisado utilizou o dispositivo DesviUFPE como barreira sanitária primária, responsável por reter o primeiro milímetro de cada evento pluviométrico, contendo as impurezas oriundas da lavagem da atmosfera e das superfícies de captação. Consolidada como tecnologia social, essa solução foi reconhecida e premiada pela Agência Nacional das Águas (ANA) e pela Fundação Banco do Brasil, sendo considerada uma alternativa eficiente e de baixo custo para a melhoria da qualidade da água da chuva armazenada.

## **1.1. Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho é determinar a pegada hídrica e avaliar a sustentabilidade ambiental de um sistema de captação de água da chuva em condomínios habitacionais populares no Semiárido Pernambucano.

Para atender ao objetivo geral têm-se os objetivos específicos:

- Avaliar a qualidade da água da chuva quanto à sua potabilidade;
- Avaliar a eficiência do DesviUFPE como barreira sanitária;
- Verificar a percepção ambiental e nível de satisfação da população atendida pelo projeto;
- Avaliar a viabilidade financeira do sistema com base na relação entre custos e economia de água.

## 1.2. Justificativa

Este trabalho busca preencher lacunas ainda pouco exploradas na literatura, como a escassez de estudos que avaliem sistemas de captação de água de chuva sob a ótica da Pegada Hídrica, revelando uma importante lacuna científica. Soma-se a isso uma lacuna metodológica, pois não existem trabalhos que integram, de forma articulada, a análise da qualidade da água, a percepção dos usuários, a viabilidade econômica e os impactos ambientais dos materiais utilizados de um sistema de captação de água de chuva. Do ponto de vista social e político, observa-se a ausência de avaliações que considerem o efeito dessas tecnologias sobre a dignidade, o bem-estar e a segurança hídrica de famílias de baixa renda. Por fim, destaca-se uma lacuna regional, já que o semiárido brasileiro ainda carece de indicadores aplicados a tecnologias sociais, apesar de sua relevância para o desenvolvimento de políticas públicas e estratégias de adaptação climática.

As contribuições deste estudo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável podem ser sintetizadas no quadro a seguir:

Quadro 1- Relação entre o estudo e os ODS da Agenda 2030

<b>ODS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO</b>
ODS 3- Saúde e bem estar	Garantir uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades.	Avalia a qualidade da água da chuva e sua contribuição para reduzir riscos de doenças, promovendo saúde, dignidade e segurança hídrica.
ODS 6- Água potável e saneamento	Assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos.	Analisa a viabilidade de sistemas de captação de água de chuva para fins potáveis como alternativa sustentável para o semiárido.
ODS 11- Cidades e comunidades sustentáveis	Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.	Investiga a aplicação do sistema em habitações populares, fortalecendo a resiliência urbana e a gestão sustentável da água em comunidades vulneráveis.
ODS 12- Consumo e produção responsáveis	Assegurar padrões de consumo e produção sustentáveis.	Integra a análise da Pegada Hídrica, considerando os impactos ambientais dos materiais utilizados e propondo alternativas de menor impacto.
ODS 13- Ação contra a mudança global do clima	Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos.	Enfatiza a adaptação às condições do semiárido, mostrando o potencial do sistema de captação de chuva como estratégia de resiliência climática em áreas vulneráveis.

Fonte: Autora (2025).

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção apresenta a fundamentação teórica e revisão da literatura, abordando os seguintes temas: as regiões semiáridas e os desafios associados à escassez hídrica; captação de água de chuva como tecnologia sustentável no combate à escassez desses recursos; legislação brasileira e incentivos para o uso das águas de chuva; qualidade da água de chuva e influências da contaminação; implicações dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água captada, tratamento e pegada hídrica.

### 2.1. Regiões semiáridas e os desafios da escassez hídrica

A água é um recurso natural essencial para a sobrevivência humana e animal e é fundamental para o desenvolvimento econômico e social. Ela está diretamente ligada aos direitos humanos fundamentais, como o direito à vida, à alimentação e à saúde (Haile *et al.*, 2018; Yannopoulos *et al.*, 2019).

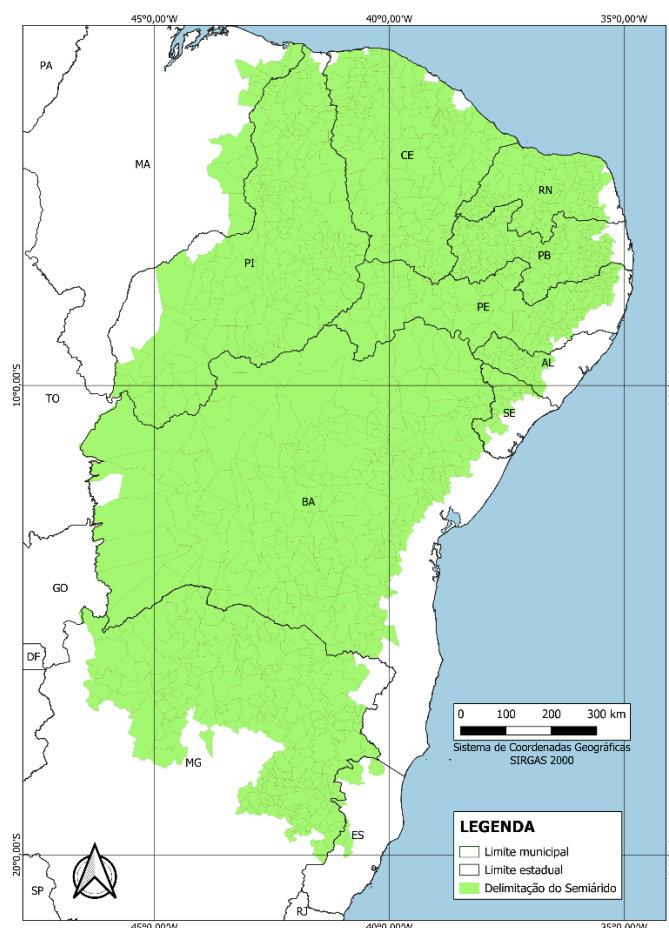
De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA), 97,5% da água disponível no planeta é salgada, enquanto apenas 2,5% é doce. Contudo, grande parte dessa água doce é de difícil acesso: 69% está nas geleiras, 30% em aquíferos subterrâneos e apenas 1% nos rios. Isso evidencia a limitação da água própria para consumo e outras demandas sociais (ANA, 2020).

A demanda por água aumentou em proporção ao crescimento da população mundial devido a diferentes usos. Segundo *United Nations* (2024), a população mundial aumentou entre 1950 e 2024 de 2,5 bilhões para 8,2 bilhões, com estimativa de atingir 10,3 bilhões em 2080. A situação é agravada pelo fato de que mais de 40% da superfície da Terra é composta por regiões áridas e semiáridas. O crescimento populacional, a urbanização e a indústria ainda podem multiplicar a pressão da escassez de água em tais áreas (Ranaee *et al.*, 2021).

Entre 2020 e 2022, aproximadamente 25 milhões de pessoas foram impactadas por secas e estiagens no Brasil. Nesse período, foram registrados 4.195 eventos de seca relacionados a danos humanos. Em 2022, a maioria dos eventos de seca ocorreu na Região Nordeste (45,1%), seguida pelas regiões Sul (39,0%) e Sudeste (12,1%). Cerca de 58% da população afetada por estiagens e secas em 2022 residia na Região Nordeste. Em situações de seca onde não há alternativas de manancial para o abastecimento público, muitos municípios adotam o abastecimento emergencial por meio de carros-pipa. Em 2012, o Governo Federal implementou uma ação emergencial denominada Operação Carro-Pipa, com o objetivo de fornecer água potável às comunidades atingidas por estiagem e seca, especialmente em áreas rurais do Semiárido Brasileiro (Brasil, 2023).

No Brasil, o semiárido abrange 10 estados da federação (Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais) e um total de 1.427 municípios, dos quais 123 estão localizados em Pernambuco (Figura 1). O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) calcula que 31 milhões de pessoas, ou seja, 15,3% da população do país vive na região, o que faz do Semiárido brasileiro o mais densamente povoado do mundo (ASA, 2024).

Figura 1- Delimitação do semiárido brasileiro



Fonte: Autora (2025).

A delimitação dessas áreas foi baseada em dados climatológicos atualizados do período de 1991 a 2020, considerando pelo menos um dos seguintes critérios: Índice de Aridez de Thornthwaite inferior ou igual a 0,50, precipitação pluviométrica anual média igual ou inferior a 800 mm, ou percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE, 2021).

“As paisagens semiáridas variam entre chapadas com altitudes acima de 800 m, relevo acidentado e geralmente apresenta vegetação de caatinga hipoxerófila” (Araújo *et al.*, 2019). Há baixa disponibilidade de água devido à escassa precipitação, variando entre 350-700 mm (Ahmed *et al.*, 2023).

O semiárido brasileiro é uma das poucas regiões semiáridas do mundo com clima tropical. “Os solos de maior abrangência são os Latossolos, os Argissolos, os Neossolos Quartzarênicos e Litólicos, os Planossolos e os Vertissolos (Silva *et al.*, 2005)”. Geologicamente, cerca de 80% da área é composta por formações de rochas cristalinas, com destaque para os xistos e gnaisses (Araújo *et al.*, 2019).

As condições hídricas são inadequadas para sustentar rios caudalosos que permaneçam perenes durante os extensos períodos de estiagem. A única exceção é o Rio São Francisco, cuja hidrologia assegura seu fluxo ao longo de todo o ano, tornando-o especialmente importante para as populações ribeirinhas e para as comunidades do Sertão (IBGE, 2022).

Diante dessas características, torna-se indispensável buscar alternativas sustentáveis, como o aproveitamento da água da chuva, para complementar ou até mesmo atender à demanda hídrica. Essa prática, já adotada em diversas partes do mundo, vem ganhando maior destaque e expansão, especialmente considerando o aumento contínuo dessa necessidade ao longo do tempo.

## 2.2. Captação de água de chuva como tecnologia sustentável no combate a escassez hídrica

Esta seção aborda o histórico de captação de água de chuva e aplicações do sistema de aproveitamento de água de chuva no mundo.

### 2.2.1. Histórico de captação de água de chuva

O aproveitamento da água da chuva é uma prática milenar, desenvolvida empiricamente por diferentes civilizações ao longo da história, como ilustrado na Figura 2, que apresenta uma linha do tempo com os principais marcos dessa trajetória.

Figura 2- Linha do tempo do aproveitamento da água da chuva



Fonte: Autora (2025);

Segundo Tomaz (2010), o aproveitamento da água da chuva remonta a tempos anteriores a Cristo. Um exemplo disso é a Pedra Moabita, datada de 830 a.C., que registra normas exigindo que as casas fossem equipadas com sistemas de captação de água da chuva.

Anaya-Garduño *et al.* (2013) afirma que evidências mostram que o aproveitamento da água de chuva tem sido usado desde tempos imemoriais para diversos fins, sendo essas tecnologias desenvolvidas de forma empírica. Os sistemas de captação de água da chuva têm origem em tempos antigos, há mais de 4.000 anos, em regiões do Oriente Médio como Jordânia, Mesopotâmia e Palestina. Posteriormente, essas práticas foram adaptadas e aprimoradas em outras partes do mundo, incluindo a Ásia, África, América do Norte e América Latina, abrangendo países como o Brasil.

Desde tempos remotos, o *Homo sapiens* no sul da África utilizava ovos de avestruz para armazenar água da chuva durante períodos de seca, há aproximadamente 200 mil anos. Na China, tanques e cacimbas eram comuns no planalto de Loess há dois mil anos, enquanto na Índia diversas técnicas de coleta foram documentadas em 15 zonas ambientais. No Irã, os tradicionais “*abanbars*” serviam como tanques comunitários de água potável e resfriada. Na Jordânia e Israel, sistemas integrados de manejo de água e runoff existiam há mais de dois mil anos. Os romanos, conhecidos pelos aquedutos, também utilizavam a captação de chuva, tecnologia que influenciou os árabes e, posteriormente, os portugueses, responsáveis por difundi-la em regiões como as Ilhas Madeira e Porto Santo. Nas Américas, povos pré-colombianos, como astecas e maias, desenvolveram sistemas avançados, como os “*chultuns*” na Península de Yucatán, bem como reservatórios artificiais para irrigação e consumo, garantindo abastecimento mesmo em períodos de seca (Fundação Konrad Adenauer, 2006).

Conforme apresentado, a coleta de água da chuva tem sido considerada essencial na história para o avanço das civilizações em múltiplas adaptações às condições ambientais e culturais de diferentes períodos e regiões. Mesmo nas formas rudimentares ela se revela como uma forma de sobreviver em contextos de escassez e desempenhar um papel estratégico na gestão dos recursos hídricos. Atualmente, sob a pressão das mudanças climáticas e da crescente escassez de recursos hídricos, torna-se essencial a utilização dessa prática histórica, adaptada às necessidades contemporâneas.

#### 2.2.2. Aplicações do sistema de aproveitamento de água de chuva no mundo

São abordados, neste tópico, as aplicações do sistema de aproveitamento de água de chuva na África, Ásia, Oceania, Europa e América.

### 2.2.2.1. África

A escassez de água na África é um problema persistente, agravado por mudanças climáticas e infraestrutura inadequada, especialmente em áreas rurais. Em resposta a essa escassez, muitas comunidades adotaram o aproveitamento da água da chuva como solução, como observado na Cidade do Cabo, onde muitas famílias instalaram tanques de coleta de água da chuva para uso não potável durante a crise hídrica de 2015 a 2017 (Mogano *et al.*, 2023).

Rudolph *et al.* (2023) reforçam a relevância de soluções comunitárias para a segurança hídrica, como o uso de telhados para coleta de água da chuva e armazenamento em reservatórios, beneficiando famílias em comunidades rurais em Mpumalanga e em uma escola no Cabo Oriental, contribuindo para o consumo doméstico e escolar em períodos de escassez.

Mapuka *et al.* (2024) exploraram o papel da captação de água da chuva como uma estratégia central de conservação nos municípios de Mbhashe e Mnkquma durante uma severa seca. Apesar de limitações financeiras, a coleta de água da chuva foi amplamente utilizada por famílias, demonstrando sua importância no enfrentamento da crise hídrica em comunidades rurais.

### 2.2.2.2. Ásia

A Ásia enfrenta grandes desafios relacionados à escassez de água, amplificados pelas mudanças climáticas e pela urbanização. No Paquistão, por exemplo, a coleta de água de chuva tem o potencial de sustentar a produtividade agrícola e atender às crescentes necessidades da população nas regiões áridas do país (Ashraf *et al.*, 2024).

Tarek *et al.* (2022) destaca a coleta de água de chuva como uma alternativa viável e sustentável para aliviar a escassez de água e reduzir a dependência de soluções caras em Dhaka, Bangladesh.

Campisano *et al.* (2017) também relata diversas aplicações da coleta de água da chuva em países asiáticos. No Japão, desde a década de 1980, governos locais têm promovido o uso dessa solução para combater a escassez hídrica, integrando-a em grandes edifícios públicos e privados com o apoio de programas financeiros especiais. Após o grande terremoto no Leste do Japão, em 2011, houve um aumento expressivo na instalação de tanques de armazenamento de água da chuva para emergências em residências. De forma semelhante, na Coreia do Sul, o governo oferece incentivos de reembolso de energia para encorajar o uso de água de chuva em domicílios particulares. Já na Tailândia, o governo lançou um programa nacional voltado para a coleta de água da chuva durante a estação seca, ampliando sua utilização.

#### 2.2.2.3. Oceania

Conforme Campisano *et al.* (2017), na Oceania a Austrália se destaca pois apresenta um dos maiores níveis de implementação de sistemas de captação de água de chuva no mundo. Dados do *Australian Bureau of Statistics* (ABS, 2020) revelam que 19% dos domicílios no país possuem reservatórios para armazenamento de água de chuva, com destaque para os estados da Austrália do Sul e *Queensland*, onde 32% e 25% das famílias, respectivamente, relatam utilizar esses sistemas.

Estudos recentes reforçam a relevância dos sistemas de captação de água de chuva na Austrália, com análises sobre seu desempenho em diversas cidades do país. Essas pesquisas abordam a economia de água, a confiabilidade e a escassez de recursos hídricos em cenários históricos e futuros. Os resultados demonstram que esses sistemas são não apenas viáveis, mas também eficazes na redução da pressão sobre os recursos hídricos disponíveis (Preeti *et al.*, 2022).

#### 2.2.2.4. Europa

Os sistemas de captação de água de chuva estão se tornando cada vez mais populares na Europa, especialmente na Alemanha, Áustria e Suíça (Wartalska *et al.*, 2024). A Alemanha se destaca como líder no uso e pesquisa desses sistemas, tendo iniciado sua implementação entre 1970 e 1975 devido a problemas na gestão dos sistemas de abastecimento de água e esgoto (Fewkes, 2012). Durante as décadas seguintes, o país desenvolveu tecnologias de baixo impacto e estratégias descentralizadas para a gestão das águas pluviais (Soler *et al.*, 2018). Atualmente, cerca de 75.000 sistemas de captação de água de chuva são instalados anualmente na Alemanha, e dois terços das novas construções já contam com essa tecnologia. Algumas regiões oferecem incentivos financeiros para a instalação desses sistemas, como Bremen, que subsidia um terço do custo de instalação, e a Turíngia, que disponibiliza empréstimos de até EUR 5.000 para programas de propriedade residencial (Schuetze, 2013 *apud* Wartalska *et al.* 2024 ).

No Reino Unido, o uso tradicional da água da chuva para atividades domésticas foi modernizado apenas recentemente, devido à introdução tardia de códigos e padrões específicos para sistemas de captação de água de chuva, como o BS 8515:2013 e o BS 8595:2013 (Ward *et al.*, 2012). A ausência de incentivos financeiros e regulamentação apropriada dificultou sua ampla adoção. Entretanto, sistemas RWH comerciais, como os instalados em supermercados, escolas e escritórios, têm se mostrado mais viáveis economicamente (Melville-Shreeve *et al.*, 2016). A comunidade britânica de drenagem sustentável, '*Susdrain*', criou um inventário de estudos de caso para incentivar a implementação desses sistemas (Campisano *et al.*, 2017).



Outros países europeus também têm adotado medidas para estimular o uso desses sistemas. Na Holanda, foram estabelecidas metas políticas para aumentar a retenção de água urbana (Wartalska *et al.*, 2024). A Espanha implementou um programa de incentivos e subsídios para novos edifícios, enquanto na Itália, diretrizes técnicas foram emitidas para padronizar a instalação desses sistemas (Domènech *et al.*, 2010).

Além disso, várias cidades europeias exigem a instalação de sistemas de captação de água de chuva em novas construções. O modelo de desenvolvimento urbano sustentável de Hammarby Sjöstad, em Estocolmo, Suécia, integra a captação de água da chuva e a coleta de escoamento de rua como soluções para a gestão hídrica urbana (Iveroth *et al.*, 2013). Na Áustria, Suíça, Dinamarca e Polônia, o fator determinante para o crescimento da adoção do RWH é o preço elevado da água potável (Campisano *et al.*, 2017).

#### 2.2.2.5. Américas

A implementação de sistemas de captação de água de chuva nas Américas apresenta variações significativas entre os diferentes países e regiões. Elas possuem exemplos diversos de adoção dessa tecnologia, impulsionados por necessidades locais, incentivos governamentais e desafios climáticos (Campisano *et al.*, 2017).

Na América do Norte, os sistemas de captação de água da chuva vêm sendo implementados como estratégia de diversificação hídrica. No México, o programa *Cosecha de Lluvia* promove a captação residencial de água da chuva como parte das estratégias governamentais para diversificação do abastecimento hídrico. Esse programa é financiado por meio de uma abordagem combinada entre fontes públicas, privadas e filantrópicas, sendo considerado uma solução inovadora para garantir a resiliência hídrica das megacidades (Carús *et al.*, 2024).

Na América do Sul, no Chile, sistemas de coleta de água da chuva foram instalados no centro-sul do país para avaliar a influência do material das superfícies de captação na qualidade da água coletada (Barriga *et al.*, 2024).

No Brasil, o Programa Cisternas se destaca como uma iniciativa nacional voltada para a captação de água da chuva, instituída como política pública pelo governo federal em 2003. Atualmente, sua regulamentação é estabelecida pela Lei nº 12.873/2013 e pelo Decreto nº 9.606/2018 (BRASIL, 2013, 2018). O programa já beneficiou mais de um milhão de pessoas em áreas rurais do semiárido, promovendo o acesso à água por meio da implementação de várias tecnologias sociais, como as cisternas de placas. Esses reservatórios são projetados para armazenar água da chuva, garantindo o abastecimento durante os períodos de estiagem e tem

capacidade para suprir as necessidades básicas de uma família. A água armazenada é utilizada para consumo humano, incluindo beber, cozinhar e escovar os dentes (Brasil, 2025).

No estado de Pernambuco, o governo tem investido em soluções inovadoras para aumentar a segurança hídrica e mitigar os impactos das chuvas intensas em áreas vulneráveis. Como parte dessas iniciativas, em 2022, foi lançado o Projeto Morro de Vontade, financiado pela Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE). O projeto tem atuado em comunidades de risco, como o Córrego da Telha, em Recife, com o objetivo de implantar sistemas de captação de água da chuva nas residências. Além de contribuir para o abastecimento das famílias, a iniciativa auxilia na redução do risco de deslizamentos nessas regiões (Pernambuco, 2023). Dando continuidade a essas ações, em 2024, o governo estadual anunciou a ampliação da iniciativa na comunidade de Jardim Monte Verde, em Jaboatão dos Guararapes. Integrando o Projeto Morro de Vontade ao Programa Morar Bem, a medida prevê um investimento de R\$ 6 milhões para a instalação de sistemas de captação de água da chuva em 400 residências, reforçando a segurança hídrica e a resiliência da população local diante de eventos climáticos extremos (Pernambuco, 2024).

### **2.3. Legislação Brasileira e incentivos para o uso da água da chuva**

A norma técnica ABNT NBR 15527/2019 estabelece diretrizes para o aproveitamento de água de chuva captada de coberturas para usos não potáveis, contribuindo para a regulamentação dessa prática no país. No entanto, o Projeto de Lei 1397/2023 propõe uma ampliação desse aproveitamento, permitindo que a água pluvial seja utilizada para consumo doméstico, desde que atenda a parâmetros de qualidade adequados.

Em 2017, o aproveitamento de água de chuva passou a integrar a Lei das Águas com a inclusão do inciso IV, que visa incentivar e promover a captação, preservação e utilização das águas pluviais. Essa alteração modificou o artigo 2º da Lei nº 9.433, de 1997, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, passando a incluir o Aproveitamento de Águas Pluviais como um de seus objetivos.

Mais recentemente, em 4 de abril de 2023, a Lei nº 14.546 introduziu alterações na Lei de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007) com o objetivo de fortalecer práticas sustentáveis, como o aproveitamento da água da chuva e o reúso não potável de águas cinzas. Com essa modificação, foi incluído o artigo 49-A, que estabelece diretrizes para o incentivo dessas práticas:

**Art 49-A.** No âmbito da Política Federal de Saneamento Básico, a União estimulará o uso das águas de chuva e o reúso não potável das águas cinzas em novas edificações e nas atividades paisagísticas, agrícolas, florestais e industriais, conforme

regulamento. § 1º A rede hidráulica e o reservatório destinado a acumular águas de chuva e águas cinzas das edificações devem ser distintos da rede de água proveniente do abastecimento público. § 2º (VETADO). § 3º As águas de chuva e as águas cinzas passarão por processo de tratamento que assegure sua utilização segura, previamente à acumulação e ao uso na edificação (Brasil, 2023).

Uma das mudanças mais relevantes foi o veto ao trecho que restringia o uso da água pluvial apenas para atividades menos exigentes em relação à qualidade da água. Com isso, abre-se a possibilidade de um aproveitamento mais amplo dessas fontes hídricas, desde que o tratamento adequado seja realizado.

Tavares *et al.* (2019) destacou que 65% dos estados brasileiros apresentam legislação com incentivos para o aproveitamento de água de chuva em diversos aspectos.

Em Pernambuco, a captação e o reaproveitamento da água da chuva são regulamentados por um conjunto de leis estaduais que visam a conservação hídrica e o uso sustentável dos recursos. Essas legislações estabelecem diretrizes específicas para edificações, comércios e usos alternativos da água, como em sistemas de climatização. O Quadro 1, a seguir, apresenta um resumo das principais leis estaduais sobre o tema, com seus respectivos objetivos e aplicações.

Quadro 2- Leis estaduais de Pernambuco relacionadas ao aproveitamento da água da chuva.

LEIS	OBJETIVOS	DEFINIÇÃO
14.572/2011	Estabelecer diretrizes para o uso racional e reaproveitamento da água	Regula a captação de água da chuva em edificações. A água deve ser coletada de coberturas e armazenada em reservatórios para uso não potáveis, como irrigação, lavagem e combate a incêndios. O sistema deve seguir normas sanitárias e técnicas, e ser identificado adequadamente para evitar consumo humano.
15.630/2015	Tornar obrigatória a captação de água de chuva em lava-jatos comerciais.	Exige que estabelecimentos de lavagem de veículos instalem sistemas de captação e tratamento de água da chuva, a fim de reduzir o uso de água potável em atividades que podem usar fontes alternativas.
16.584/2019	Atualizar e ampliar as diretrizes de uso da água pluvial.	Amplia as disposições anteriores, incluindo o uso da água da chuva em sistemas de climatização, incentivando ainda mais o uso sustentável em diferentes setores.

Fonte: Pernambuco (2011, 2015, 2019).

O município de Caruaru, onde este estudo foi conduzido, incentiva a captação de água da chuva por meio do Programa IPTU Verde, instituído pela Lei Complementar nº 062, de 27 de dezembro de 2018. Esse programa oferece descontos no IPTU para proprietários de imóveis novos que adotem medidas sustentáveis, incluindo a captação e o aproveitamento de águas pluviais. A pontuação para obtenção do benefício varia conforme o número de práticas ambientais implementadas. A instalação de sistemas de captação de água da chuva é uma das medidas que garantem 6 pontos na avaliação, sendo considerada um critério relevante para a

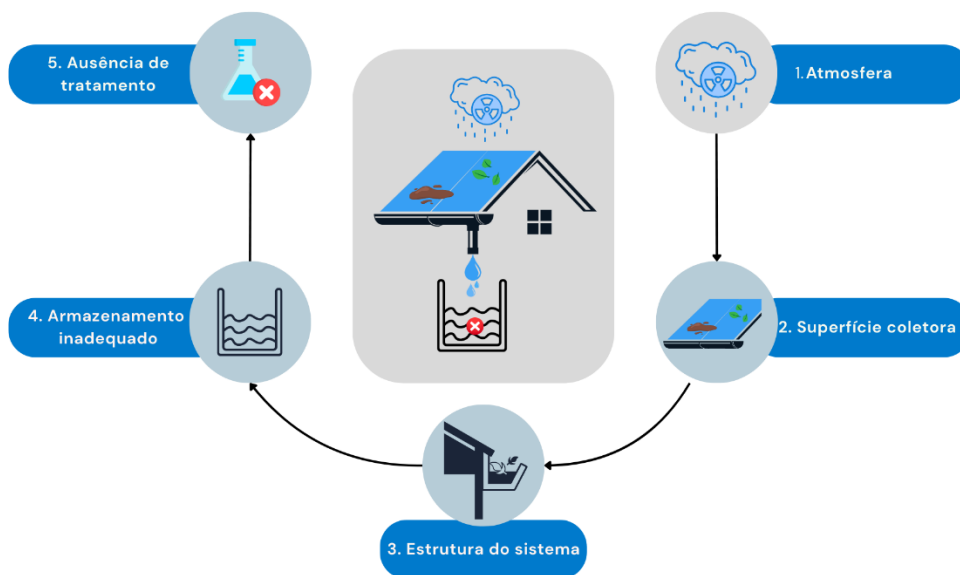
obtenção do desconto. Dependendo da pontuação acumulada, os imóveis podem receber redução de 10% no IPTU por um período de 3 a 10 anos, incentivando a adoção de soluções ambientais sustentáveis (Caruaru, 2018).

A regulamentação e os incentivos para a captação e o reúso da água da chuva no Brasil representam avanços importantes, porém sua efetividade ainda enfrenta desafios, como a fiscalização, a infraestrutura necessária para implementação dos sistemas e a adesão da população. Bezerra *et al.* (2023) analisaram a eficácia da Lei do IPTU Verde em Caruaru e constataram que, após dois anos de sua aprovação, nenhuma solicitação de desconto foi registrada. No entanto, a Autarquia de Urbanismo e Meio Ambiente do município identificou projetos arquitetônicos com características que permitiriam ao menos 10% de desconto por três anos. Diante disso, o fortalecimento dos mecanismos de controle e fiscalização, aliado a campanhas educativas, torna-se essencial para ampliar o alcance e a efetividade dessas medidas, incentivando a adoção de práticas sustentáveis.

## 2.4 Qualidade da água da chuva e influências de contaminação

Segundo WHO (2017), a água da chuva é inicialmente livre de impurezas, mas pode sofrer deterioração ao longo do processo de coleta e armazenamento. Esse processo pode ser dividido em cinco etapas principais: (1) Atmosfera; (2) Superfície coletora; (3) Estrutura do sistema; (4) Armazenamento; (5) Tratamento da água. Cada uma dessas etapas representa um ponto crítico de possível contaminação (Figura 3).

Figura 3- Pontos críticos de contaminação de um sistema de captação de água de chuva



Fonte: Autora (2025).

A variabilidade da qualidade da água da chuva é evidente em diferentes regiões: enquanto Rahman *et al.*, (2014) relataram qualidade satisfatória em Bangladesh, Leong *et al.* (2016) identificaram contaminação significativa na Malásia, tornando a água inadequada para consumo humano. Isso se explica devido às fontes diversas de contaminação que incluem sujeira transportada pelo vento, fezes de pássaros, insetos e materiais em decomposição nas superfícies coletoras, como telhados e calhas. Essas fontes de contaminação estão relacionadas diretamente às etapas 2 e 3, evidenciando a importância da manutenção e limpeza adequadas. Além disso, a qualidade da água da chuva pode ser influenciada por níveis de poluição atmosférica provenientes de emissões veiculares, atividades industriais e queimadas (Heijen, 2012; WHO, 2017). Este fator está representado na etapa 1 que afeta diretamente a qualidade inicial da água precipitada.

Hagemann (2009) relata que por não ter contato direto com o solo ou despejos antropogênicos a qualidade da água da chuva pode, em alguns casos, ser superior à de águas superficiais e subterrâneas e apresentar qualidade razoável para diversos usos.

Assim, a água da chuva pode representar uma alternativa viável para o abastecimento em diversas regiões, desde que sejam adotadas práticas adequadas de captação, armazenamento e tratamento (Heijnen, 2012). Cada uma das etapas ilustradas exige cuidados específicos para garantir a segurança da água. Dessa forma, é necessário medidas de prevenção em cada etapa, como limpeza regular das áreas de captação (etapa 2), instalação de telas protetoras (etapa 3), uso de materiais adequados para armazenamento (etapa 4) e aplicação de processos de purificação (etapa 5) são essenciais para minimizar riscos à saúde (WHO, 2017).

Estudos indicam que o consumo de água da chuva sem tratamento adequado pode representar um risco à saúde pública. Latif *et al.* (2021) ressaltam que, na Austrália, muitas comunidades rurais utilizam essa água sem qualquer processo de purificação, contrariando as diretrizes governamentais. Para garantir a segurança do consumo, são recomendados métodos de tratamento como desvio da primeira descarga, filtração e desinfecção por radiação ultravioleta ou agentes químicos. Han Heijnen (2012) complementa essa perspectiva ao afirmar que, embora o risco da água da chuva seja menor em comparação com águas superficiais não tratadas, é essencial adotar medidas preventivas, incluindo barreiras físicas e tratamentos químicos ou por ultravioleta, para assegurar sua qualidade. Esses métodos de purificação são parte essencial da etapa 5, sem a qual a água pode não ser segura para o consumo.

## 2.5 Implicações dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de chuva captada

A qualidade da água depende de parâmetros físico-químicos e microbiológicos que afetam sua composição, aparência e segurança para diferentes usos. A Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece os critérios de potabilidade da água destinada ao consumo humano, definindo limites para microrganismos, substâncias químicas e características físicas como turbidez, cor, odor e sabor. Esses padrões visam proteger a saúde pública ao prevenir doenças de veiculação hídrica. Quando os limites são ultrapassados, a água é considerada imprópria para consumo, exigindo tratamento adequado. Nesse contexto, o Quadro 3 resume os principais parâmetros definidos pela Portaria e suas implicações na qualidade da água da chuva.

Quadro 3- Limites de potabilidade e implicações na água da chuva

TIPO	PARÂMETRO	LIMITE DA PORTARIA Nº888/2021	IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA
Físico-químicos	Alcalinidade	Não há limite específico	Elevadas concentrações conferem sabor amargo
	Dureza	300 mg/L	Em determinadas concentrações, causa um sabor desagradável e pode ter efeitos laxativos. Também pode reduzir a formação de espuma e causa incrustação nas tubulações.
	Cloretos	250 mg/L	Em determinadas concentrações conferem sabor salgado a água.
	Turbidez	5 uT	É esteticamente desagradável e pode servir de abrigo para microrganismos patogênicos.
	Cor	15 uH	A cloração da matéria orgânica associada à cor pode gerar subprodutos cancerígenos.
	Condutividade	Não há limite específico	Valores elevados sugerem contaminação ou origem salina.
	Salinidade	Não há limite específico	Elevadas concentrações conferem sabor salgado a água.
Bacteriológicos	Coliformes totais	Ausência em 100 mL/L	Presença sugere falhas na higienização do sistema.
	E. coli	Ausência em 100 mL/L	Indica contaminação fecal recente e risco elevado de doenças de veiculação hídrica.

Fonte: Autora (2025); adaptado de Von Sperling (1995).

## 2.6. Tratamento para água da chuva

Este tópico aborda os dois tratamentos aplicados nesta pesquisa, a saber: desvio dos primeiros milímetros da água de chuva e a desinfecção da água captada.

### 2.6.1. Desvio dos primeiros milímetros da água de chuva

Segundo Zhang *et al.* (2024) a primeira descarga de água da chuva geralmente carrega uma alta concentração de poluentes atmosféricos. Além disso, há uma contaminação da água na superfície de captação. Logo, para melhorar a qualidade da água armazenada é necessário que um desvio da primeira descarga seja incluído no sistema de captação de água de chuva (Lay *et al.*, 2024; Livhuwani *et al.* 2024). John *et al.* 2021 concluiu em seu estudo que o desvio das primeiras águas melhora os parâmetros físico-químicos e microbiológicos, porém embora possa entregar uma água de baixa contaminação, a qualidade da água da chuva ainda é potencialmente inadequada para o consumo humano de acordo com os padrões da Organização Mundial de Saúde.

Diversos estudos internacionais também adotaram o desvio do primeiro milímetro de chuva como uma importante estratégia de barreira sanitária, visando à melhoria da qualidade da água de chuva captada. Dentre esses estudos, destacam-se: Mao *et al.* (2021), em Xangai, China; Yuan *et al.* (2025), em Anuradhapura e Puttalan, Sri Lanka; Jamal *et al.* (2023), em Dhaka, Bangladesh; Tsanov *et al.* (2024), em Sófia, Bulgária; Sambas *et al.* (2019), em Perak, Malásia; Barriga *et al.* (2024), em Concépcion, Chile; Livhuwani *et al.* (2024), em Vhembe, África do Sul; e Rawan *et al.* (2022), em Khyber Pakhtunkhwa, Paquistão. Esses trabalhos reforçam a relevância do primeiro milímetro como componente fundamental nos sistemas de captação, especialmente em contextos urbanos e tropicais.

Neste sentido, a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) desenvolveu um dispositivo para descarte das primeiras águas da chuva denominado DesviUFPE (Alves *et al.*, 2014; Carvalho *et al.*, 2018). A tecnologia foi consolidada em 2013 e reconhecida pela Fundação Banco do Brasil como “tecnologia social” e, em 2014, foi premiada pela Agência Nacional das Águas (ANA). O dispositivo desvia 1 mm de água da lavagem da superfície de cada m<sup>2</sup> da área de captação (Silva *et al.*, 2017).

Silva *et al.* (2017) utilizou o DesviUFPE em seu estudo e obteve uma redução significativa em alguns parâmetros físico-químicos como cor, turbidez e sólidos totais. Em relação aos parâmetros microbiológicos houve uma redução na contaminação em pelo menos 98,9% para *E.coli* e 99% para coliformes totais. Lima *et al.* (2015) utilizou a mesma tecnologia no seu estudo e obteve remoção de 62,4; 96,5 e 100%, respectivamente de turbidez, coliformes totais e *E.coli*.

Portanto, conforme exposto ainda é necessário que a água da chuva passe por outro processo além do desvio para torná-la própria para o consumo humano de acordo com a legislação.

### 2.6.2. Desinfecção

Latif *et al.* (2021) afirma que a desinfecção é necessária para desativar bactérias, patógenos e microrganismos nocivos que não foram eliminados com o desvio do primeiro milímetro. Métodos de tratamento simples e fáceis de usar são adequados para realizar essa desinfecção, como por exemplo a cloração. As fontes de cloro podem ser pastilhas de cloro, gás cloro ou solução de hipoclorito. A taxa de dosagem varia de acordo com a demanda de cloro da água. O Ministério da Saúde recomenda 1 litro de hipoclorito para cada 1000 litros de água (ANVISA, 2008).

## 2.7. Pegada Hídrica

Este tópico aborda o conceito, tipos e avaliação da pegada hídrica.

### 2.7.1. Conceito e tipos de pegada hídrica

A pegada hídrica é um indicador que mede o volume total de água utilizado e poluído na produção de bens e serviços, considerando tanto o uso direto quanto indireto ao longo de toda a cadeia produtiva. Essa métrica permite uma análise espacial e temporal detalhada sobre a apropriação dos recursos hídricos pelas atividades humanas, servindo de base para avaliar impactos ambientais, sociais e econômicos, além de fomentar debates sobre uma gestão mais sustentável e equitativa da água. (Hoekstra *et al.*, 2011).

Desde a sua formulação, a pegada hídrica tem sido aplicada em diversos campos relacionados ao uso humano da água. Por exemplo, a metodologia foi aplicada para estimar o consumo direto e indireto de água nos trabalhos pesquisados, conforme o Quadro 4:

Quadro 4 – Aplicações da pegada hídrica encontradas na literatura

<b>Aplicações da Pegada Hídrica</b>	<b>Referências</b>
Produtos agrícolas	Chapagain <i>et al.</i> , 2011
	Han <i>et al.</i> , 2018
	Zhai <i>et al.</i> , 2019
Produção de alimentos	Aldaya <i>et al.</i> , 2010
	Ercin <i>et al.</i> , 2012
	Xing <i>et al.</i> , 2019
Indústria têxtil	Chapagain <i>et al.</i> , 2006

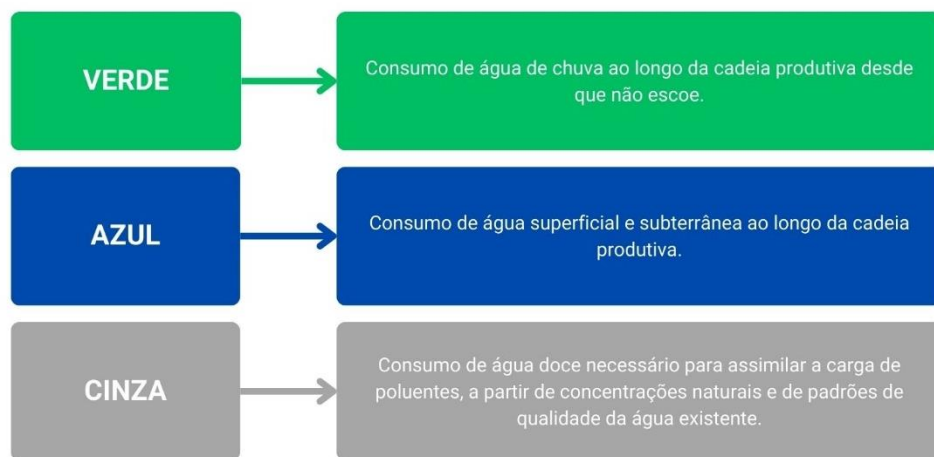


	Chico <i>et al.</i> , 2013
Geração de energia hidrelétrica	Mekonnen <i>et al.</i> , 2012
	Scherer <i>et al.</i> , 2016
	Xie <i>et al.</i> , 2019
Tratamento de águas residuais	Shao <i>et al.</i> , 2013
	Arias <i>et al.</i> , 2019
Pecuária	Kannan <i>et al.</i> , 2017
	Palhares <i>et al.</i> , 2021
Biocombustíveis	Dominguez-Faus <i>et al.</i> , 2009
	Gerbens-Leenes <i>et al.</i> , 2011

Fonte: Autora (2025).

Classifica-se a pegada hídrica em três tipos, conforme evidenciado na Figura 4:

Figura 4- Classificação da pegada hídrica e suas definições



Fonte: Autora (2025); adaptado Hoekstra *et al.* 2011.

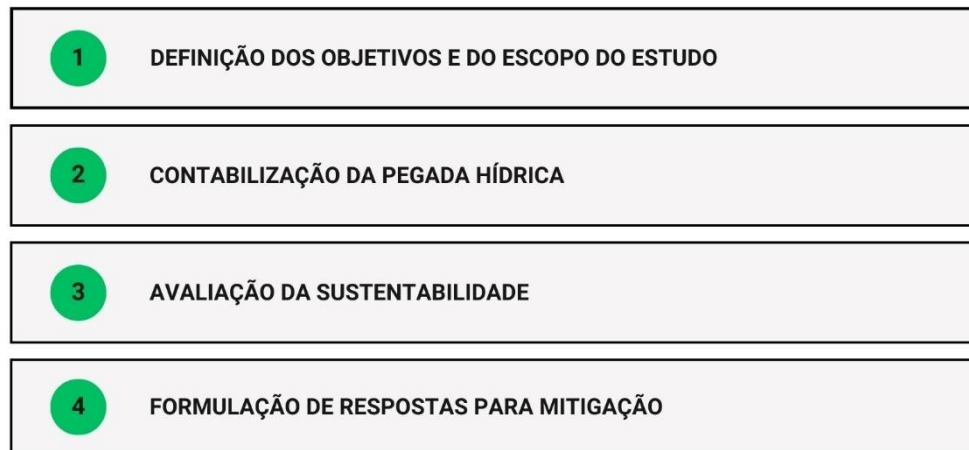
### 2.7.2 Avaliação de pegada hídrica

A pegada hídrica pode ser aplicada a diferentes escalas e contextos, como processos, produtos, consumidores, áreas geográficas, atividades empresariais ou até mesmo à humanidade como um todo. Sua abordagem envolve quatro etapas principais conforme mostra a Figura 5 (Hoekstra *et al.*, 2011):

A avaliação da pegada hídrica é uma ferramenta analítica que pode auxiliar na compreensão sobre como atividades e produtos interagem com a escassez e a poluição

da água e seus impactos relacionados e o que pode ser feito para assegurar que atividades e produtos não contribuam para o uso não sustentável dos recursos hídricos. Como ferramenta, a estimativa da pegada hídrica fornece uma visão adicional, mas não diz às pessoas ‘o que fazer’. Ao invés disso, ela ajuda as pessoas a entenderem o que pode ser feito. (Hoekstra *et al.*, 2011)

Figura 5- Etapas da avaliação da pegada hídrica



Fonte: Autora (2025) adaptado Hoekstra *et al.* 2011

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa possuiu natureza mista com abordagem qualiquantitativa, uma vez que integrou tanto dados mensuráveis quanto informações subjetivas e contextuais (Proetti, 2018). A abordagem qualitativa permitiu compreender os fenômenos em profundidade, a partir da vivência no campo, da observação direta e da interação com os participantes, buscando entender o significado das experiências e a dinâmica dos fatos. Já a abordagem quantitativa teve como foco a coleta e análise de dados numéricos, permitindo quantificar variáveis e verificar a relevância estatística das informações obtidas

A contabilização da pegada hídrica, a análise da qualidade da água, a eficiência do DesviUFPE e a viabilidade financeira foram consideradas de natureza quantitativa, pois se basearam em dados mensuráveis e análises objetivas. A percepção ambiental e o nível de satisfação da população foram avaliados por meio de abordagem qualitativa, considerando experiências e opiniões dos moradores. Já a avaliação da sustentabilidade ambiental, por envolver tanto dados técnicos quanto aspectos sociais do contexto local, adotou um enfoque misto.

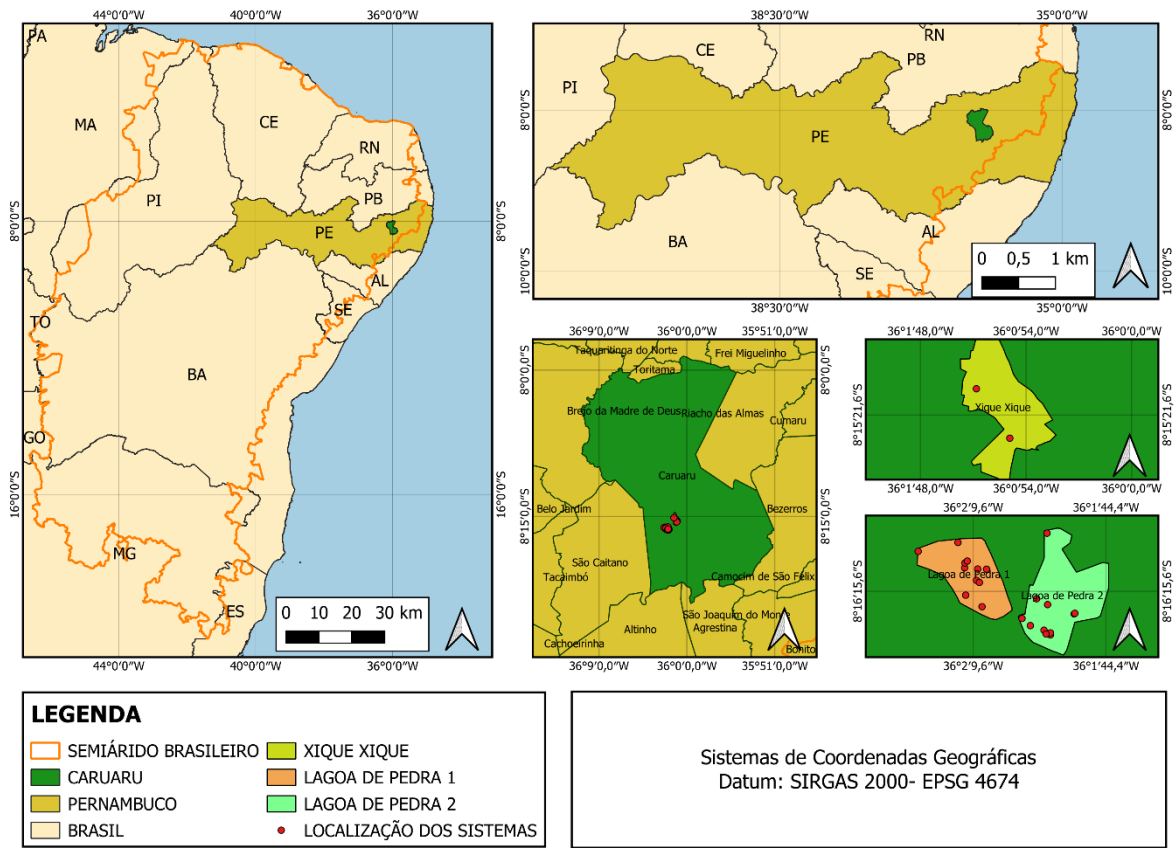
O presente estudo foi dividido em etapas, iniciando-se com uma ampla pesquisa bibliográfica nas bases Scopus e Google Acadêmico, abrangendo todos os tópicos relacionados ao tema. Essa revisão serviu de base para a estruturação e fundamentação do trabalho. A seguir, são apresentados os procedimentos metodológicos que compuseram cada uma das etapas da pesquisa.

#### 3.1. Caracterização da área de estudo

Este estudo teve como objeto de análise os sistemas de captação de água de chuva implementados em conjuntos habitacionais populares construídos por uma construtora local no município de Caruaru, PE.

Caruaru integra a região do Agreste e apresenta uma área territorial de 919,069 km<sup>2</sup>, com uma população estimada em 402.290 habitantes, configurando-se como o quarto município mais populoso do estado de Pernambuco, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024). As unidades habitacionais em questão estão situadas nos bairros Xique-Xique, Lagoa de Pedra 1 e Lagoa de Pedra 2 (Figura 6).

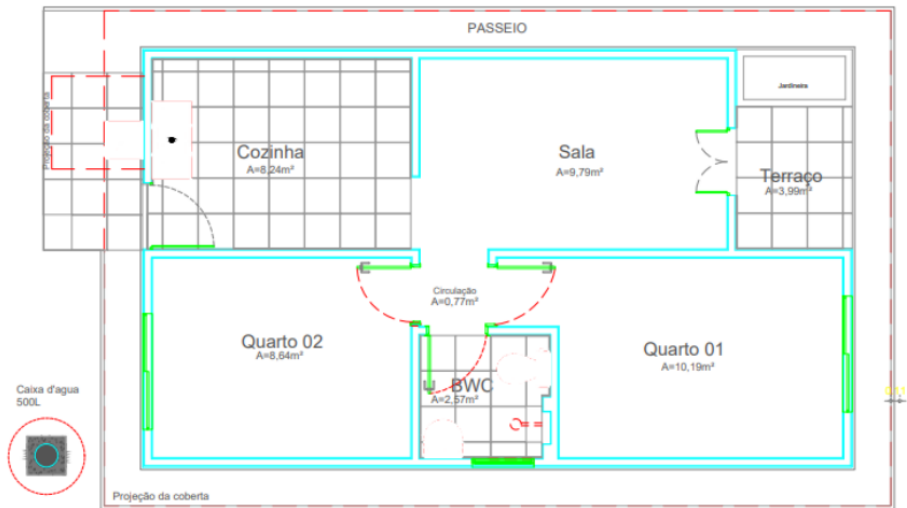
Figura 6- Mapa do local do estudo



Fonte: Autora (2025);

Todos os imóveis onde os sistemas foram instalados seguem o mesmo padrão construtivo, cada um com 44 m<sup>2</sup>, distribuídos em 2 quartos, 1 sala, 1 cozinha e 1 área de circulação, conforme a planta baixa apresentada na Figura 7.

Figura 7- Planta baixa do empreendimento



Fonte: Viana e Moura (2023)

Estes empreendimentos fazem parte do programa de incentivo do Governo Federal Brasileiro denominado “Minha Casa Minha Vida” que tem como objetivo proporcionar moradia digna para famílias de baixa renda por meio de financiamento facilitado.

### 3.2. Sistema de captação de água de chuva do estudo

O sistema de captação de água de chuva foi implantado em 24 residências nos anos de 2021 e 2022 por meio da instalação de calhas de PVC ou de zinco ao longo das extremidades dos telhados, com o objetivo de coletar a água pluvial (Figura 8a). A água captada é conduzida por gravidade até um dispositivo conhecido como DesviUFPE, cuja função é reter o primeiro volume de água das chuvas, etapa fundamental para a remoção de impurezas iniciais provenientes das superfícies de cobertura e da poluição atmosférica (Figura 8-B). Após o enchimento do dispositivo, o excedente de água é automaticamente direcionado para uma cisterna enterrada de concreto, por meio de uma tubulação disposta na lateral ou na parte posterior da unidade habitacional (Figura 8c).

Figura 8- Sistema de captação de água de chuva. (a) calha; (b) DesviUFPE; (c) Encaminhamento a cisterna



Fonte: Autora (2025);

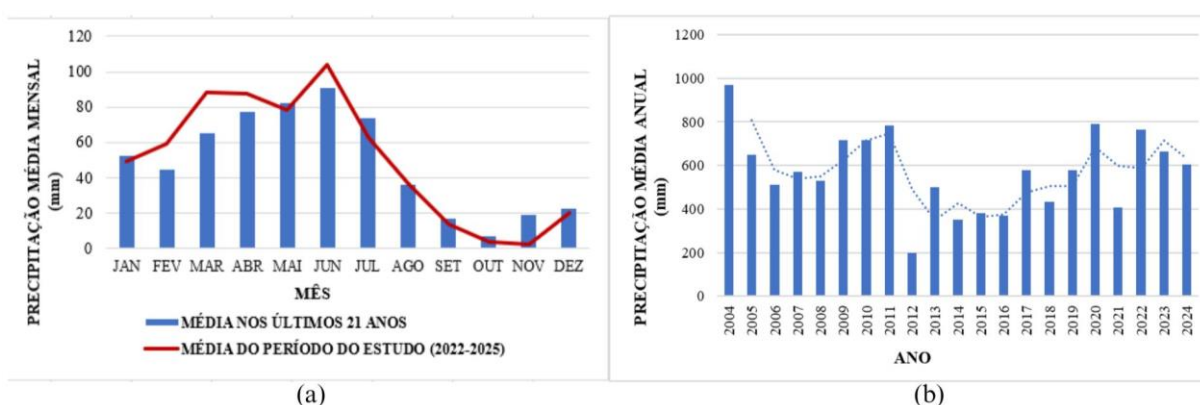
### 3.3. Dados de precipitação na área de estudo

Para subsidiar as ações deste trabalho foram extraídos dados da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC) de dados pluviométricos de 21 anos, de 2004 a 2024, da cidade de Caruaru do posto 211. A Figura 9 (a) mostra que as maiores precipitações nos meses de abril, maio, junho e julho, com o pico maior ocorrendo em junho, padrão típico das regiões do agreste pernambucano. A precipitação média anual foi de 583,1 mm neste período. O ano de 2004 foi

o mais chuvoso com precipitação anual média de 968,4 mm e 2012 foi o ano mais seco com precipitação média de apenas 230,8 mm, conforme Figura 9 (b).

Observa-se ainda que, durante o período específico deste estudo, representado pela linha vermelha na Figura 9(a), o comportamento da precipitação seguiu a tendência histórica da série de 21 anos, apresentando distribuição sazonal semelhante, com maiores volumes concentrados no primeiro semestre e redução acentuada nos meses de estiagem. Os dados reforçam que o local de estudo se enquadra na caracterização do semiárido brasileiro por apresentar precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm.

Figura 9- Tendência de precipitação na área de estudo nos últimos 20 anos (2004-2024). (a) Precipitação média mensal; (b) Precipitação média anual



Fonte: APAC (2025).

### 3.4 Seleção das famílias beneficiadas

Ao todo, 24 famílias foram beneficiadas com a implantação do sistema de captação de água da chuva. A seleção dos beneficiários seguiu critérios específicos, entre eles:

- 1) Renda familiar de até dois salários-mínimos;
- 2) Imóveis mantidos no padrão original de entrega, sem modificações;
- 3) Existência de reservatórios inferiores já construídos na residência.

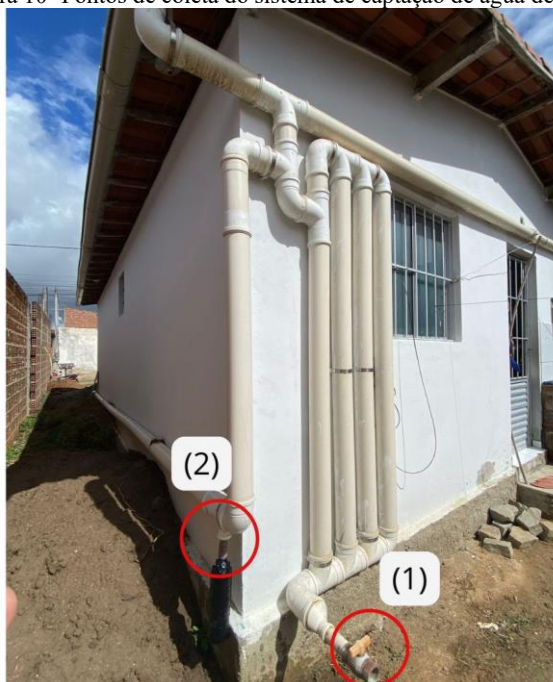
Além disso, foi dada prioridade aos proprietários que dependiam de caminhões-pipa para complementar o abastecimento de água e àqueles com menor renda per capita.

### 3.5. Avaliação da qualidade da água da chuva e eficiência do sistema DesviUFPE

Com o objetivo de avaliar a qualidade da água da chuva captada, foram realizadas três amostragens em diferentes eventos pluviométricos, utilizando-se um recipiente plástico previamente higienizado, posicionado exclusivamente durante a chuva. Ressalta-se que o recipiente não permaneceu exposto durante períodos de estiagem, a fim de evitar contaminações externas.

Para a análise da eficiência do dispositivo DesviUFPE como barreira sanitária, foram realizadas cinco coletas em três unidades residenciais beneficiadas. Os sistemas foram adaptados para permitir a obtenção em três pontos distintos de coleta. A Figura 10 apresenta a estrutura do sistema instalado em uma das unidades analisadas. O ponto (1) corresponde à saída da água que foi desviada pelo dispositivo, referente à primeira água da chuva, potencialmente mais contaminada. Já o ponto (2) indica a tubulação por onde a água da chuva, após o desvio inicial, é direcionada para a cisterna, sendo esta a água destinada ao armazenamento. O ponto (3) é a cisterna onde a água está armazenada.

Figura 10- Pontos de coleta do sistema de captação de água de chuva



Fonte: Autora (2025);

Foram conduzidas cinco amostras para cada ponto, totalizando 15 amostras por parâmetro. Os parâmetros físico-químicos analisados foram pH, alcalinidade, condutividade elétrica, salinidade, cloretos, cor aparente, cor verdadeira, turbidez, dureza total e dureza de cálcio, além dos parâmetros microbiológicos coliformes totais e coliformes termotolerantes. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA) da Universidade Federal de Pernambuco- Campus Agreste, através dos métodos mostrados no Quadro 5.

Quadro 5- Parâmetros avaliados, códigos dos métodos do *Standard Methods*, unidade e limite de acordo com a Portaria N° 888/2021

TIPO DE PARÂMETRO	PARÂMETRO	MÉTODO DE ANÁLISE	UNIDADE	LIMITE PORTARIA
Físico-químicos	Alcalinidade	2320B	mg CaCO <sub>3</sub> /L	-
	Cloretos	4500-Cl <sup>-</sup>	mg Cl <sup>-</sup> /L	250
	Dureza total	2340C	mg CaCO <sub>3</sub> /L	300
	Dureza de cálcio	3500-Ca B	mg CaCO <sub>3</sub> /L	300
	Condutividade	2510B	µS/cm	-
	Salinidade	2520B	Ppt	-
	Turbidez	2130B	NTU	5
	Cor aparente	2120B	uH	15
	Cor verdadeira	2120B	uH	15
Bacteriológicos	Coliformes totais	9222 B	UFC/100m	Ausência em 100 ml
	E. Coli	9222 B	UFC/100m	Ausência em 100 ml

Fonte: Autora (2025).

Os dados foram tratados por meio de análise estatística descritiva, utilizando o software livre R, com o desenvolvimento de scripts específicos para a elaboração de gráficos do tipo *boxplot*. Estes diagramas permitiram a visualização do intervalo interquartil (Q1 e Q3), valores mínimo e máximo, além do destaque do valor médio por um marcador. Pontos discrepantes foram representados individualmente para facilitar a interpretação. A análise dos resultados se baseou nos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

### 3.6. Avaliação da percepção ambiental e nível de satisfação da população atendida pelo projeto

Com o intuito de alcançar os objetivos propostos neste estudo, foi aplicado aos beneficiários do sistema, uma entrevista presencial em visitas seguindo um roteiro de entrevista (APÊNDICE A). Do total de 24 beneficiários, 12 participaram da pesquisa, respondendo ao questionário.

A elaboração das perguntas foi orientada por categorias analíticas definidas com base na revisão da literatura, sendo elas: caracterização socioeconômica, qualidade da água, quantidade da água, condições sanitárias, avaliação do sistema e percepções dos usuários. As categorias foram inspiradas em estudos anteriores que abordam a avaliação de sistemas de captação de chuva no âmbito social, como os trabalhos de Gabe *et al.* (2012), Vele *et al.* (2024), Sheikh (2020), Ghosh *et al.* (2022) e Snelling *et al.* (2023).

Para a realização dessa etapa e respaldo da pesquisa, a pesquisa seguiu as normas e a legislação em vigor da Comissão de Ética de Pesquisa da Universidade Federal de Pernambuco



(CEP). Também enfatizamos que os dados serão analisados de forma agregada somente para fins de pesquisa.

3.6.1. População da pesquisa

Durante o processo de cadastramento para a instalação dos sistemas realizado em 2021, todos os interessados preencheram um formulário com informações socioeconômicas, utilizado como base para a seleção dos beneficiários. Dessa forma, os dados apresentados no item 3.7.2 correspondem a 100% das famílias contempladas.

Já a entrevista aplicada posteriormente, com foco na avaliação da percepção ambiental e do nível de satisfação em relação ao sistema, foi realizada em 2024, três anos após a instalação. Participaram 12 beneficiários, o que corresponde a 50% do total atendido pelo projeto.

3.6.2. Caracterização socioeconômica

Para o levantamento do perfil socioeconômico das famílias beneficiadas, foi adotada uma estrutura categorizada conforme apresentada no Quadro 6. A macro categoria caracterização Socioeconômica foi subdividida em categorias específicas, a partir das quais foram formuladas perguntas direcionadas à coleta de informações relevantes. As categorias consideradas incluem: identidade, estado civil, grau de escolaridade, composição familiar, atividade econômica e renda.

Quadro 6- Roteiro da entrevista (caracterização socioeconômica)

MACRO CATEGORIA	CATEGORIA	PERGUNTAS
Caracterização socioeconômica	Identidade	P.1.1- Gênero
	Estado Civil	P.1.2- Estado civil
	Grau de escolaridade	P.1.3- Grau de escolaridade
	Atividade econômica	P.1.4- Ocupação
	Renda	P.1.5- Qual a sua renda mensal?
		P.1.6- É beneficiário de algum programa social do Governo Federal? (Ex.: bolsa família)

Fonte: A autora (2025)

3.6.3. Qualidade da água

Esta macro categoria foi subdividida nas categorias antes da instalação do sistema e depois da instalação do sistema, com o objetivo de identificar possíveis mudanças percebidas pelos usuários quanto à cor, sabor, cheiro, presença de espuma e avaliação geral da água

utilizada para consumo e higiene. O Quadro 7 apresenta a relação das perguntas associadas a cada uma dessas categorias.

Quadro 7- Roteiro da entrevista (qualidade da água)

MACRO CATEGORIA	CATEGORIA	PERGUNTAS
Qualidade da água	Antes da instalação do sistema	P.2.1- Antes da instalação do sistema a água apresentava cor?
		P.2.2- Antes da instalação do sistema a água apresentava sabor?
		P.2.3- Antes da instalação do sistema a água apresentava cheiro?
		P.2.4- Antes da instalação do sistema a água espumava durante o banho?
		P.2.5- Na época da chuva havia piora da qualidade da água?
		P.2.6- Como você avalia a qualidade da água antes do sistema de captação de água de chuva instalado na sua residência?
	Depois da instalação do sistema	P.2.7- Depois da instalação do sistema a água apresenta cor?
		P.2.8- Depois da instalação do sistema a água apresenta sabor?
		P.2.9- Depois da instalação do sistema a água apresenta cheiro?
		P.2.10- Depois da instalação do sistema a água espuma durante o banho?
		P.2.11- Como você avalia a qualidade da água depois do sistema de captação de água de chuva instalado na sua residência?

Fonte: A autora (2025)

### 3.6.4. Quantidade da água

A análise da disponibilidade hídrica antes e após a implantação do sistema foi estruturada a partir desta macro categoria, dividida em duas categorias: Antes da instalação do sistema e Depois da instalação do sistema. As perguntas formuladas buscaram compreender as principais fontes de abastecimento utilizadas antes da implantação do sistema, a frequência de chegada da água nas residências, bem como os períodos de escassez enfrentados pelas famílias. Após a implementação do sistema, investigou-se se ainda há necessidade de outras fontes de abastecimento, se a falta d'água persiste e como os beneficiários avaliam a quantidade de água fornecida pelo sistema. O Quadro 8 apresenta a organização das categorias e respectivas perguntas que compuseram esta etapa da pesquisa.

Quadro 8- Roteiro da entrevista (Quantidade da água)

MACRO CATEGORIA	CATEGORIA	PERGUNTAS
Quantidade da água	Antes da instalação do sistema	P.3.1- Antes da instalação do sistema, qual era a fonte de abastecimento de água?
		P.3.2- Antes da instalação do sistema, com qual frequência chegava água na sua residência?
		P.3.3- Antes da instalação do sistema, existia alguma época do ano que havia falta de água?
	Depois da instalação do sistema	P.3.4- Após a instalação do sistema, ainda há outra fonte de abastecimento
		P.3.5- Após a instalação do sistema, ainda falta água?
		P.3.6- Que época falta água?
		P.3.7- Avalie a quantidade de água fornecida pelo sistema

Fonte: A autora (2025)

### 3.6.5 Condições sanitárias

A categoria condições sanitárias foi estruturada para identificar possíveis relações entre a qualidade da água gerada no sistema de captação de água de chuva e a saúde das famílias beneficiadas. A abordagem foi dividida em dois momentos: antes da instalação do sistema e depois da instalação do sistema, buscando-se verificar a ocorrência de problemas de saúde relacionados ao consumo da água, como diarreia, dores abdominais ou coceiras.

Adicionalmente, foi incluída uma pergunta voltada à manutenção do sistema, mais especificamente à frequência de limpeza da cisterna. Essa informação é relevante, pois está diretamente associada à segurança e à qualidade da água armazenada, podendo influenciar a eficácia do sistema na prevenção de doenças. O Quadro 9 apresenta a organização das perguntas conforme as categorias definidas.

Quadro 9- Roteiro da entrevista (Condições sanitárias)

MACRO CATEGORIA	CATEGORIA	PERGUNTAS
Condições sanitárias	Antes da instalação do sistema	P.4.1- Antes da instalação do sistema, alguém apresentou algum problema de saúde?
	Depois da instalação do sistema	P.4.2- Depois da instalação do sistema, alguém apresenta algum problema de saúde?
	Manutenção do sistema	P.4.3- Qual a frequência de limpeza na cisterna?

Fonte: A autora (2025)

### 3.6.6. Avaliação do sistema e percepções dos usuários

Esta macro categoria buscou identificar como os beneficiários avaliavam o funcionamento do sistema, seus impactos e a aceitação da tecnologia. As perguntas foram organizadas em seis categorias: Condição e manutenção do sistema, importância e benefícios percebidos, facilidade de uso, aspectos econômicos, usos da água da chuva, aceitação e recomendação. Essa estrutura permitiu captar desde aspectos técnicos e operacionais até

percepções subjetivas sobre qualidade de vida, economia e confiança no sistema. O Quadro 10 apresenta a distribuição das perguntas por categoria.

Quadro 10- Roteiro da entrevista (avaliação do sistema e percepção dos usuários)

MACRO CATEGORIA	CATEGORIA	PERGUNTAS
Avaliação do sistema e percepções dos usuários	Condições e manutenção do sistema	P.5.1- Qual a condição do sistema (calhas, DesviUFPE e conexões)?
		P.5.2- O sistema precisa de manutenção regular?
		P.5.3- Há custos contínuos com manutenção?
	Importância e percepção de benefícios	P.5.4- Sobre o sistema, o que considera mais importante?
		P.5.5. Impactou sua qualidade de vida?
		P.5.6- Se sente mais independente ao abastecimento de água convencional?
	Facilidade de uso	P.5.7- Foi difícil aprender a operar o sistema?
	Economia	P.5.8- Trouxe alguma economia financeira para a família?
	Uso	P.5.9- Para quais finalidades você utiliza a água da chuva?
	Aceitação e recomendação	P.5.10- Recomendaria o sistema de captação de água de chuva?
		P.5.11- Por quê?

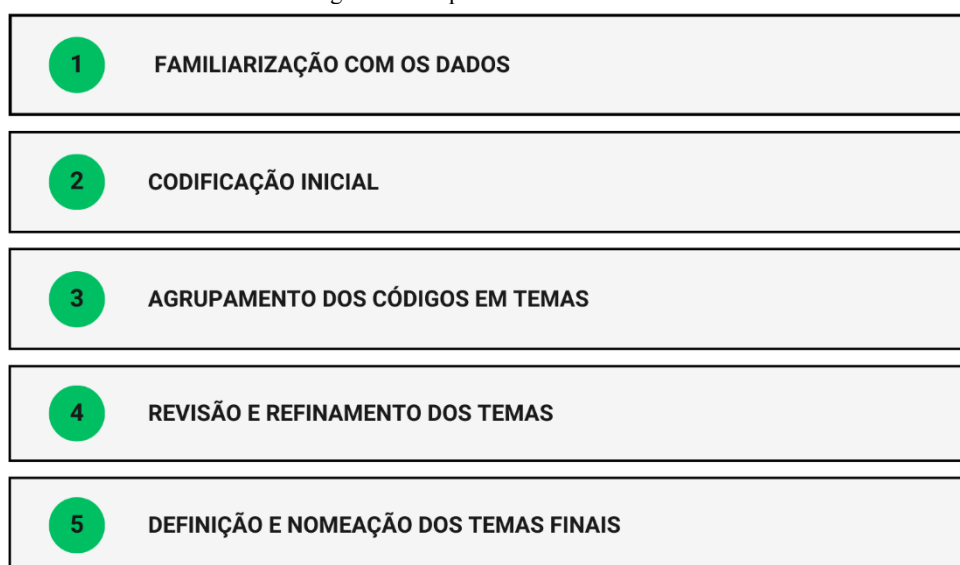
Fonte: A autora (2025)

Após a aplicação dos questionários, os dados obtidos foram sistematizados e organizados em planilhas eletrônicas. As informações da macro categoria caracterização socioeconômica dos participantes, as questões de respostas dicotômicas e as de múltiplas escolhas presentes nas demais macro categorias foram analisadas por meio da estatística descritiva simples utilizando-se frequências absolutas e relativas, além da elaboração de gráficos para facilitar a visualização e interpretação dos dados.

As perguntas relacionadas à percepção da qualidade e quantidade da água, aos impactos do sistema de captação e à economia na renda familiar foram formuladas com base em escalas do tipo Likert, que é um método popular utilizado entre pesquisadores para medir a percepção dos indivíduos em determinado contexto (Costa Júnior *et al.*, 2024), com categorias adaptadas. Essa adaptação segue o modelo clássico de escalas sociais do tipo graduação, conforme proposto por Gil (2008).

Por fim, a pergunta P.5.11 foi analisada a partir da técnica de Análise Temática, conforme abordagem sistematizada por Braun e Clarke (2006) que é um método para identificar, analisar, relatar padrões nos dados, organizar e interpretar vários aspectos do tema da pesquisa, oferecendo uma compreensão aprofundada das experiências dos participantes. O processo de análise temática seguiu as etapas conforme mostra a Figura 11:

Figura 11- Etapas da análise temática



Fonte: Braun e Clarke (2006) adaptado pela autora (2025);

### 3.7. Avaliação da viabilidade econômica do sistema com base na relação entre custos e economia de água.

A avaliação da viabilidade econômica foi realizada com o objetivo de estimar o retorno financeiro associado à implantação do sistema de captação de água da chuva do estudo. A análise considerou o custo de investimento inicial necessário para a implementação do sistema, bem como os benefícios econômicos proporcionados pela economia na fatura de água ao longo dos anos.

#### 3.7.1. Potencial de volume médio de água da chuva e economia de água na residência padrão do estudo.

O cálculo do volume potencial médio mensal de água de chuva a ser captado no telhado está descrito em diversos trabalhos, como em Ghisi *et al.* 2007, Daud *et al.* 2023, Jamal *et al.* 2023, sendo mostrado na equação 1:

$$V_p = i \times A_t \times C$$

Onde:

$V_p$  = Volume potencial médio mensal de captação (L)

$i$  = Precipitação média (mm/mês)

$A_t$  = Área total da superfície de captação (m<sup>2</sup>)

$C$  = Coeficiente de Runoff

O coeficiente de Runoff corresponde à razão entre o volume de água que escoou superficialmente e o volume total precipitado. Para telhas cerâmicas, situa-se entre 0,80 e 0,90; assim, adotou-se o valor de 0,85, conforme Tomaz (2010).

A demanda de água mensal da residência foi estimada a partir consumo per capita diário de Caruaru-PE, obtido do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2024) que é 149 L/dia, multiplicado pelo número de moradores da residência e pelo número de dias do mês, conforme mostra a equação 2.

$$Q_{mensal} = q_{pc,dia} \times N \times 30$$

Onde:

$$Q_{mensal} = \text{Demanda mensal de água (L)}$$

$$q_{pc,dia} = \text{Demanda per capita (L/dia)}$$

$$N = \text{Número de habitantes na residência}$$

Para este estudo, adotou-se  $N=3$  uma vez que a maioria das residências dos beneficiários é composta por 3 pessoas, garantindo que a estimativa represente o perfil predominante do público atendido.

A realização desses cálculos teve como objetivo principal estimar a economia de água proporcionada pelo sistema de captação de água de chuva. Ao determinar o volume médio potencial de captação anual e compará-lo à demanda hídrica das residências, tornou-se possível quantificar de forma objetiva o percentual de substituição do consumo de água do abastecimento público pela água pluvial captada. Essa abordagem é essencial para avaliar a contribuição efetiva do sistema para a redução do consumo de água potável e, consequentemente, para a segurança hídrica das famílias.

### 3.7.2. Custo de implantação e manutenção do sistema

Para elaborar o custo total de implantação do sistema, foram adotadas duas abordagens distintas divididas entre sistema de armazenamento e sistema de captação.

- Sistema de armazenamento: Todas as residências participantes do estudo já possuíam cisternas pré-existentes. Diante disso, optou-se por utilizar como referência um modelo padrão de cisterna em concreto armado, com volume médio de 10.000 litros, compatível com as estruturas observadas. O projeto adotado e suas características construtivas encontram-se descritos no Anexo A, e o orçamento completo foi elaborado com base

nos serviços disponíveis na base de dados do SINAPI, conforme detalhado no Apêndice B.

- Sistema de captação: Como não há serviços específicos para esse tipo de instalação listados na base SINAPI, foi elaborado um orçamento com base exclusivamente nos insumos, também retirados do SINAPI, conforme apresentado no Apêndice C. A única exceção foi o cálculo da mão de obra, para o qual foi adotado o item 91181/SINAPI, correspondente à fixação de tubos horizontais de PVC, conforme descrito na Tabela 1.

A Tabela 1 apresenta os quantitativos e valores unitários considerados para o cálculo da mão de obra por metro de tubo fixado.

Tabela 1- Composição da mão de obra para fixação de tubos de PVC (item 91181/SINAPI)

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIÇÃO DA COMPOSIÇÃO</b>	<b>UNID</b>	<b>QUANT</b>	<b>CUSTO UNIT.</b>	<b>CUSTO TOTAL</b>
88267/ SINAPI	Encanador ou bombeiro hidráulico com encargos complementares	h	0,4024	R\$27,05	R\$10,88
88248/ SINAPI	Auxiliar de encanador ou bombeiro hidráulico com encargos complementares	h	0,0915	R\$21,42	R\$1,96
				Custo total	R\$12,84

Fonte: SINAPI (2025)

Apesar de o orçamento ter sido centrado nos custos com insumos, optou-se por incluir também uma estimativa da mão de obra de instalação, com base na composição SINAPI mais compatível ao serviço de fixação de tubos. Para isso, considerou-se a metragem total de tubos e calhas prevista no sistema, a qual serve de referência para aplicar o custo unitário por metro linear de instalação. Essa estimativa adicional possibilita calcular o custo total real do sistema, conferindo maior precisão à análise financeira.

Para estimar os custos de operação e manutenção do sistema de aproveitamento de água da chuva ao longo do tempo, foram considerados os seguintes itens, com base em fontes oficiais e literatura especializada conforme apresenta o Quadro 11:

Quadro 11- Itens considerados para os custos de manutenção do sistema

<b>ITEM DE MANUTENÇÃO</b>	<b>FONTE DE CUSTO</b>	<b>PERIODICIDADE</b>	<b>OBSERVAÇÕES</b>
Hipoclorito de sódio para desinfecção	ORSE- Item 00146	Uma vez ao mês	Aplicado diretamente na cisterna

Manutenção de calhas e tubulações	Severis et al. (2019) e Borgert et al. (2024)	A cada um ano	Custo estimado em 1% do valor de implantação do sistema
-----------------------------------	---	---------------	---

Fonte: Autora (2025)

### 3.7.3. Tarifa de água cobrada pela concessionária de abastecimento de água

Para a realização da análise financeira, tornou-se necessário considerar as tarifas praticadas pela concessionária responsável pelo abastecimento público de água potável na região do estudo. Caso o consumo mensal seja igual ou inferior a dez mil litros a fatura de água/esgoto cobrada pela concessionária é igual a R\$ 61,77. A Tabela 2 mostra as tarifas cobradas pela concessionária de abastecimento de água potável quando o consumo mensal for superior a dez mil litros.

Tabela 2- Tarifas cobradas pela concessionária

CONSUMO MENSAL (L)	VALOR (R\$/M³)
10.001 a 20.000	7,09
20.001 a 30.000	8,42
30.001 a 50.000	11,59
50.001 a 90.000	13,74
90.001 a 999999.000	26,40

Fonte: Companhia Pernambucana de Saneamento (2025)

Ressalta-se que a concessionária realiza cobrança percentual de 100% sobre o consumo de água potável para realização de coleta e tratamento dos efluentes domésticos gerados na edificação.

### 3.7.4 Análise financeira do sistema

Com base no volume médio potencial de captação anual do sistema, foi estimada a economia gerada na conta de água a partir da redução do consumo proveniente do abastecimento público. Para isso, calculou-se a diferença entre o valor mensal da fatura de água antes da implantação do sistema e o valor após sua implantação, já considerando o volume substituído pela água da chuva. Essa diferença representa a economia monetária mensal proporcionada pelo sistema de aproveitamento de água da chuva ao longo do ano.

Um fluxo de caixa anual foi formado para um período de vinte anos. O tempo de retorno do investimento (payback) e o valor presente líquido (VPL) foram usados com indicadores de viabilidade conforme metodologia usada por diversos autores como Freitas *et al.* 2020, Borgert *et al.* 2024 e Couto *et al.* (2015).



O cálculo do valor presente líquido (VPL) é obtido de acordo com a equação 3:

$$VPL = -I + \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

O período de retorno é obtido quando o VPL é igual a zero, e considera diversos fatores, como custos de oportunidade, taxas de desconto e inflação durante o período analisado (Couto et al. 2015). Ele é obtido de acordo com a equação 4:

$$I = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

Onde:

$I = \text{Investimento inicial (R\$)}$

$CF_t = \text{fluxo de caixa do } t^{\text{ésimo}} \text{ período (R\$)}$

$t = \text{ano do fluxo de caixa (anos)}$

$i = \text{taxa de retorno (\%)}$

O tempo de retorno do investimento é representado por  $t$  e é calculado iterativamente até que os dois lados da equação sejam iguais.

Nesta análise foi considerada uma taxa de retorno de 1%, pois estudos semelhantes utilizaram esse valor para análise econômica de coleta de água de chuva pois é uma alternativa que gera benefícios ambientais e sociais positivos (Couto et al. 2015, Domènech et al. 2010).

Nos cálculos a taxa de inflação anual considerada foi o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), que é o índice oficial do governo e apresentou um valor médio de 5,96% nos últimos cinco anos no Brasil. Essa taxa foi utilizada para os custos de manutenção do sistema, bem como para os benefícios obtidos para a economia da água.

### 3.8. Avaliação da pegada hídrica

#### 3.8.1. Definição de objetivos e escopo

Nesta fase, 4 questionamentos foram abordados a fim de definir o objetivo geral da pesquisa e definir o escopo da contabilização da pegada hídrica seguindo a base teórica de Hoekstra et al. 2011 conforme mostra o quadro 12.

Quadro 12- Objetivos da avaliação da pegada hídrica

QUESTIONAMENTOS	RESPOSTAS
Há um foco em uma fase específica?	O foco está na avaliação da sustentabilidade ambiental do sistema de captação de água de chuva.
Qual é o escopo de interesse?	Pegada hídrica direta e indireta, verde, azul e cinza.
Em qual escala?	O sistema de captação de água de chuva replicado em diferentes localizações
Que produto considerar?	Todos os produtos relevantes, independente de marca, que envolvem a implantação do sistema.

Fonte: Autora (2025);

### 3.8.2 Contabilização da pegada hídrica do sistema de captação de água de chuva

A metodologia utilizada foi a desenvolvida por Hoekstra *et al.* 2011. O cálculo da pegada hídrica total de um processo é igual à soma dos componentes verde, azul e cinza conforme demonstra a equação 5:

$$PH_{total} = PH_{azul} + PH_{verde} + PH_{cinza}$$

onde:

$$PH_{total} = Pegada\ hídrica\ total\ do\ processo\ (volume/tempo)$$

$$PH_{azul} = Pegada\ hídrica\ azul\ (volume/tempo)$$

$$PH_{verde} = Pegada\ hídrica\ verde\ (volume/tempo)$$

$$PH_{cinza} = Pegada\ hídrica\ cinza\ (volume/tempo)$$

#### 3.8.2.1 Cálculo das pegadas hídricas azul, verde e cinza do sistema de captação de água de chuva.

As pegadas hídricas azul, verde e cinza em um processo são calculadas conforme as equações 6,7 e 8:

$$PH_{proc,azul} = Ev_{água\ azul} + Inc_{água\ azul} + Vazão\ de\ retorno\ perdida$$

onde:

$$PH_{proc,azul} = Pegada\ hídrica\ azul\ de\ um\ processo\ (volume/tempo)$$

$$Ev_{água\ azul} = Evaporação\ da\ água\ azul$$

$$Inc_{água\ azul} = Incorporação\ da\ água\ azul$$

$$PH_{proc,verde} = Ev_{\text{água verde}} + Inc_{\text{água verde}}$$

onde:

$$PH_{proc,verde} = \text{Pegada hídrica verde de um processo (volume/tempo)}$$

$$Ev_{\text{água verde}} = \text{Evaporação da água verde}$$

$$Inc_{\text{água verde}} = \text{Incorporação da água verde}$$

$$PH_{proc,cinza} = \frac{L}{(c_{m\acute{a}x} - c_{nat})}$$

onde:

$$PH_{proc,cinza} = \text{Pegada hídrica cinza de um processo (volume/tempo)}$$

$$L = \text{carga poluente (massa/tempo)}$$

$$c_{m\acute{a}x} = \text{concentração máxima aceitável (massa/volume)}$$

$$c_{nat} = \text{concentração natural no corpo d'água receptor (massa/volume)}$$

Ainda de acordo com a metodologia proposta por Hoekstra *et al.* 2011, para obter o cálculo da pegada hídrica do sistema de captação de água de chuva é necessário somar a pegada hídrica direta e indireta de todos os insumos além da pegada hídrica do processo que gera o produto.

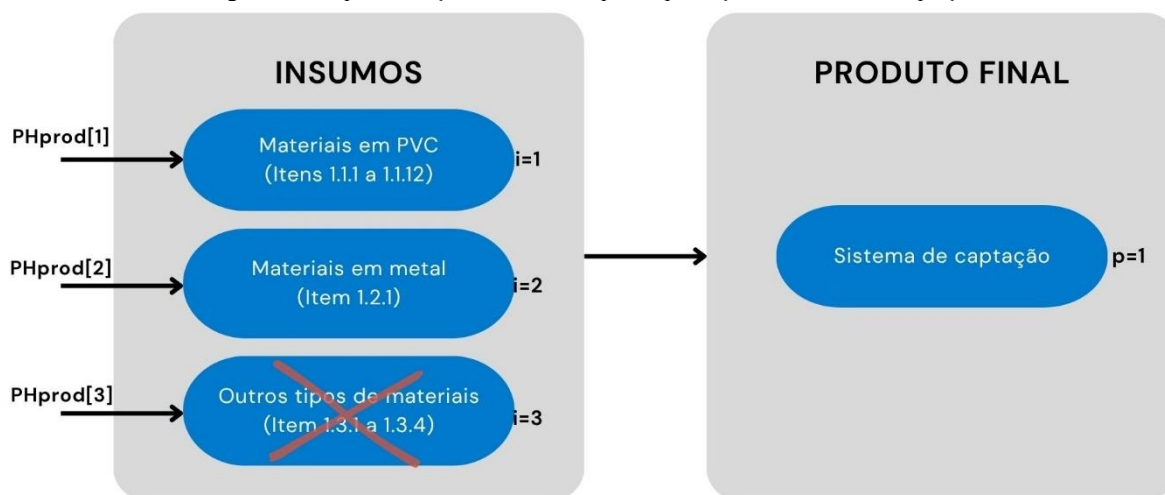
No presente trabalho, este cálculo foi realizado a partir dos insumos utilizados na instalação do sistema de captação de água de chuva, dividido em dois subsistemas: sistema de captação e sistema de armazenamento (cisterna).

A seleção dos materiais considerou os itens de maior impacto financeiro na composição orçamentária da obra, adotando o critério de significância econômica. Esse critério segue o entendimento de Souza (2014), segundo o qual a definição do que é considerado significativo para a pegada hídrica depende do contexto e da abordagem do pesquisador. Esse tipo de análise é semelhante ao uso da curva ABC, frequentemente aplicada para identificar os insumos mais representativos do ponto de vista econômico. As planilhas orçamentárias utilizadas para esse levantamento estão anexadas no Apêndice B e C e apresentam os principais insumos e seus respectivos custos, servindo de base para a seleção dos insumos com maior relevância financeira na obra.

Para o sistema de captação, foram considerados os materiais em PVC que correspondem aos itens 1.1.1 a 1.1.12 da planilha orçamentária e os materiais em metal que corresponde ao item 1.2.1, cuja pegada hídrica é classificada como indireta, pois está relacionada ao volume de

água consumido ao longo da cadeia produtiva de cada insumo. Outros tipos de materiais que correspondem aos itens 1.3.1 a 1.3.4 apresentados na planilha orçamentária não foram considerados por não ter relevância financeira no produto final. A Figura 12 mostra a esquematização dos insumos para obter o sistema de captação.

Figura 12- Esquematização dos insumos para a produção do sistema de captação

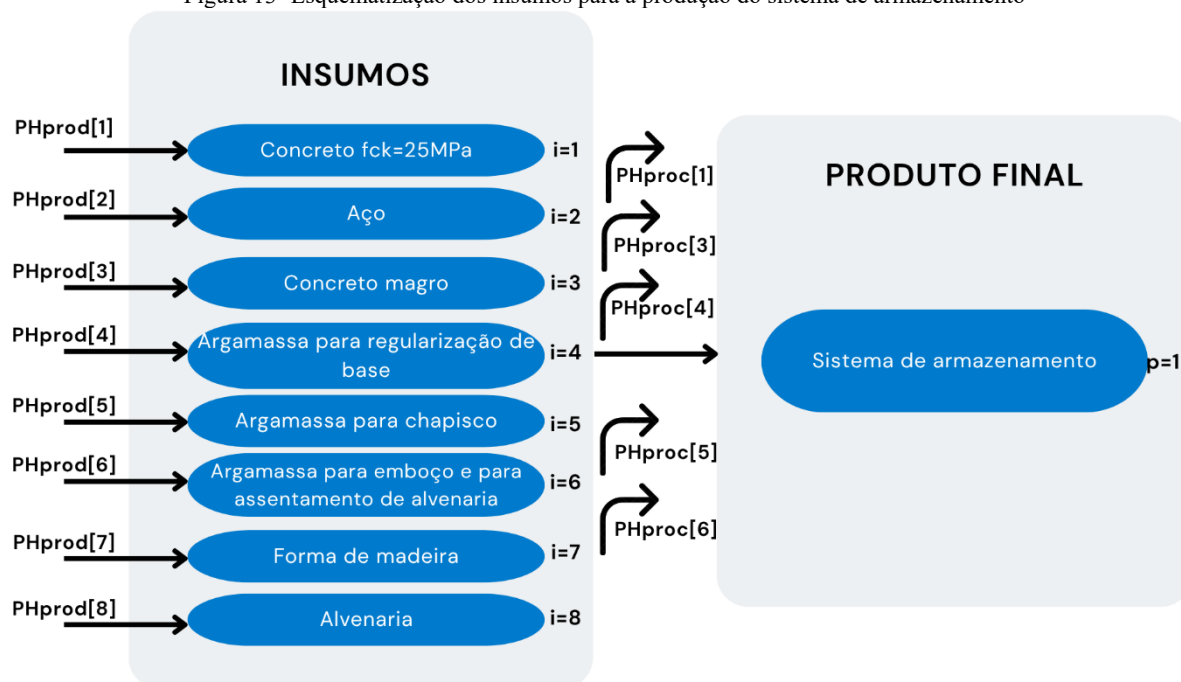


Fonte: Hoekstra *et al.* 2011, (adaptado pela autora).

A composição do sistema de armazenamento envolve uma diversidade maior de materiais em comparação ao sistema de captação, o que torna a análise de sua pegada hídrica mais complexa. Por esse motivo, optou-se por analisá-la separadamente, considerando a variedade de soluções construtivas disponíveis, como cisternas de concreto moldado in loco, reservatórios de polietileno e estruturas pré-fabricadas. No presente estudo, adotou-se o modelo composto por pilares estruturais e alvenaria, por ser a tipologia empregada no projeto analisado, conforme está detalhado no Anexo 1.

No cálculo da pegada hídrica, foram incluídos os insumos utilizados na produção do concreto estrutural ( $f_{ck} = 25$  MPa), do concreto magro e das argamassas, correspondentes aos itens 2.1, 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6 da planilha orçamentária. Esses materiais apresentam tanto pegada hídrica indireta, associada ao processo de fabricação dos seus insumos, quanto a pegada hídrica direta do processo devido ao uso de água utilizado no traço. Além disso, foram considerados os insumos utilizados na produção do aço, das formas e da alvenaria, cuja pegada hídrica é caracterizada como indireta, resultante do consumo de água ao longo da cadeia produtiva desses materiais. A Figura 13 mostra a esquematização dos insumos para o obter o sistema de armazenamento.

Figura 13- Esquemática dos insumos para a produção do sistema de armazenamento



Fonte: Hoekstra *et al.* 2011 (Adaptado pela autora)

Os dados utilizados para o cálculo da pegada hídrica dos insumos empregados na implantação do sistema foram obtidos a partir de diferentes fontes, considerando apenas o componente azul da pegada hídrica, uma vez que as bases consultadas não disponibilizavam informações suficientes para distinguir os componentes verde e cinza.

O cálculo foi realizado com base em dados provenientes de estudos anteriores (Lima *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2013) e no Guia Metodológico de Pegada Hídrica para Edificações, publicado pelo Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo (SindusCon-SP, 2019).

Para os materiais de PVC, adotou-se uma abordagem fundamentada na intensidade hídrica por unidade de massa, utilizando-se informações públicas dos Relatórios de Administração e Sustentabilidade da empresa Tigre (TIGRE, 2022;2022), que permitiram estimar a pegada hídrica média por quilograma de produto. Entretanto, os valores encontrados apresentaram-se significativamente inferiores aos reportados na literatura e no Guia Metodológico citado, motivo pelo qual optou-se por utilizar, nos cálculos finais, os valores de referência do SindusCon-SP (2019).

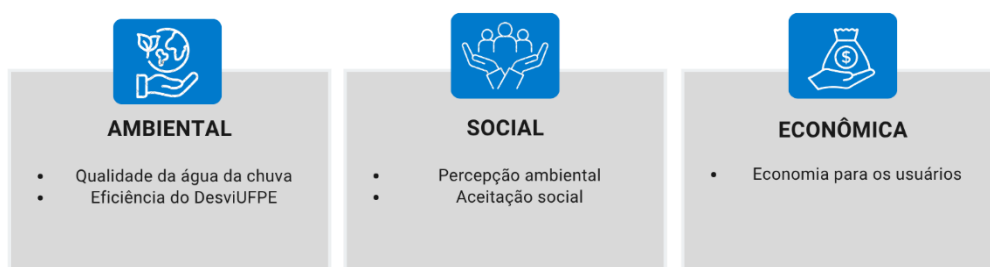
### 3.8.3 Análise da sustentabilidade ambiental da pegada hídrica da tecnologia nas condições locais.

A avaliação da sustentabilidade do sistema de captação de água de chuva foi realizada com base na metodologia Sustainable Development Analytical Grid (SDAG) conforme descrito

por Villeneuve *et al.* 2016. O SDAG é uma ferramenta de aceleração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) reconhecida pela Organização das Nações Unidas (ONU) e consiste em uma avaliação que abrange seis dimensões: econômica, ambiental, social, ética, governança e cultural. No presente trabalho, foram consideradas apenas as dimensões ambiental, social e econômica, em consonância com os critérios estabelecidos por Hoekstra et al. 2011 no manual da pegada hídrica, que define a sustentabilidade em dois aspectos. O primeiro refere-se ao local e ao período em que o processo ocorreu, sendo considerado insustentável quando inserido em contextos críticos no ponto de vista ambiental, social ou econômico. O segundo critério está relacionado às próprias características do processo, que pode ser julgado insustentável caso existam alternativas mais eficientes em termos de uso da água, viáveis do ponto de vista social. Dessa forma, a análise foi direcionada exclusivamente às três dimensões mencionadas (Hoekstra et al. 2011).

Os critérios para avaliação foram avaliados conforme a Figura 14.

Figura 14- Dimensões e critérios usados na avaliação da sustentabilidade



Fonte: A autora (2025)

Para possibilitar a aplicação da metodologia SDAG, foi necessário realizar previamente a quantificação das três dimensões de sustentabilidade contempladas neste estudo. Cada dimensão foi avaliada por meio de critérios específicos, estabelecidos com base nos dados obtidos ao longo do trabalho.

A dimensão ambiental foi quantificada com base nos resultados laboratoriais da qualidade da água da chuva coletada, utilizando-se o Índice de Qualidade da Água (IQA) seguindo a metodologia proposta por Singh *et al.* 2016.

A metodologia é composta de três etapas, onde a primeira consiste na atribuição de peso relativo aos parâmetros investigados, a segunda no cálculo de equações para resolver a escala de classificação de qualidade e a terceira a utilização dos padrões de potabilidade para cada parâmetro e da escala de classificação para calcular o IQA.

O peso relativo ( $W_i$ ) é calculado a partir da equação 9,

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Onde:

$$W_i = \text{peso relativo}$$

$$w_i = \text{peso de cada parâmetro}$$

$$n = \text{número de parâmetros}$$

O peso de cada parâmetro foi atribuído dependendo de sua importância na determinação de qualidade da água conforme analisado por Singh *et al.* 2016.

Para a definição da escala de classificação da qualidade da água, cada parâmetro foi avaliado com base na razão entre a concentração observada nas amostras e a concentração desejada estabelecida pelas legislações, adotando-se neste estudo a Portaria GM/MS nº 888/2021 para todos os parâmetros, exceto para o parâmetro salinidade que adotou a Resolução CONAMA Nº 357/2005. O valor obtido foi então multiplicado por 100, conforme descrito na equação 10:

$$Q_i = \frac{C_i \times 100}{S_i}$$

Onde,

$$Q_i = \text{Classificação de qualidade}$$

$$C_i = \text{Concentração de cada parâmetro em cada amostra de água na unidade medida}$$

$$S_i = \text{Concentração máxima permitida}$$

Para calcular o Índice de Qualidade da Água (IQA) foi calculado o subíndice de cada parâmetro (SI) conforme a equação 11:

$$SI_i = W_i \times Q_i$$

Por fim, o IQA foi calculado conforme a equação 12, que consiste no somatório do subíndice de todos os parâmetros.

$$IQA = \sum_{i=1}^n SI_i$$

Os valores do IQA calculados são categorizados em cinco tipos conforme apresentados no quadro 13.

Quadro 13- Intervalo do Índice de Qualidade da Água especificado para água potável no Brasil

FAIXA DE IQA	QUALIDADE DA ÁGUA
< 50	Água excelente
50-100	Água boa
100-200	Água pobre
200-300	Água muito pobre
>300	Água imprópria para consumo

Fonte: Singh et al. (2016)

Na dimensão ambiental também foi considerada a avaliação das respostas dos usuários sobre a percepção dos mesmos sobre a qualidade da água antes e depois do sistema.

A dimensão social, por sua vez, foi pontuada por meio das respostas dos beneficiários ao questionário aplicado, especialmente aquelas estruturadas na escala de Likert, permitindo avaliação da percepção da população quanto ao impacto do sistema em sua qualidade de vida e a quantidade de água oferecida pelo sistema.

Já a dimensão econômica foi inferida a partir da pergunta que trata do impacto financeiro do sistema na renda familiar, também analisada com base em escala ordinal.

Após essa quantificação os resultados dessas perguntas avaliadas no questionário foram convertidos em notas de 1 a 5 e posteriormente transformados em percentuais para serem representados graficamente por meio de um triângulo de sustentabilidade, adaptado do modelo de radar proposto na metodologia SDAG.

O Quadro 14 apresenta a classificação da avaliação de metas de menos de 20% a 100%, representando o desempenho do sistema de captação de água da chuva com base em cada dimensão avaliada.

Quadro 14 - Avaliação de metas

VALOR	SIGNIFICADO
Abaixo de 20%	Situação crítica: Dimensão ou tema não são considerados no projeto
Entre 20% e 39%	Situação problemática: A dimensão ou tema é insuficientemente considerado no projeto
Entre 40% e 59%	Situação melhorável: A dimensão ou tema é moderadamente considerado no projeto
Entre 60% e 79%	Situação satisfatória: A dimensão ou tema é considerado no projeto
Entre 80% e 100%	Situação excelente: A dimensão ou tema é fortemente considerado no projeto

Fonte: Villeneuve et al. 2016.



#### 3.8.4. Formulação da resposta aos resultados

A formulação de respostas aos resultados obtidos na avaliação da pegada hídrica foi baseada na identificação de pontos críticos observados a partir da aplicação da metodologia SDAG (*Sustainable Development Analytical Grid*), adotada para a análise da sustentabilidade ambiental, social e econômica do sistema de captação de água de chuva. Foram considerados pontos críticos aqueles critérios cuja pontuação percentual ficou abaixo de 60%, abrangendo as classificações “situação melhorável”, “problemática” ou “crítica”, conforme apresentado no Quadro 14.

Para cada um desses critérios, foram analisados os principais fatores limitantes identificados durante a execução do projeto, de modo a embasar a proposição de respostas práticas e estratégias de melhoria. Essas respostas foram organizadas de forma sistemática, considerando não apenas os aspectos técnicos da tecnologia implantada, mas também o contexto social dos usuários e a viabilidade econômica do sistema.

As ações propostas visam, portanto, aperfeiçoar os pontos identificados como deficitários, garantindo que o sistema avaliado possa alcançar níveis mais elevados de sustentabilidade. Vale ressaltar que essa etapa final da avaliação da pegada hídrica não pretende esgotar as possibilidades de ação, mas fornecer subsídios fundamentados nos dados obtidos ao longo do estudo para promover melhorias concretas, reforçar os benefícios já identificados e maximizar a efetividade de sistemas sustentáveis de captação de água de chuva em contextos similares ao analisado.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados deste trabalho são apresentados e discutidos neste capítulo.

### 4.1. Avaliação da qualidade da água da chuva e eficiência do sistema DesviUFPE

A Figura 17 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros de pH e a alcalinidade. A água da chuva coletada diretamente apresentou pH médio de 7,28, próximo da neutralidade. Estudos em outras regiões revelam variações expressivas desse parâmetro em função das condições locais de precipitação e características atmosféricas. Por exemplo, Livhuwani *et al.* (2024), em Vhembe na África do Sul, encontrou um pH médio de 5,94, indicando um caráter mais ácido da água da chuva na região.

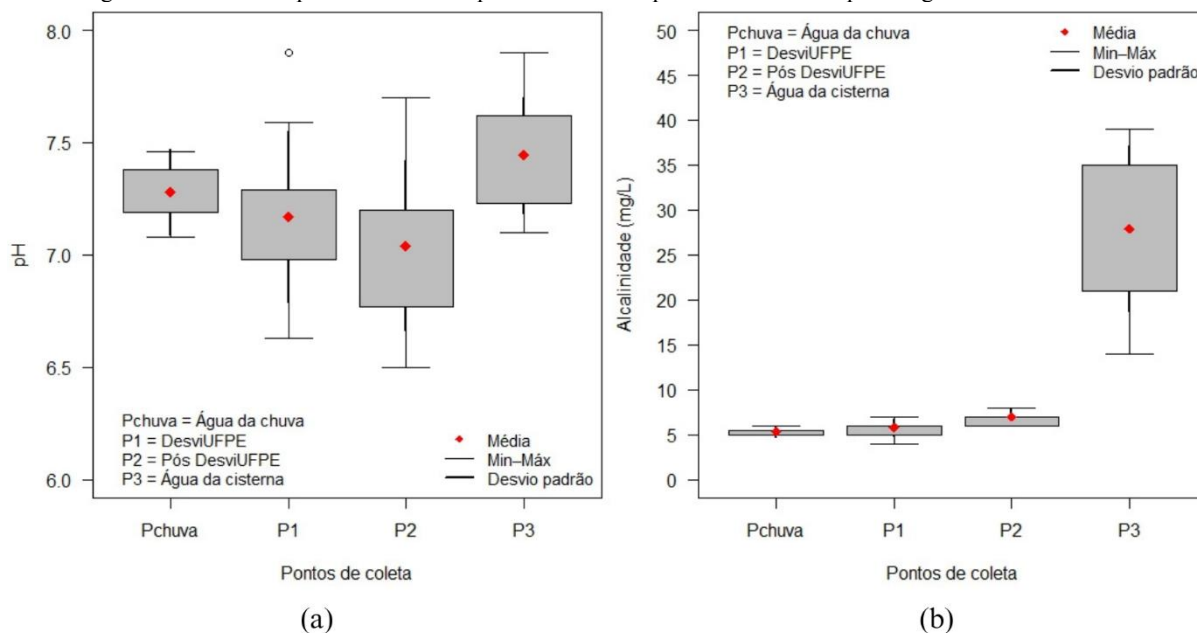
Nos pontos de coleta deste estudo, os valores oscilaram conforme segue: no ponto 1, referente ao primeiro milímetro da chuva, o pH variou de 6,33 a 7,90, com média de 7,16; no ponto 2, que representa a água desviada após o DesviUFPE e conduzida à cisterna, os valores variaram entre 6,50 e 7,70, com média de 7,04, e no ponto 3, referente à água armazenada na cisterna, os valores oscilaram de 7,10 a 7,69, com média de 7,44, sendo este o maior valor entre os pontos.

Barriga *et al.* 2024 encontrou valores entre 6,12 a 6,74 para o pH ao analisar a água armazenada no reservatório do primeiro milímetro em vários tipos de telhado no Chile. Em pontos intermediários do sistema, Tsanov *et al.* (2024) encontrou valores entre 5,27 e 6,80 na Bulgária, enquanto Jamal *et al.* (2023) reportou variações entre 6,46 e 7,65 em Bangladesh, compatíveis com os dados deste estudo. Já no armazenamento final, Rawan *et al.* (2022) obteve faixas entre 5,18 e 6,26 no Paquistão, valores consideravelmente mais ácidos do que os aqui observados. Porém, nesse estudo o valor mais alto para o pH se deu no reservatório de armazenamento e provavelmente é resultado da presença da substância alcalina do concreto, o que também explica o valor mais alto da alcalinidade no ponto 3, conforme Figura 17 (b).

O concreto pode ter grande influência nos valores alcalinos da água da chuva devido à liberação de íons alcalinos como  $\text{Ca}^{2+}$ , que, ao reagirem com  $\text{CO}_2$ , podem formar carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Essa hipótese é sustentada por Mao *et al.* (2021), que relaciona o aumento da alcalinidade da água à presença de materiais cimentícios em sistemas de captação. A alcalinidade no ponto 1 variou entre 4 e 7 mg/L, no ponto 2 entre 6 e 9 mg/L e no ponto 3 entre 14 e 39 mg/L. Esse padrão demonstra um aumento progressivo da alcalinidade ao longo do sistema, com destaque para os valores encontrados na água armazenada. Jamal *et al.* (2023), em estudo realizado em Dhaka, Bangladesh, encontrou valores de alcalinidade entre 8,98 e 27,3 mg/L, faixa que se aproxima significativamente dos valores observados neste estudo.

Apesar da Portaria GM/MS nº 888/2021 não estabelecer limites específicos para pH e alcalinidade, os valores encontrados neste estudo estão em consonância com a literatura científica, indicando condições adequadas da água nos diferentes pontos analisados.

Figura 15- Valores de pH e Alcalinidade para os diferentes pontos do sistema e para a água da chuva



Fonte: Autora (2025)

A Condutividade Elétrica (CE) variou de 12,05 a 518  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no conjunto total. No primeiro ponto foi de 22,7 a 79,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , no segundo ponto de 20,4 a 518  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , no terceiro ponto de 153,9 a 245  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e a chuva de 12,05 a 15,05  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figura 18-a). O valor 518  $\mu\text{S}/\text{cm}$  é um outlier registrado em janeiro, em uma chuva esporádica durante o período seco. Essa interpretação é coerente com a literatura, que relaciona picos de condutividade elétrica à acumulação seca antecedente e ao arraste inicial de depósitos.

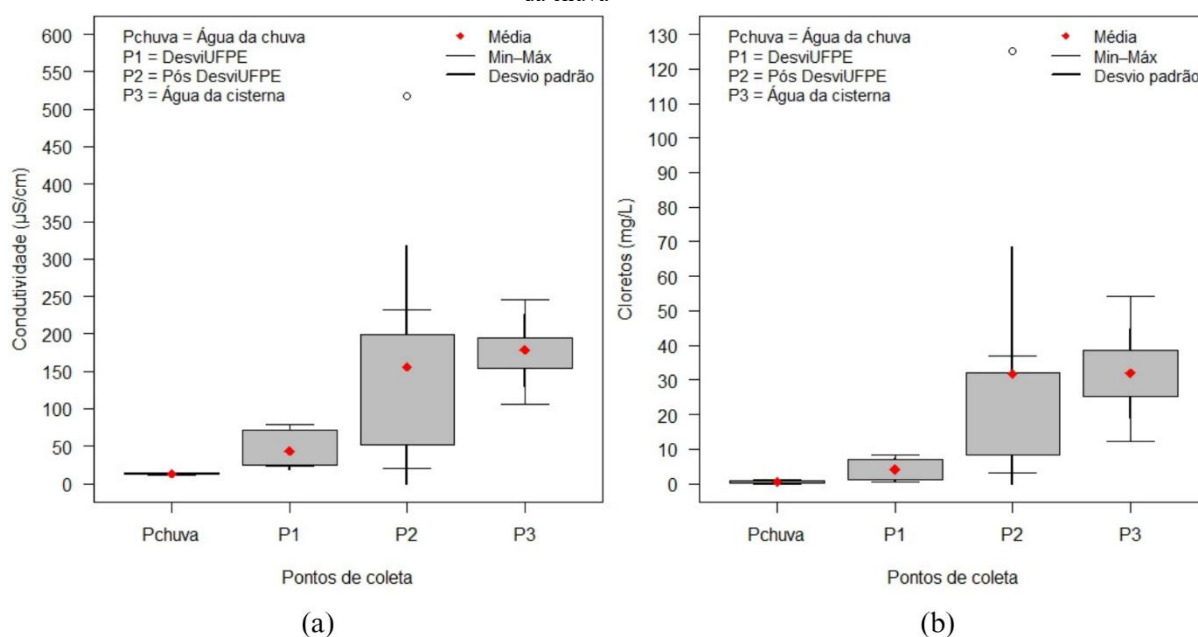
Barriga *et al.* (2024) observaram valores de CE entre 103 a 390  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e destacaram a influência do período seco anterior para estes resultados. A mesma observação foi feita por Tsanov *et al.* (2024) que obtiveram em seus estudos valores entre 168  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a aproximadamente 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e os maiores valores foram sob períodos secos mais longos, padrão compatível com o nosso pico em janeiro. Em síntese, o conjunto indica baixa a moderada mineralização, com um evento pontual explicando o valor extremo.

As leituras de salinidade foram zero para todas as amostras, isto indica que não há salinização em nenhum ponto do sistema. Apesar disso, observou-se aumento da alcalinidade, da dureza e da condutividade elétrica ao longo do percurso da água. Esse comportamento não caracteriza um processo de salinização, geralmente associado à presença de sais como o cloreto de sódio (NaCl), mas sim uma leve mineralização da água, atribuída principalmente à liberação

de íons cálcio e bicarbonatos provenientes do concreto da cisterna, os quais elevam a alcalinidade e a dureza sem impactar a salinidade.

As amostras de cloreto variaram de 0 a 125,18 mg/L. No ponto 1 de 0,49 a 8,38 mg/L, no ponto 2 de 2,96 a 125,18 mg/L e no ponto 3 12,32- 31,54 mg/L e a chuva entre 0 e 0,99 mg/L (Figura 18-b). O maior teor (125,18 mg/L) ocorreu no mesmo registro do pico da Condutividade Elétrica (518  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), mostrando coerência entre uma e outra. Quando aumenta a carga iônica total, também aumentam os cloretos. Os valores típicos do primeiro ponto e da chuva estão próximos da faixa encontrada por Rawan *et al.* (2022) que foi entre 1,01 a 9,09 mg/L. Embora os valores do ponto 3 estejam com uma média maior, todos os resultados ficaram bem abaixo de 250 mg/L é o limite organoléptico para a água potável estabelecido pela Portaria Nº 888 do Ministério da Saúde.

Figura 16- Valores de Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e Cloretos (mg/L) para os diferentes pontos do sistema e para a água da chuva



Fonte: Autora (2025)

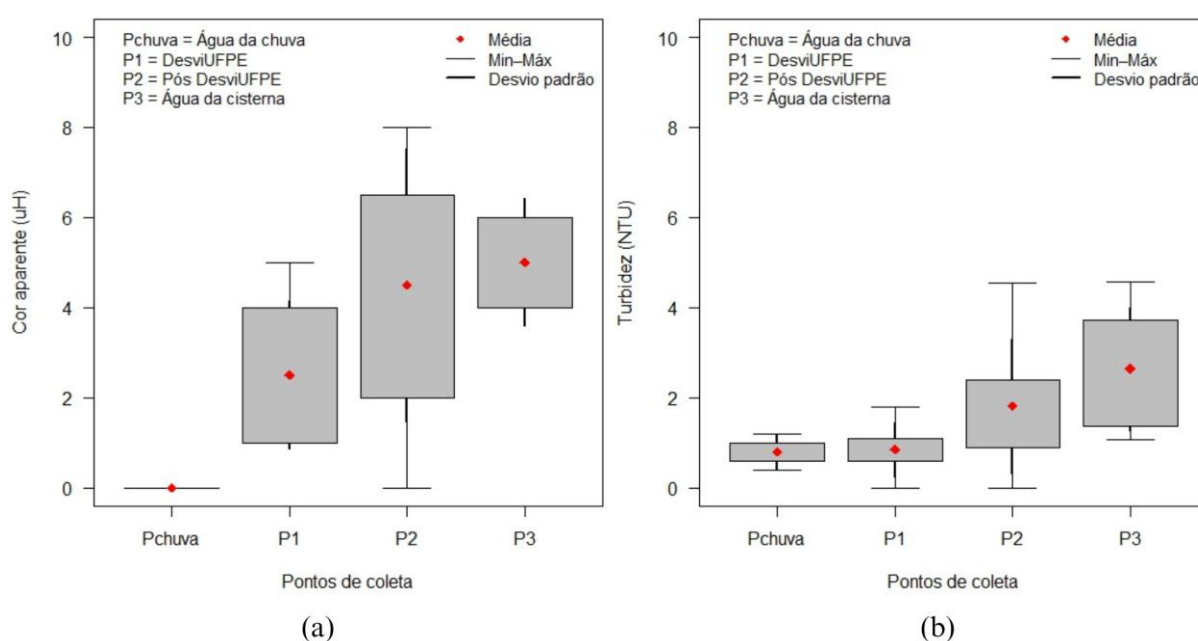
A cor verdadeira foi nula (0 uH) em todas as amostras analisadas, o que indica ausência de substâncias dissolvidas, resultados semelhantes ao de Rawan *et al.* (2022) e Livhuwani *et al.* (2024) que também relataram amostras incolores. A Figura 19-a apresenta os resultados da cor aparente da água nos diferentes pontos de coleta. Os valores variaram de forma moderada entre os pontos. No ponto 1 (DesviUFPE), os valores oscilaram entre 1 e 5 uH, com média de 2,5 uH; no ponto 2 (água após o desvio), entre 0 e 8 uH, com média de 4,5 uH; no ponto 3 (água armazenada na cisterna), entre 4 e 6 uH, com média de 5 uH, e na água da chuva coletada diretamente, os valores variaram de 0,4 a 1,2 uH. Barriga *et al.* (2024) e Sambas *et al.* (2019) também observaram em seus estudos níveis baixos de cor que não comprometeram a qualidade

sensorial da água. Portanto, os resultados são compatíveis com a literatura e não indicam comprometimento da potabilidade segundo o limite estabelecido na Portaria GM/MS nº 888/2021, que é de 15 uH para água potável.

Quanto à turbidez (Figura 19-b), observou-se um aumento progressivo ao longo do percurso da água no sistema de captação. O ponto 1 variou entre 0 e 1,8 NTU, média de 0,83 NTU, o ponto 2 entre 0 e 4,54 NTU, com média de 1,93 NTU, e o ponto 3 entre 1,07 e 4,58 NTU, com média de 2,97 NTU e a água da chuva entre 0,4 e 1,2 NTU, com média de 0,8 NTU. Livhuwani et al. (2024) também registrou baixos níveis de turbidez, com valores variando de 0,18 a 3,37 NTU, valores bem próximos ao encontrado neste estudo. Resultados semelhantes também foram relatados por Mao *et al.* (2021) que identificou o mesmo comportamento onde a primeira descarga teve maior índice de turbidez, mas reduziu significativamente após o descarte inicial. Apesar da elevação, todos os valores ficaram abaixo do limite máximo de 5,0 NTU estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021 para água potável.

O valor mais alto de turbidez (4,58 NTU), registrado no ponto 3, ocorreu durante o mês de janeiro, em período de estiagem, o que corrobora os achados de Sambas *et al.* (2019), que apontaram maior turbidez durante a estação seca. Essa condição pode ter favorecido o acúmulo de poeira e detritos no telhado e canaletas, resultando em maior carga de partículas na água coletada.

Figura 17- Valores de Cor aparente (uH) e Turbidez (NTU) para os diferentes pontos do sistema e para a água da chuva



Fonte: Autora (2025)

A Figura 18 apresenta os resultados para os parâmetros de dureza total e dureza de cálcio nos diferentes pontos do sistema de captação. Observou-se um aumento progressivo dos valores

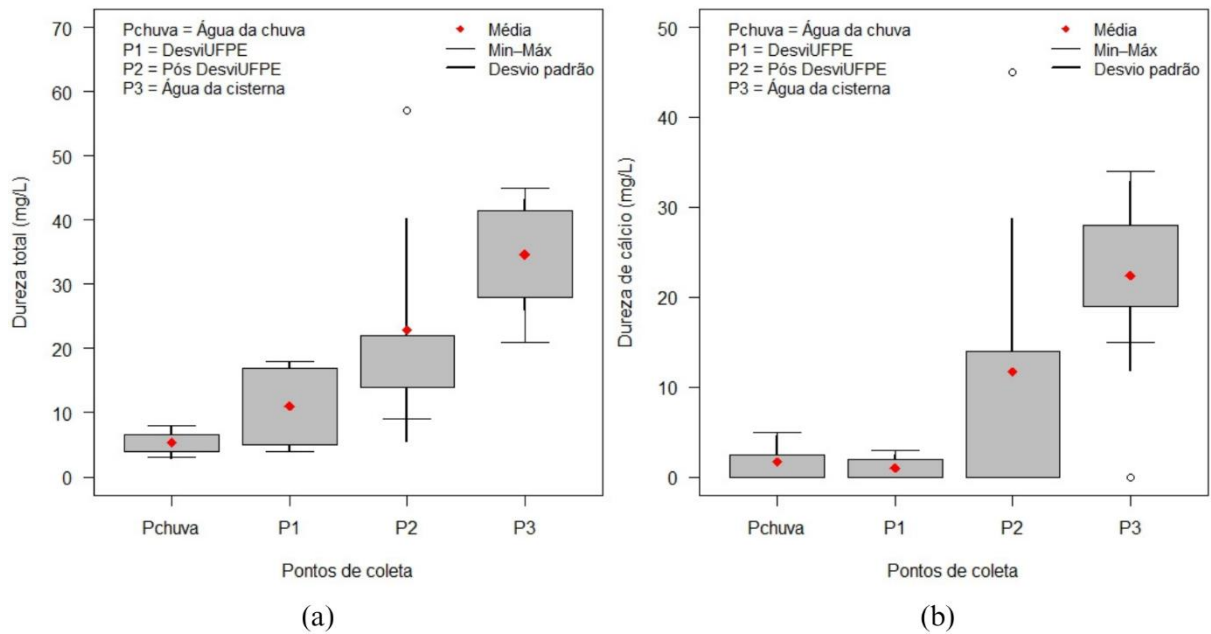
à medida que a água percorre o sistema, o que pode ser atribuído à contaminação da superfície de captação, das tubulações e especialmente do material da cisterna. Para a dureza total, os valores médios encontrados foram de 5,33 mg/L na água da chuva, 11 mg/L no ponto 1, 22,83 mg/L, no ponto 2 e 34,63 mg/L no ponto 3, com faixas variando de 3 a 8 mg/L, 4 a 18 mg/L, 9 a 57 mg/L e 21 a 45 mg/L, respectivamente.

A água da chuva coletada diretamente apresentou valores baixos, compatíveis com os achados de Song et al. (2024), que relataram média de 10 mg/L, e de Jamal et al. (2024), que encontrou variações entre 9 e 32 mg/L, com média de 14,9 mg/L.

A elevação gradual da dureza total ao longo do sistema reflete a influência da superfície de captação, telhados e calhas, acúmulo de resíduos na tubulação e a contribuição de materiais do sistema construtivo, especialmente na cisterna. O uso de concreto no reservatório é um fator relevante, pois este material pode liberar íons cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) para a água. Como discutido por Mao et al. (2021), a interação entre o concreto e o  $\text{CO}_2$  atmosférico pode favorecer a formação de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), elevando a dureza da água.

Comportamento semelhante foi observado na dureza de cálcio, com valores médios de 1,67 mg/L na água da chuva, 1 mg/L no ponto 1, 11,67 mg/L no ponto 2 e 22,13 mg/L no ponto 3. Os valores variaram entre 0 e 5 mg/L na chuva, 0 a 3 mg/L no ponto 1, 0 a 45 mg/L no ponto 2 e 0 a 34 mg/L no ponto 3. Também nesse parâmetro, o maior valor foi encontrado na cisterna, o que corrobora a hipótese de lixiviação de íons provenientes do concreto, além da possível presença de partículas acumuladas na superfície de captação.

Figura 18- Valores de Dureza Total (mg/L) e Dureza de Cálcio (mg/L) para os diferentes pontos do sistema e para a água da chuva



Fonte: Autora (2025)

A análise microbiológica dos pontos de coleta, apresentada nas Tabelas 3 e 4, revelou padrões distintos para coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (EC) ao longo do sistema de captação, tratamento e armazenamento de água da chuva.

Tabela 3- Valores de coliformes totais (UFC/100mL) para os diferentes pontos do sistema e para a água da chuva

		COLETA 1	COLETA 2	COLETA 3	COLETA 4	COLETA 5
CASA	PONTO	CT	CT	CT	CT	CT
1	1	>100	>100	>100	>100	>100
	2	ND	ND	ND	15	ND
	3	ND	ND	ND	ND	ND
2	1	>100	>100	>100	>100	>100
	2	35	42	15	12	31
	3	ND	>100	ND	ND	Nd
3	1	>100	>100	>100	>100	>100
	2	39	3	12	19	8
	3	ND	>100	ND	ND	ND
CHUVA		NR	NR	15	8	6

UFC: Unidades Formadoras de Colônias; ND: Não Detectado; NR: Não Realizado; CT: Coliformes Totais;

Fonte: Autora (2025).

Tabela 4- Valores de *Escherichia coli* (UFC/100mL) para os diferentes pontos do sistema e para a água da chuva

		COLETA 1	COLETA 2	COLETA 3	COLETA 4	COLETA 5
CASA	PONTO	EC	EC	EC	EC	EC
1	1	>100	11	26	>100	>100
	2	ND	ND	ND	ND	ND
	3	ND	ND	ND	ND	ND
2	1	>100	>100	>50	>100	>100
	2	ND	8	ND	ND	ND
	3	ND	>100	ND	ND	ND

	1	15	38	21	>100	>100
3	2	ND	2	ND	ND	ND
	3	ND	>100	ND	ND	ND
	CHUVA	NR	NR	0	0	0

UFC: Unidades Formadoras de Colônias; ND: Não Detectado; NR: Não Realizado; EC: *Escherichia coli*.

Fonte: Autora (2025)

De modo geral, a água da chuva coletada diretamente apresentou os menores valores para ambos os parâmetros microbiológicos, com ausência de EC em todas as amostras e valores de CT entre 6 e 15 UFC/100 mL nas coletas realizadas. Esse achado é compatível com os estudos de Yuan *et al.* (2025), que identificaram valores entre 2 e 46 UFC/100 mL para coliformes totais na água da chuva e com Song *et al.* (2025), que relataram contagens bacterianas totais de 80 UFC/mL e ausência de *E. coli* em amostras de água pluvial. Esses dados corroboram a ideia de que a água da chuva, quando captada diretamente, possui baixa carga microbiana, sendo compatível com padrões de potabilidade após desinfecção leve.

Entretanto, à medida que a água transita pelas diferentes etapas do sistema, observa-se um incremento nas concentrações de coliformes totais e, em alguns casos, também de *E. coli*. Tal elevação é atribuída à presença de material particulado nas superfícies de captação durante os períodos de estiagem. Yuan *et al.* (2025) já haviam destacado esse risco, enfatizando que estas partículas podem atuar como transportadores de microrganismos do ambiente para a água coletada e que a proliferação microbiana na água da chuva armazenada é uma grande preocupação em regiões tropicais, especialmente onde o monitoramento da qualidade da água é limitado. A literatura destaca, portanto, a necessidade do monitoramento contínuo da qualidade microbiológica, conforme o estabelecido pelo ODS 6.

No presente estudo, o sistema DesviUFPE demonstrou desempenho variável, sendo capaz de reduzir consideravelmente os níveis de CT e EC em alguns casos, com registros de 100% de remoção de *E. coli*, mas sem garantir constância nos resultados. Isso reforça a importância do uso combinado do DesviUFPE com a desinfecção química, especialmente com hipoclorito de sódio. Segundo orientação técnica do sistema, recomenda-se a aplicação de 1 litro de hipoclorito para cada 10 mil litros de água no reservatório para garantir a inativação dos microrganismos. Nos casos em que *E. coli* foi detectada na cisterna (ponto 3), apesar da efetividade parcial do sistema, presume-se falha na adição do cloro. Isso é confirmado pela observação de uma mesma residência em que a presença de EC em uma coleta foi seguida da sua ausência em outra, sugerindo que a eficácia da desinfecção está condicionada ao uso adequado do produto químico.



Estudos como o de John *et al.* (2021) demonstraram que a utilização de métodos simples como o uso de cloro foi eficaz na eliminação de coliformes totais e *E. coli*. Resultados semelhantes foram reportados por Jamal *et al.* (2024), que observaram redução das contagens bacterianas de até 215 UFC para valores inferiores a 15 UFC após tratamento.

Assim, embora o sistema estudado apresente potencial significativo na remoção de contaminantes microbiológicos, sua efetividade está diretamente associada ao comportamento do usuário quanto à higienização da superfície de captação e à adesão ao protocolo de desinfecção. Os dados confirmam a eficiência do DesviUFPE como etapa complementar, mas não substitutiva ao tratamento químico final.

## 4.2. Avaliação da percepção ambiental e nível de satisfação da população atendida pelo projeto

Esta seção aborda o perfil socioeconômico das famílias beneficiadas, a percepção do usuário sobre a qualidade e quantidade da água, condições sanitárias e avaliação geral sobre o sistema.

### 4.2.1. Perfil socioeconômico das famílias beneficiadas

Entre os beneficiados, 50% identificaram-se como do sexo masculino e 50%, como do sexo feminino. Esses dados referem-se aos respondentes do formulário de cadastro. É importante destacar que, em cinco das residências, apenas o homem foi diretamente beneficiado. Nas demais, embora o cadastro tenha sido preenchido por homens, havia mulheres envolvidas no contexto familiar e também impactadas pelo projeto.

A Tabela 5 apresenta a distribuição do nível de escolaridade dos 24 beneficiários do projeto. Observa-se que metade dos participantes (50,0%) possui ensino médio completo, representando o maior grupo entre os entrevistados. Em seguida, destacam-se os que completaram o ensino fundamental (16,7%) e os que não o concluíram (12,5%). Apenas uma pessoa (4,2%) declarou ser analfabeta, enquanto duas (8,3%) afirmaram ter concluído o ensino superior. Os dados mostram que 91,7% dos participantes possuem, no máximo, ensino médio completo, evidenciando um perfil educacional com predomínio de escolaridade básica.

Tabela 5- Grau de instrução dos participantes da pesquisa

GRAU DE INSTRUÇÃO	FREQÜÊNCIA	%	% ACUMULADO
Analfabeto	1	4,2	4,2
Ens. Fundamental Incompleto	3	12,5	16,7
Ens. Fundamental Completo	4	16,7	33,3
Ens. Médio Incompleto	2	8,3	41,7
Ens. Médio Completo	12	50,0	91,7

Ens. Superior Completo	2	8,3	100,0
------------------------	---	-----	-------

Fonte: Autora (2025).

A Tabela 6 refere-se à ocupação dos beneficiários e mostra que a maioria dos participantes atua de forma autônoma (41,7%) ou como empregado assalariado (37,5%). Além disso, 12,5% dos entrevistados estavam desempregados no momento da coleta dos dados, e apenas 8,3% eram aposentados.

Tabela 6- Ocupação dos participantes da pesquisa

<b>OCUPAÇÃO</b>	<b>FREQUÊNCIA</b>	<b>%</b>	<b>% ACUMULADO</b>
Empregado assalariado	9	37,5	37,5
Desempregado	3	12,5	50,0
Autônomo(a)	10	41,7	91,7
Aposentado(a)	2	8,3	100,0

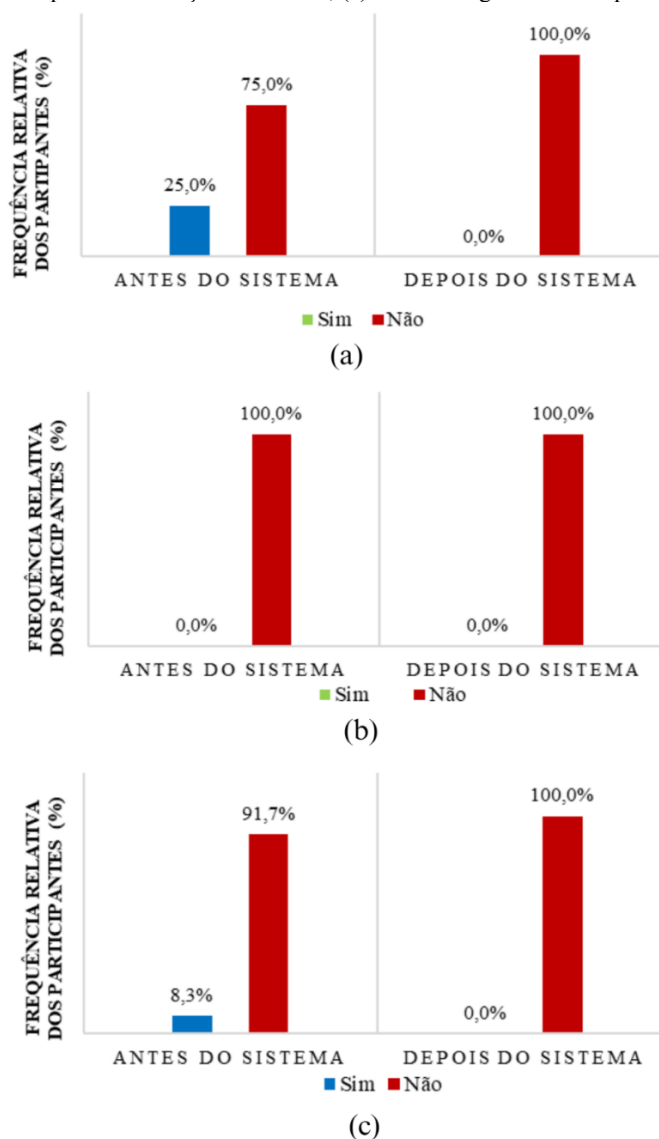
Fonte: Autora (2025).

Em relação à renda familiar, 33,3% dos beneficiários declararam receber até um salário mínimo, 50% possuem renda entre um e dois salários-mínimos, e apenas 16,7% ultrapassam esse valor. Além disso, 54,17% afirmaram ser beneficiários de algum programa social do Governo Federal. Esses dados evidenciam um cenário marcado por vulnerabilidade econômica, caracterizado por baixa renda, instabilidade financeira e, em muitos casos, vínculos de trabalho informais. Nesse contexto, a adoção de tecnologias sociais, como os sistemas de captação de água da chuva, torna-se significativa, pois contribui para a redução de gastos com abastecimento e melhora a qualidade de vida das famílias beneficiadas.

#### 4.2.2. Percepção dos usuários sobre a qualidade da água

A percepção da qualidade da água relaciona diretamente com os parâmetros físicos cor, sabor e cheiro. Em relação a cor da água, antes da implementação do sistema, 25% dos participantes relataram presença de coloração, enquanto 75% afirmaram não perceber alterações visuais. Após a instalação do sistema, todos os entrevistados relataram ausência de cor, indicando melhora nesse aspecto, Figura 19 (a). No que diz respeito ao sabor, a percepção manteve-se estável, pois tanto antes quanto depois da implementação, todos os participantes afirmaram não perceber gosto desagradável, Figura 19 (b). Quanto ao cheiro, apenas 1 participante relatou presença de odor antes do sistema, porém, após a adoção do sistema, todos os usuários relataram ausência de cheiro, reforçando a percepção de melhoria da qualidade da água, conforme Figura 19 (c).

Figura 19- Frequência relativa da percepção dos participantes sobre: (a) cor da água antes e depois da instalação do sistema; (b) sabor da água antes e depois da instalação do sistema; (c) cheiro da água antes e depois da instalação do sistema



Fonte: Autora (2025).

Essas percepções positivas referentes à qualidade da água estão alinhadas com os achados de Vele *et al.* (2024) que demonstraram que variáveis como cor e sabor influenciam significativamente os níveis de satisfação. No presente estudo, todos os participantes classificaram a qualidade da água da chuva como “boa” ou “excelente”, o que evidencia uma percepção extremamente favorável à água captada. Esse achado é compatível com Ghosh (2022), que identificou alta saliência para afirmações como “a qualidade da água da chuva é aceitável” em sua pesquisa com usuários de sistemas semelhantes.

Outro aspecto analisado foi a formação de espuma durante o banho, um indicador indireto da dureza da água, que está relacionada com a presença de íons como cálcio e magnésio. Água com alta dureza dificulta a formação de espuma, resultando em maior consumo de sabão (Von Sperling, 1995). No presente estudo, 33% dos participantes relataram ausência

de espuma antes da instalação do sistema. Após a implementação, todos os entrevistados afirmaram que água passou a espumar, o que sugere uma possível redução da dureza da água coletada com o sistema de captação de água de chuva.

Os dados reforçam a relevância do projeto no cumprimento do ODS 6 e também do ODS 3, ao evidenciar melhorias na percepção de qualidade da água, elemento essencial para a saúde das famílias atendidas.

#### 4.2.3. Percepção dos usuários sobre a quantidade da água

A percepção dos usuários quanto a quantidade da água após a implementação do sistema de captação é especialmente relevante quando inserida no contexto da região de estudo. O município de Caruaru, localizado no agreste pernambucano, convive historicamente com prolongados períodos de estiagem, conforme apontado por Nóbrega *et al.* (2015). A irregularidade pluviométrica reflete diretamente em medidas de racionamento e rodízios prolongados de abastecimento no município.

Este cenário de escassez foi refletido nos dados coletados. Antes da instalação do sistema, a frequência de chegada da água pela rede pública variava significativamente, 50% dos participantes relataram recebimento quinzenal, 33,3 % semanal e 16,7% mensal. Essa diversidade de experiências indica um modelo de abastecimento instável, que compromete o acesso regular à água.

A sazonalidade da escassez também foi destacada nas respostas, onde 75% dos beneficiários apontaram o verão como o período com maior incidência de falta de água. No entanto, todos os respondentes declararam que não houve mais falta de água após a instalação do sistema. Além disso 83,3% deles informaram que ainda mantém outra fonte de abastecimento, o que indica que na maioria dos casos o sistema é usado de forma complementar a rede convencional de abastecimento ou ao caminhão pipa. Apesar disso, os dados mostram que o sistema atendeu a demanda cotidiana, já que não houve escassez de água após a adoção.

Quanto à avaliação subjetiva da quantidade de água, todos os participantes classificaram-na de maneira totalmente positiva, 100% dos entrevistados classificaram-na como “Boa” ou “Excelente”. Isso demonstra que, mesmo diante da variabilidade do clima e das limitações da infraestrutura pública, o sistema de captação de água de chuva foi eficaz em suprir as necessidades hídricas básicas das famílias.

Nesse contexto, a percepção positiva dos usuários quanto a quantidade da água também se conecta com os ODS 6 ao assegurar acesso contínuo a água, ODS 11 ao fortalecer a

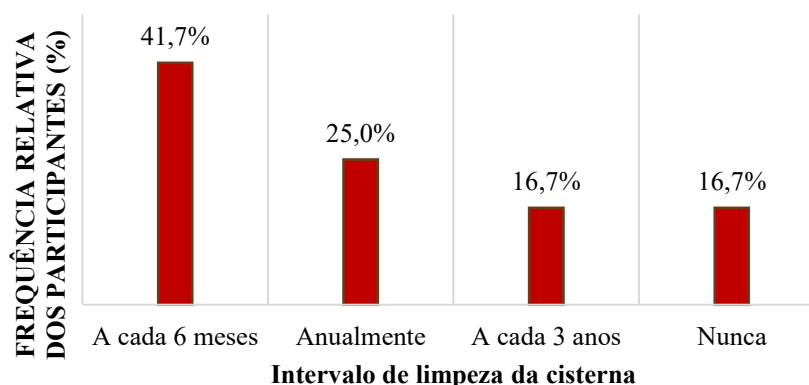
resiliência urbana em frente à escassez hídrica e a ODS 13 ao promover uma medida adaptativa frente à variabilidade climática no semiárido.

#### 4.2.4. Percepção dos usuários sobre as condições sanitárias

Além dos aspectos relacionados à qualidade e à quantidade da água, as condições sanitárias também abrangem os riscos à saúde associados ao consumo e uso da água, configurando-se, assim, como uma dimensão essencial das políticas públicas de saúde. Portanto, no presente estudo, a percepção dos usuários sobre esse aspecto foi investigada a partir de três eixos: frequência de limpeza da cisterna, histórico de problemas de saúde antes e depois do sistema e o impacto percebido na qualidade de vida.

De acordo com as orientações do Ministério da Saúde, a limpeza dos reservatórios de água deve ser realizada a cada seis meses ou sempre que houver indícios de contaminação, como medida preventiva para garantir a qualidade da água destinada ao consumo humano. No entanto, os dados coletados revelam um cenário de baixa adesão a essa prática entre os participantes da pesquisa, apenas 41,7% relataram realizar a limpeza no intervalo recomendado, enquanto 36,7% realizam a higienização com menor frequência e 16,7% afirmaram nunca ter feito qualquer tipo de limpeza na cisterna (Figura 20).

Figura 20- Frequência relativa dos participantes sobre a frequência de limpeza na cisterna



Fonte: Autora (2025);

Esse padrão de baixa frequência de limpeza observado entre os entrevistados também aparece em outras pesquisas. Em Vele *et al.* (2024), parte dos usuários realizava a higienização mensalmente (42,7%) ou até anualmente (30%), enquanto alguns nunca a faziam. Em Ghosh (2022), por outro lado, quase todos os domicílios (98%) limpavam os tanques ao menos uma vez por ano. Já Ackerson *et al.* (2024) registraram que 50% dos participantes limpavam seus reservatórios regularmente. Esses achados revelam que, embora os dados do presente estudo indiquem necessidade de maior conscientização, eles refletem uma realidade comum também em outros contextos de uso de sistemas de captação.

Apesar disto, os participantes não relataram agravamento nos quadros de saúde após a implementação do sistema. Antes da implementação, dois participantes relataram problemas como coceiras na pele, mas depois nenhum deles indicou problemas de saúde relacionados ao consumo da água. Esse achado aponta para a efetividade do sistema não apenas na melhora da qualidade e quantidade da água, mas também na redução dos riscos sanitários conforme estudos anteriores em que comprovam que o DesviUFPE foi eficiente na remoção de microrganismos patogênicos (Carvalho *et al.* 2018; Silva *et al.* 2021). Resultados semelhantes foram observados em Vele *et al.* (2024), onde 93,6% dos entrevistados não relataram efeitos adversos, e em Ghosh *et al.* (2022), que indicam percepção positiva quanto à redução de doenças transmitidas pela água nos sistemas de captação de chuva.

Além disso, quando questionados sobre os impactos gerais do sistema em sua vida cotidiana, todos os participantes afirmaram que o sistema melhorou sua qualidade de vida. Essa percepção reforça o papel do acesso seguro à água como componente central da dignidade humana e do bem-estar, especialmente em comunidades marcadas historicamente por vulnerabilidades sociais e hídricas. Estes resultados contribuem diretamente com os ODS 6 ao garantir acesso à água segura, ODS 3 ao prevenir doenças relacionadas à água contaminada, o ODS 1 ao reduzir gastos para as famílias e com a ODS 10 ao diminuir desigualdades no acesso a recursos hídricos em regiões semiáridas.

#### 4.2.5. Avaliação geral e percepção dos usuários sobre o sistema

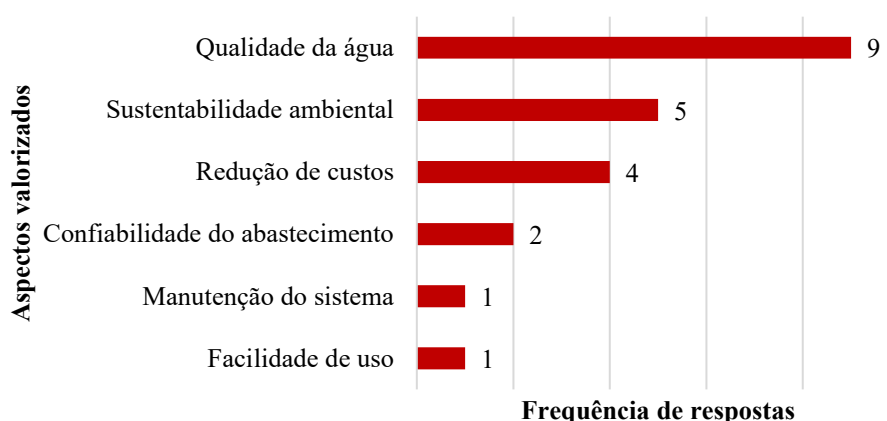
A percepção dos usuários quanto à durabilidade do sistema de captação foi avaliada por meio de duas variáveis: frequência de manutenção corretiva e estado geral de funcionamento. A maioria absoluta dos participantes (83,3%) afirmou nunca ter realizado reparos no sistema desde sua instalação, enquanto apenas dois relataram manutenções anuais. Apesar dessa baixa incidência de intervenções, 75% dos usuários declararam que o sistema “funciona bem”, enquanto apenas três entrevistados (25%) mencionaram que o sistema “necessita de reparos”. Isso mostra que o sistema é funcional e de baixa manutenção, o que reforça a sua adequação no contexto do semiárido.

Em relação à operação do sistema, todos os participantes afirmaram que não enfrentaram dificuldades e se sentiam capacitados para operar o sistema, o que evidencia sua usabilidade prática e as orientações adequadas durante a sua implementação. Além disso, todos relataram que não enfrentam custos contínuos com manutenção, o que reforça a viabilidade e sustentabilidade econômica do sistema ao longo do tempo. Este resultado se destaca positivamente quando comparado a outros estudos: Sheikh (2020) e Vele *et al.* (2024)

afirmaram que 40% e 50% dos entrevistados, respectivamente, não tinham conhecimento para operar o sistema, enquanto Ghosh *et al.* (2022) relatou que mais de 80% dos usuários não receberam suporte de monitoramento e instruções de uso.

Para analisar a percepção geral dos participantes quanto aos aspectos mais valorizados do sistema, aplicou-se uma abordagem quantitativa simples baseada na frequência de menções por categoria temática. A qualidade da água foi o aspecto mais citado, presente em 75% das respostas, seguida pela sustentabilidade ambiental (41,6%) e pela redução de custos (33,3%). Outros elementos como confiabilidade do abastecimento, facilidade de uso e manutenção do sistema foram mencionados com menor frequência (Figura 21).

Figura 21- Aspectos mais valorizados pelos participantes em relação ao sistema



Fonte: Autora (2025).

A maioria dos participantes (83,3%) relatou sentir-se mais independente em relação ao abastecimento de água após a instalação do sistema de captação de água da chuva, o que revela um fortalecimento da autonomia hídrica das famílias atendidas. Esse sentimento foi acompanhado por uma percepção ampliada de segurança quanto ao fornecimento de água pública, relatada por 86,7% dos entrevistados. Esses achados dialogam com estudos como o de Gabe *et al.* (2012), que relatam o fortalecimento da valorização dos sistemas de captação durante interrupções prolongadas no abastecimento urbano. De forma complementar, Vele *et al.* (2024) destacam o uso recorrente da água da chuva como fonte alternativa em comunidades onde o fornecimento público é irregular ou inexistente por até três semanas. Essa percepção também se conecta à realidade vivida no município do estudo, onde os entrevistados relataram vivências de escassez e rodízios no abastecimento convencional como já discutido anteriormente.

No que se refere ao uso da água da chuva, os dados indicam que os participantes incorporaram amplamente o sistema em suas rotinas diárias. Todos os entrevistados afirmaram

utilizar a água captada para a limpeza da casa, enquanto a maioria também mencionou seu uso para higiene pessoal e, em menor proporção, para o preparo de alimentos.

Todos os participantes da pesquisa afirmaram que indicariam o sistema de captação de água de chuva. Para compreender as razões dessa recomendação, foi aplicada uma pergunta aberta (“Por que?”), cujas respostas foram analisadas por meio da análise temática conforme todas as etapas propostas por Braun e Clarke (2006) descritas na metodologia. A partir dela, foi possível identificar diferentes categorias temáticas nas respostas dos entrevistados conforme mostra o Quadro 15.

Quadro 15- Categorias temáticas das justificativas para indicação do sistema de captação de água de chuva

<b>CATEGORIA TEMÁTICA</b>	<b>RESPOSTA DOS PARTICIPANTES</b>
Qualidade da água	“Porque é uma economia, fora que teremos uma água saudável e sem química.”
Redução de custos	“Por conta do custo.”
Segurança hídrica	“Porque na falta de água da COMPESA dar pra suprir.” “Porque é o melhor meio de armazenar água com sensação de segurança.” “Porque chega muita água.”
Sustentabilidade Ambiental	“Porque é uma maneira boa de economizar água.” “Porque é uma ótima forma de utilizar a água da chuva que antes era desperdiçada, mas com esse sistema podemos reaproveitar esse recurso tão importante.”
Praticidade	“Porque é muito eficaz, muito bem feito e não precisa de manutenção.” “Praticidade.”
Avaliação geral positiva	“Porque é muito bom.” “Porque é um benefício muito bom.” “Porque é um benefício que não atrapalha em nada e ainda ajuda em certos momentos. É bom.”

Fonte: Autora (2025).

A segurança hídrica, juntamente com a avaliação geral positiva, foi um dos temas mais recorrentes nas justificativas dos participantes, evidenciando a confiança no sistema como uma alternativa eficaz frente à instabilidade do abastecimento público. As respostas destacaram a capacidade do sistema de suprir as necessidades das famílias em momentos de escassez, proporcionando autonomia e tranquilidade. Outro aspecto fortemente mencionado foi a qualidade da água, associada à percepção de um recurso “saudável e sem química”, reforçando a aceitação do uso da água da chuva. Além disso, surgiram também como motivações a sustentabilidade ambiental, a redução de custos e a praticidade do uso, indicando que a adoção do sistema contribui não apenas para o bem-estar e qualidade de vida das famílias atendidas, mas também para sua organização financeira e relação com o meio ambiente.



Dessa forma, os resultados da avaliação social evidenciam uma percepção amplamente positiva dos participantes em relação ao sistema de captação de água da chuva implantado. A presença de respostas que associam o sistema à economia doméstica, sustentabilidade ambiental, fácil manutenção, água de qualidade, redução de riscos à saúde, mostra que o sistema promove impactos sociais, econômicos e ambientais aos beneficiados, mostrando-se eficaz para enfrentar as vulnerabilidades hídricas no semiárido, além de contribuir diretamente para o alcance das metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

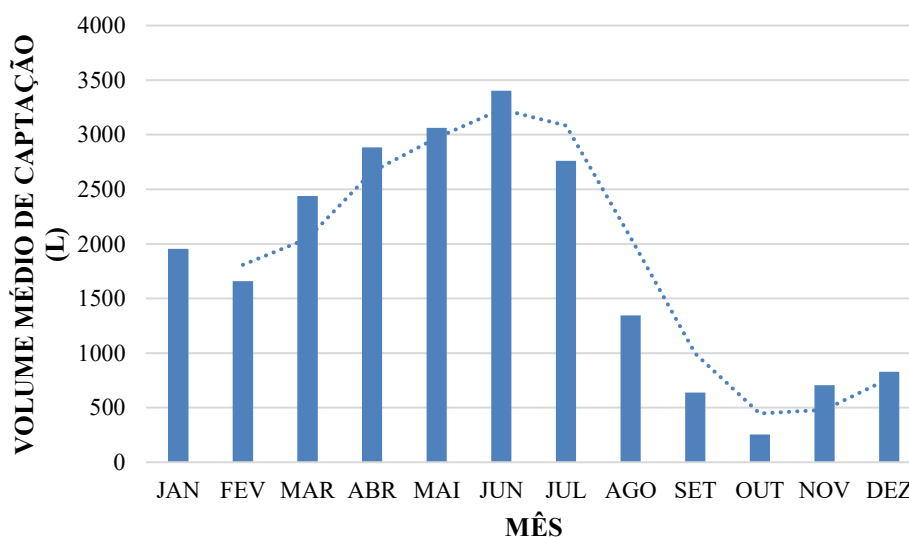
#### 4.3. Avaliação da viabilidade financeira do sistema com base na relação entre custos e economia de água.

Neste tópico é apresentado o potencial de volume médio de água da chuva e economia de água na residência padrão do estudo, o custo de instalação, do consumo real médio de água (antes e depois da instalação do sistema), o anual de manutenção do sistema e uma análise financeira, apresentando o tempo de retorno do investimento.

##### 4.3.1. Potencial de volume médio de água da chuva e economia de água na residência padrão do estudo

O sistema implantado apresentou um volume médio anual de 21.936,30 litros de água da chuva captada por residência, conforme ilustrado na Figura 22.

Figura 22- Volume médio de água da chuva captado por mês na residência padrão do estudo



Fonte: Autora (2025)

Considerando que a demanda anual de água da residência é de aproximadamente 160.920 litros, conforme descrito na metodologia, verifica-se que o potencial de captação do

sistema corresponde a 13,63% da demanda anual total. Observa-se ainda que o mês de junho apresentou o maior volume de água da chuva, totalizando uma média de 3.411,05 litros, o que demonstra que reservatórios com capacidade de 4.000 litros são suficientes para armazenar o volume captado nesse período. Esse achado é compatível com os resultados de Ghisi *et al.* (2007), os quais apontaram um potencial médio de economia de 16% em uma edificação multifamiliar, utilizando reservatórios de 3.000 litros. É importante ressaltar que embora haja resultados semelhantes, existe grande faixa de variação pois estes resultados estão diretamente ligados a área de captação do telhado, demanda per capita de água, precipitação média anual da região, como pode observar na Tabela 10.

Tabela 7- Comparativo entre estudos sobre potencial de economia de água da chuva

AUTORES	PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (MM)	ÁREA DE CAPTAÇÃO DO TELHADO (M²)	DEMANDA PER CAPITA (L/HAB.DI A)	TAMANHO IDEAL DO RESERVATÓ RIO (L)	POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA (%)
Daud <i>et al.</i> 2023	2461	86,85	135,57	3000	51
Bernard <i>et al.</i> 2020	2968	206,05-8796	111	307,42-25000	4-7
Ghisi <i>et al.</i> 2006	1362	85	158	3000-7000	41
Rosa <i>et al.</i> 2021	NI	120	148	4000	39,58
Akter <i>et al.</i> 2015	3000	AV	100	AV	26
Antunes <i>et al.</i> 2016	1766	AV	148	AV	19,4

NI: Não informado; AV: Apresenta Variação.

#### 4.3.2. Custo de instalação do sistema

A Tabela 8 apresenta o custo total estimado para a implantação do sistema de aproveitamento de água da chuva, incluindo os componentes de captação e armazenamento, com base nos valores detalhados nos Apêndices B e C.

Tabela 8- Custo do modelo do sistema de captação de água de chuva do estudo (Captação e armazenamento)

SISTEMA	CUSTO TOTAL	%
Captação	R\$3.717,26	26,47
Armazenamento	R\$10.328,51	73,53
	R\$14.045,77	100

Fonte: Autora (2025).

Para o cálculo da mão de obra do sistema de captação, foram considerados 45 metros lineares de tubos e calhas. Com base na composição apresentada na metodologia, obteve-se um

custo unitário de R\$ 12,84 por metro linear, resultando em um valor total de R\$ 577,80 para a implantação.

Para a aplicação prática deste projeto, não houve custos relacionados à implantação de cisternas, uma vez que todas as residências participantes já dispunham de estruturas semelhantes enterradas e que de uma forma geral as residências no nordeste do Brasil já possuem alguma forma de armazenamento. Essa característica reforça a viabilidade do sistema no contexto local, ao reduzir significativamente os custos de implantação. De forma análoga, Jamal *et al.* (2023) destacam que o armazenamento representa a maior parcela dos custos totais do sistema; entretanto, em seu estudo, assim como no presente trabalho, os sistemas foram implantados em edificações que já possuíam reservatórios subterrâneos, o que contribuiu para minimizar os investimentos necessários nessa etapa.

Ainda assim, visando ampliar a replicabilidade do projeto, foram analisadas alternativas de armazenamento. Considerando que o volume máximo de água captado no estudo foi de 3.411,05 litros no mês de maior precipitação, reservatórios com capacidades entre 4.000 e 5.000 litros seriam tecnicamente suficientes para atender à demanda de armazenamento. Diante disso, propõe-se como alternativa à cisterna tradicional de 10.000 litros o uso de reservatórios de polietileno com volume de 5.000 litros, os quais apresentam menor custo, estimado em R\$ 3.000,00 com base em preços de mercado.

A Tabela 9 apresenta o comparativo entre três cenários distintos de implantação do sistema, considerando diferentes configurações para o armazenamento da água da chuva.

Tabela 9-Comparativos entre os custos e viabilidade de três modelos de implantação do sistema

OPÇÃO	DESCRIÇÃO	CUSTO ESTIMADO	VIABILIDADE
1	Sistema de captação em residências que já possuem cisterna enterrada.	R\$3.717,26	Viável
2	Sistema de captação + cisterna de concreto de 10.000 L	R\$14.045,77	Moderadamente viável
3	Sistema de captação + reservatório de polietileno de 5.000 L	R\$6.717,26	Viável

Fonte: Autora (2025)

A opção 1 representa o modelo aplicado no presente estudo, em que todas as residências já possuíam cisternas enterradas em funcionamento, tornando desnecessária a inclusão deste

custo na implantação. Nessa alternativa, considerou-se apenas o valor dos insumos e mão de obra do sistema de captação, sendo a mais acessível e amplamente replicável em residências com infraestrutura similar. A opção 2 contempla um modelo tradicional com cisterna de concreto armado de 10.000 litros, conforme padrão já encontrado nas residências do estudo, com orçamento baseado no banco de dados do SINAPI (Agosto/2025). Apesar do custo mais elevado, trata-se de uma alternativa robusta e apropriada para contextos em que não exista nenhuma estrutura de armazenamento de água, seja para água pluvial ou para o abastecimento convencional. Neste cenário, a implantação da cisterna passa a atender a múltiplas funções: armazenar tanto a água da chuva quanto a água proveniente da rede pública ou outras fontes, reforçando a segurança hídrica das famílias e garantindo maior autonomia durante períodos de escassez ou racionamento. Já a opção 3 propõe a substituição da cisterna tradicional por um reservatório de polietileno de 5.000 litros, considerando que o volume de armazenamento necessário identificado no estudo foi de aproximadamente 4.000 litros. Com custo intermediário e facilidade de instalação, esta alternativa se mostra viável e estratégica para reaplicações, especialmente em áreas com restrição de acesso a materiais de construção ou mão de obra especializada.

#### 4.3.3. Custo real médio do consumo de água sem a instalação do sistema

Conforme descrito na metodologia, a demanda mensal de água da residência padrão do estudo, considerando três moradores, é de aproximadamente 13.410 litros. De acordo com a Tabela 2, este volume enquadra-se na faixa tarifária de 10.001 a 20.000 litros/mês, cujo valor praticado pela concessionária é de R\$ 7,09 por m<sup>3</sup>.

Assim, o custo médio mensal pago à Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) para este consumo corresponde a R\$95,06. Considerando ainda que a concessionária aplica cobrança adicional de 100% para coleta e tratamento de esgoto, o valor final mensal é de R\$190,12 (Tabela 10).

Tabela 10- Cálculo do custo real médio mensal do consumo de água por residência sem a instalação do sistema

<b>CONSUMO MENSAL (M³)</b>	<b>TARIFA ÁGUA (R\$/M³)</b>	<b>CUSTO DE ÁGUA (R\$)</b>	<b>CUSTO TOTAL COM ESGOTO (R\$)</b>
13,41	7,09	95,08	190,15

Fonte: Autora (2025)

Portanto, o custo anual para cada residência sem o sistema instalado é de R\$2281,85.

#### 4.3.4. Custo real médio do consumo de água depois da instalação do sistema

Com base nos dados simulados de captação mensal de água da chuva, consumo mensal da residência e faixas tarifárias praticadas pela concessionária, foi possível estimar o valor pago

à empresa depois da instalação do sistema. O objetivo desta análise foi quantificar a economia financeira proporcionada pela adoção do sistema de captação de água de chuva.

Conforme mostrado na Tabela 11, com o sistema instalado, o volume captado mensalmente reduz proporcionalmente o volume de água fornecida pela COMPESA, o que se traduz em menor cobrança tarifária em diversos meses do ano. O valor anual pago a concessionária depois da instalação do sistema foi de R\$ 1.970,79.

Tabela 11- Cálculo do custo real médio do consumo de água por residência depois da instalação do sistema

<b>MÊS</b>	<b>VOLUME POTENCIAL DE CAPTAÇÃO (M³)</b>	<b>CONSUMO MENSAL (M³)</b>	<b>VOLUME MENSAL FORNECIDO PELA COMPESA (M³)</b>	<b>CUSTO DE ÁGUA (R\$)</b>	<b>CUSTO TOTAL COM ESGOTO (R\$)</b>
Jan	1,96	13,41	11,45	81,21	162,42
Fev	1,66	13,41	11,75	83,32	166,63
Mar	2,44	13,41	10,97	77,78	155,56
Abr	2,88	13,41	10,53	74,63	149,25
Mai	3,06	13,41	10,35	73,37	146,74
Jun	3,40	13,41	10,01	70,95	141,90
Jul	2,76	13,41	10,65	75,50	151,00
Ago	1,34	13,41	12,07	85,54	171,08
Set	0,64	13,41	12,77	90,55	181,10
Out	0,25	13,41	13,16	93,28	186,56
Nov	0,71	13,41	12,70	90,07	180,15
Dez	0,83	13,41	12,58	89,20	178,40
	21,94			985,39	1970,79

Fonte: Autora (2025)

#### 4.3.5. Custo anual de manutenção do sistema

Com base na metodologia foi calculado o custo anual de manutenção do sistema conforme mostra Tabela 12.

Tabela 12- Custo anual de manutenção do sistema

<b>ITEM DE MANUTENÇÃO</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>TAXA</b>	<b>VALOR UNITÁRIO (R\$)</b>	<b>VALOR TOTAL (R\$)</b>
Hipoclorito de sódio	L	1	12	1,60	19,20

Manutenção de calhas e tubulações	-	1	01	37,17	37,17
					56,37

Fonte: Autora (2025).

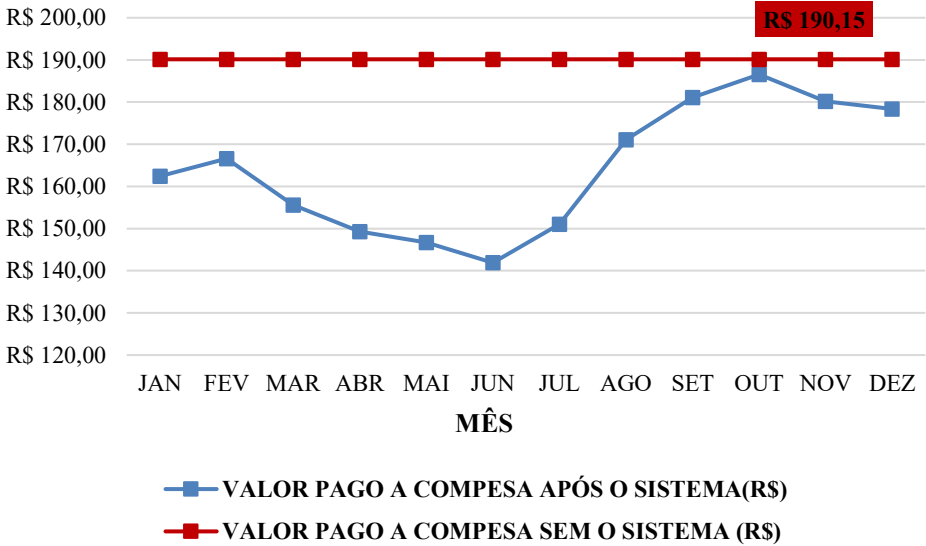
Esses custos foram considerados na projeção de despesas anuais para os cálculos da análise financeira do sistema.

4.3.6. Análise financeira do sistema e tempo de retorno do investimento

Com base nos resultados apresentados o sistema permitiu uma economia média anual de R\$ 311,06 por residência, o que representa uma redução direta de aproximadamente 13,63% no custo com água potável fornecida pela rede pública, resultado diretamente associado a economia de água apresentado na seção 4.3.1.

A Figura 23 ilustra a comparação entre os valores mensais pagos à COMPESA com e sem o uso do sistema de captação, evidenciando a diferença nos meses de maior precipitação, quando o sistema apresentou maior eficiência de substituição parcial do consumo da rede.

Figura 23- Comparação mensal dos valores pagos à COMPESA com e sem o sistema de captação de água de chuva

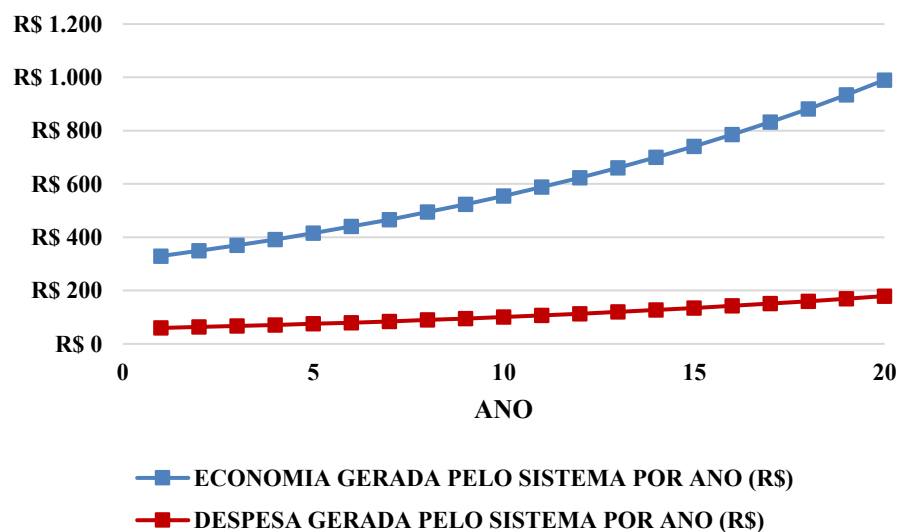


Fonte: Autora (2025)

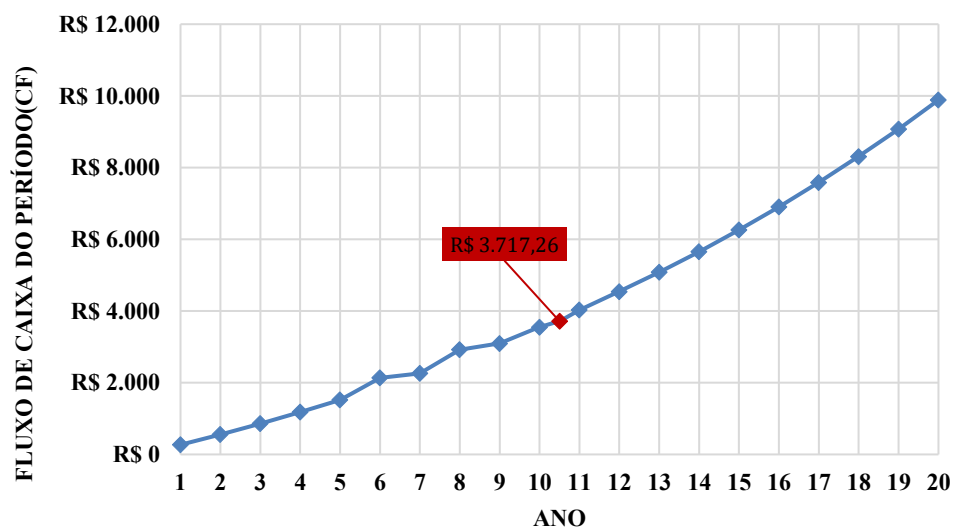
O Valor Presente Líquido (VPL) calculado para um período de 20 anos, com uma taxa de desconto de 1% ao mês, foi de R\$ 5.852,80. Esse resultado indica que, ao longo desse período, o investimento no sistema de captação de água da chuva não apenas foi totalmente recuperado, como também gerou um lucro equivalente a esse valor, evidenciando sua viabilidade econômica no longo prazo.

A Figura 24 (a) ilustra a comparação entre a economia acumulada e os custos totais do sistema ao longo dos anos, enquanto a Figura 24 (b) apresenta o fluxo de caixa (*Cash Flow*) anual da tecnologia implantada. Com base na análise do fluxo de caixa, o tempo de retorno do investimento (*payback*) foi estimado em 10,35 anos, valor em que a economia gerada iguala os custos de implantação e manutenção do sistema. Esse marco também está representado graficamente na Figura 24 (b).

Figura 24- (a) Economia e despesas anuais geradas pelo sistema; (b) Fluxo de caixa acumulado e tempo de retorno do investimento



(a)



(b)

Fonte: Autora (2025)

Esta análise econômica, embora aplicada a um contexto específico de residência unifamiliar no semiárido, pode ser adaptada a diferentes realidades territoriais e socioeconômicas. No entanto, observa-se uma ampla variação nos resultados obtidos em estudos semelhantes, mesmo quando analisam modelos comparáveis de sistemas de captação de água de chuva. Essa variação está frequentemente associada às diferenças no perfil de consumo, no regime tarifário local, nas características construtivas dos sistemas, nos custos de implantação e operação, além de fatores climáticos regionais.

Rosa *et al.* (2021), por exemplo, avaliaram uma residência em Florianópolis e identificaram uma redução de 45,76% nos custos com água, com tempo de retorno de 8,42 anos, valor inferior ao deste estudo, mas em um cenário de maior consumo e redução proporcional. De forma semelhante, Borgert *et al.* (2024) identificaram tempos de retorno variando entre 6,2 a 8,6 anos em residências, e entre 4,8 a 5,6 anos em apartamentos na mesma cidade, demonstrando que o tipo de edificação também influencia diretamente na viabilidade econômica do sistema. Por outro lado, Freitas *et al.* (2020) identificaram um tempo de retorno de 14,8 anos em uma casa unifamiliar, enquanto Istchuk *et al.* (2022), em cenários genéricos no estado do Paraná, obtiveram média de 14,7 anos, ambos superiores ao valor encontrado nesta pesquisa. Em contexto internacional, Himat *et al.* (2023) avaliaram edifícios residenciais e públicos em províncias da Turquia, onde os tempos de retorno variaram amplamente entre 8 e 100 anos em residências (média de 36 anos) e entre 4 e 78 anos em prédios públicos (média de 23 anos), influenciados principalmente pelo tipo de armazenamento utilizado.

Assim, ainda que o retorno do investimento não seja imediato, a adoção do sistema se mostra viável e relevante, contribuindo para a economia de água potável, a sustentabilidade ambiental e a segurança hídrica em contextos semelhantes ao deste estudo.

#### **4.4. Contabilização da pegada hídrica do sistema de captação de água de chuva**

A pegada hídrica do sistema foi calculada a partir dos materiais empregados e da água utilizada diretamente durante a execução da obra. A análise, dividida entre os sistemas de captação e armazenamento, contempla tanto o consumo indireto, associado à produção dos insumos, quanto o consumo direto, referente ao preparo de concreto e argamassa.

##### **4.4.1. Pegada hídrica dos insumos utilizados no sistema de captação de água de chuva**

Os materiais empregados na construção do sistema foram analisados separadamente, conforme sua função no sistema, captação e armazenamento. Para cada material, foram



considerados tanto os valores unitários de pegada hídrica quanto sua contribuição total para o sistema como um todo.

#### 4.4.1.1. Sistema de captação

Para estimar a pegada hídrica do sistema de captação, os materiais foram agrupados por tipologia, considerando os dois principais tipos identificados: materiais em PVC e materiais metálicos. Como a pegada hídrica disponível nas fontes consultadas é expressa em função da massa (L/kg), foi necessário calcular o peso total de cada grupo, com base nas quantidades especificadas no projeto executivo e nos dados de massa fornecidos pelos catálogos dos fabricantes, conforme mostra a tabela 13.

Tabela 13- Quantificação do peso total de materiais em PVC e metálicos utilizados no subsistema de captação

MATERIAIS EM PVC	UNIDADE	QUANTIDADE	PESO UNITÁRIO (KG)	PESO TOTAL (KG)
Tê sanitário, PVC, DN 100 x 100mm, série normal para esgoto predial	un	8	0,346	2,768
Joelho PVC, soldável, 90 graus, DN 100mm, para esgoto predial	un	12	0,2235	2,682
Luva de correr, PVC, DN 100 mm, para esgoto predial	un	6	0,212	1,272
Tubo PVC, DN 100mm, série normal para esgoto predial	m	27	0,861	23,249
Calha pluvial, PVC, comprimento de 3 m.	un	6	9,400	56,400
Emenda para calha pluvial	un	4	0,864	3,456
Bocal, PVC, diâmetro de saída X, para calha pluvial.	un	2	0,921	1,842
Cabeceira direita ou esquerda, PVC, para calha pluvial	un	4	0,696	2,784
Abraçadeira, PVC, para calha pluvial	un	15	1,080	16,200
Junção simples de redução simples, PVC, DN 100 x 50 mm, série normal para esgoto predial	un	1	0,233	0,233
Registro de esfera, PVC, com volante, DN 50 mm	un	1	0,533	0,533
Tubo PVC, DN 50mm, série normal para esgoto predial	m	1	0,377	0,377
PESO TOTAL DE MATERIAIS EM PVC (kg)				111,796
Materiais em metal	Unidade	Quantidade	Peso unitário (kg)	Peso total (kg)
Suporte metálico para calha pluvial	un	18	0,460	8,280

Peso total de materiais em metal (kg) 8,280

Fonte: Autora (2025), com base em catálogos técnicos da Amanco e Granplast.

Com a massa total consolidada para cada tipologia, foi possível estimar o volume total de água incorporada na produção dos componentes do sistema de captação. A tabela 14 apresenta esses materiais e seus respectivos valores de pegada hídrica nos componentes azul, verde e cinza, além do total estimado e da representatividade de cada item no contexto geral do sistema apresentado.

Tabela 14- Pegada hídrica dos materiais do sistema de captação

MATERIAL	UNIDADE	QUANTIDADE	PH UNITÁRIA (L)	PH TOTAL (L)	%
Materiais em PVC	kg	111,76	72,5	8102,60	93,57
Materiais em metal	kg	8,28	67,3	557,24	6,43
PH total do sistema de captação				8659,84	100

Fonte: SindusCon (2019).

Poucos estudos foram encontrados na literatura científica que quantificam a pegada hídrica especificamente de materiais como o PVC e o metal utilizados em edificações. Uma busca criteriosa realizada na base de dados Scopus revelou que, para materiais metálicos, nenhum artigo com esse foco foi identificado. Já para tubos de PVC, apenas dois estudos foram localizados, apresentando resultados significativamente divergentes entre si. Souza (2014) estima uma pegada hídrica de 35 litros por kg de PVC, enquanto Saade *et al.* (2014) apontam um valor muito superior, de 110 litros por kg para o mesmo material. Diante dessa discrepância, o Sinduscon (2019) no Guia Metodológico para Cálculo de Pegada Hídrica para Edificações optou por adotar a média entre os dois valores (35 L/kg e 110 L/kg) como referência para tubos de PVC, justificando a escolha com base na ausência de consenso na literatura e na limitação de dados disponíveis.

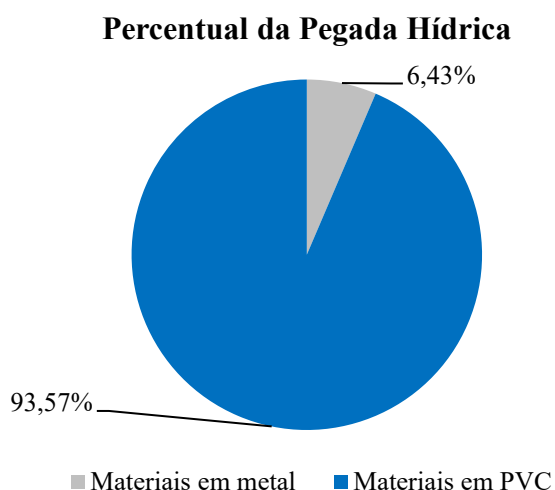
Embora esses números sejam estimativas teóricas baseadas em Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), outro contraste importante pode ser observado ao se analisar os dados reais de consumo hídrico da indústria. A empresa Tigre, uma das principais fabricantes de produtos em PVC no Brasil, divulgou que, em 2022, foram consumidos cerca de 150 milhões de litros de água doce para a produção de 440 mil toneladas de materiais em PVC, o que representa aproximadamente 0,34 litros de água por kg de produto fabricado (TIGRE, 2022). Este valor é

substancialmente inferior àqueles encontrados na literatura acadêmica, o que pode ser explicado pelo fato de os dados industriais refletirem apenas o uso direto de água na etapa fabril, possivelmente com práticas de reuso e eficiência hídrica, enquanto os estudos por ACV abrangem toda a cadeia produtiva, desde a extração das matérias-primas até a saída do produto da fábrica.

No caso dos materiais metálicos, como mencionado, não foram localizados estudos específicos que abordassem sua pegada hídrica. Dessa forma, também foi adotado o valor médio da PH do aço como no Guia Metodológico disponibilizado pela SindusCon (2019), como referência para esse grupo de materiais, a fim de preencher essa lacuna de dados na literatura e garantir a continuidade da análise ambiental no estudo.

A análise da pegada hídrica dos insumos utilizados na implantação do sistema de captação de água da chuva revela que os materiais em PVC são responsáveis por 93,57% da pegada hídrica total. Essa expressiva contribuição está diretamente associada ao fato de que a maior parte dos componentes do sistema, como calhas, tubos, conexões e partes do dispositivo DesviUFPE, são fabricados com esse material, o que o torna predominante tanto em termos quantitativos quanto financeiros, conforme demonstrado na planilha orçamentária do Apêndice B. Em contrapartida, os materiais metálicos, embora presentes, correspondem a apenas 6,43% da pegada hídrica do sistema, reflexo de sua menor proporção física e econômica no projeto.

**Figura 25.** Distribuição da Pegada hídrica dos materiais do sistema de captação



Fonte: A autora (2025);

#### 4.4.1.2. Sistema de armazenamento

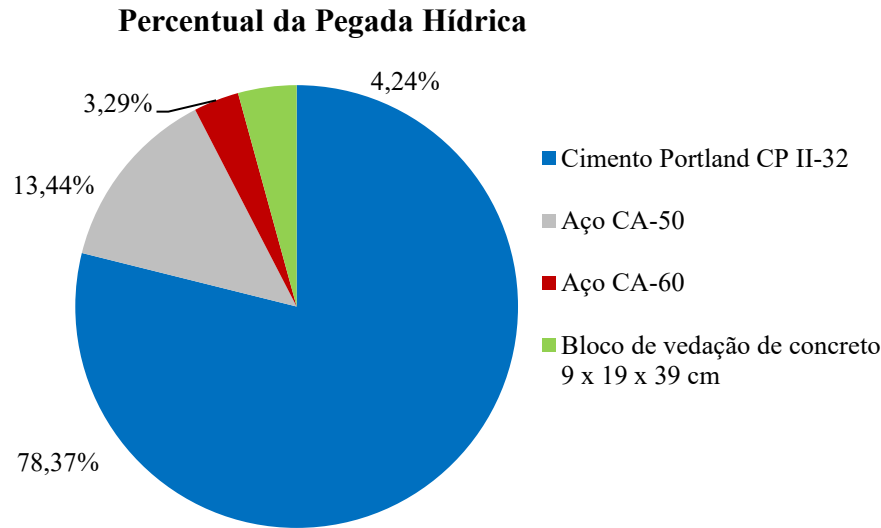
A análise da pegada hídrica do sistema de armazenamento revelou uma contribuição significativa de materiais cuja presença estrutural é predominante na composição da cisterna. Em comparação ao sistema de captação, a estrutura de armazenamento envolve uma diversidade maior de insumos, o que torna o impacto hídrico mais distribuído entre diferentes grupos de materiais. Os principais insumos são apresentados na tabela 15 com os respectivos valores de pegada hídrica.

Tabela 15- Pegada hídrica dos materiais do sistema de armazenamento

<b>MATERIAL</b>	<b>UNID.</b>	<b>QUANT.</b>	<b>PH UNITÁRIA (L)</b>	<b>PH TOTAL (L)</b>	<b>%</b>
Cimento Portland CP II-32	kg	1081,60	67,3	72792,00	78,37
Areia média	m <sup>3</sup>	1,91	7,5	14,34	0,02
Brita	m <sup>3</sup>	1,79	93,8	167,90	0,18
Aço CA-50	kg	185,50	67,3	12484,00	13,44
Aço CA-60	kg	45,40	67,3	3055,40	3,29
Cal hidratada CH-I	kg	42,00	1,52	63,84	0,07
Madeirite resinado	m <sup>2</sup>	16,00	9,1	145,60	0,16
Sarrafo 2,5 x 10 cm em pinus	m	24,00	9,1	218,40	0,24
Bloco de vedação de concreto 9 x 19 x 39 cm	un	294,00	13,4	3939,60	4,24
PH total do sistema de armazenamento				92881,00	100

Fonte: SindusCon (2019)

Figura 26- Distribuição da Pegada Hídrica dos Materiais no Sistema de Captação



Fonte: A autora (2025)

**4.5.Avaliação da sustentabilidade ambiental da pegada hídrica da tecnologia nas condições locais**

Este tópico aborda a quantificação da dimensão ambiental, social e econômica para a aplicação do método SDAG.

**4.5.1. Quantificação da dimensão ambiental para a aplicação do método SDAG**

Para quantificar a qualidade da água e a eficiência do DesviUFPE, foi aplicado o Índice de Qualidade da Água (IQA), conforme a metodologia proposta neste estudo, complementado pela análise das respostas obtidas na pergunta 11 do questionário aplicado aos usuários.

O cálculo do IQA considerou inicialmente a atribuição de pesos relativos ( $W_i$ ) para cada parâmetro analisado, conforme apresentado na Tabela 16. Ressalta-se que foram incluídos apenas os parâmetros que possuem limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Para o parâmetro salinidade, adotou-se como referência o limite máximo para águas doces, conforme definido pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

Tabela 16- Detalhes dos parâmetros com seu peso relativo e peso atribuído com padrões de água potável estabelecidos pela Portaria GM/MS Nº888/2021 e Resolução Nº 357, de 17 de Março de 2005

ID	PARÂMETROS	VALOR MÁXIMO ESTABELECIDO	PESO ( $W_i$ )	PESO RELATIVO ( $W_i$ )
1	Cloreto	250 mg/L	5	0,135
2	Dureza Total	300 mg/L	5	0,135
3	Turbidez	5 NTU	5	0,135
4	Cor aparente	15 uH	5	0,135

5	pH	6 a 9	4	0,108
6	Salinidade	0,5 ppt	3	0,081
7	Coliformes Totais	Ausência em 100 ml	5	0,135
8	<i>E.coli</i>	Ausência em 100 ml	5	0,135
			$\Sigma=37$	$\Sigma=1$

Fonte: Autora (2025).

Para obter a taxa de Índice de Qualidade da Água (IQA), foi calculado a classificação de qualidade ( $Q_i$ ) para cada parâmetro físico-químico conforme mostra a Tabela 17.

Tabela 17- Valores de Classificação de qualidade da água ( $Q_i$ ) para os parâmetros físico-químicos

ID	PARÂMETROS	MÉDIA DE VALORES				CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE ( $Q_i$ )			
		PCHUVA	P1	P2	P3	PCHUVA	P1	P2	P3
1	Cloreto (mg/L)	0,493	4,088	31,712	31,902	0,196	1,632	12,684	12,760
2	Dureza Total (mg/L)	5,333	11,000	22,83	34,625	1,777	3,666	7,610	11,541
3	Turbidez (NTU)	0,800	0,845	2,106	2,640	16,000	16,900	42,120	52,800
4	Cor aparente (uH)	0	2,500	4,500	5,000	0	16,666	30,000	33,333
5	pH	7,280	7,168	7,040	7,443	0	0	0	0
6	Salinidade (ppt)	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autora (2025)

Para os parâmetros bacteriológicos (Coliformes totais e *E.coli*), cujo padrão estabelecido na Portaria GM/MS nº 888/2021 exige ausência em 100 mL, foi adotada uma abordagem adaptada para quantificação no Índice de Qualidade da Água (IQA), considerando a natureza binária desses indicadores.

Assim em vez de atribuir diretamente um valor fixo de qualidade ( $Q_i$ ), foi utilizada uma escala de penalidade proporcional baseada na frequência de ocorrência nas amostras coletadas, conforme mostra o Quadro 16.

Quadro 16- Classificação de qualidade da água ( $Q_i$ ) para os parâmetros microbiológicos

Frequência de presença nas amostras	$Q_i$ considerado
Ausente em todas as amostras	0
Presente em até 5 amostras	25
Presente em 6 a 10 amostras	50
Presente em 11 a 14 amostras	75
Presente em todas as amostras	100

Fonte: Autora (2025)

A Tabela 18 apresenta a classificação de qualidade da água ( $Q_i$ ) para os parâmetros microbiológicos.

Tabela 18- Valores de Classificação de qualidade da água ( $Q_i$ ) para os parâmetros microbiológicos

ID	Parâmetros	Frequência de presença				Classificação de qualidade ( $Q_i$ )			
		Pchuva	P1	P2	P3	Pchuva	P1	P2	P3
8	Coliformes Totais (UFC/100mL)	3	15	11	2	100	100	75	25
9	<i>E.coli</i> (UFC/100mL)	0	15	2	2	0	100	25	25

Fonte: Autora (2025)

Em seguida, foi calculado o subíndice ( $S_i$ ) de cada parâmetro e somados para obtermos o valor da taxa de IQA, conforme mostra a Tabela 19.

Tabela 19- Taxa do Índice de Qualidade da Água (IQA)

ID	PARÂMETROS	SUBÍNDICE ( $S_i$ )			
		PCHUVA	P1	P2	P3
1	Cloreto (mg/L)	0,026	0,220	1,712	1,7226
2	Dureza Total (mg/L)	0,238	0,494	1,027	1,558
3	Turbidez (NTU)	2,160	2,281	5,686	7,128
4	Cor aparente (uH)	0	2,249	4,050	4,499
5	Ph	0	0	0	0
6	Salinidade (ppt)	0	0	0	0
7	Coliformes Totais (UFC/100mL)	13,500	13,500	10,125	3,375
8	<i>E.coli</i> (UFC/100mL)	0	13,500	3,375	3,375
	Taxa de IQA	15,924	32,244	25,975	21,657

Fonte: Autora (2025)

Com base nas taxas de Índice de Qualidade da Água (IQA) obtidas, conforme demonstrado na Tabela 19, todos os pontos de amostragem apresentaram valores inferiores a 50, o que representa a classificação máxima de qualidade segundo a escala adotada neste estudo. Assim, para fins de quantificação no método SDAG, cada ponto foi atribuído com nota 5, correspondente ao desempenho totalmente sustentável dentro da escala ordinal de 0 a 5.

Outra parte desta análise envolveu a analisar as respostas da pergunta “Como você avalia a qualidade da água?”, incluída no questionário aplicado, as opções de resposta seguiram uma escala de Likert com cinco categorias: excelente, boa, regular, ruim e péssima, e adotada uma escala ordinal que equivale a 5,4,3,2 e 1 respectivamente. Todas as respostas válidas foram

distribuídas entre as categorias “excelentes” e “boa”, demonstrando uma percepção positiva por parte dos usuários.

A seguir, apresenta-se a Tabela 20 com o resumo das respostas e a conversão para pontuação média e percentual.

Tabela 20- Avaliação da qualidade da água pelos beneficiários e pontuação atribuída

<b>CLASSIFICAÇÃO ATRIBUÍDA</b>	<b>FREQUÊNCIA</b>	<b>PONTUAÇÃO ATRIBUÍDA</b>	<b>PONTUAÇÃO OBTIDA</b>	<b>PERCENTUAL DA CATEGORIA</b>
Excelente	5	5	25	41,66%
Boa	7	4	28	46,66%
Regular	0	3	0	0%
Ruim	0	2	0	0%
Péssima	0	1	0	0%
Total	12	-	53	88,33%

Fonte: Autora (2025).

A análise técnica obteve 100% por todos os pontos estarem dentro do padrão excelente do IQA. Complementarmente, a percepção dos usuários quanto à qualidade da água, obtida por meio de questionário, resultou em uma pontuação média de 88,33%, igualmente elevada. Considerando a média ponderada desses dois critérios (técnico e perceptivo), a dimensão ambiental foi quantificada em 94,16%. Este valor será utilizado na representação gráfica da sustentabilidade ambiental da tecnologia no triângulo de radar proposto pelo método SDAG.

#### 4.5.2. Quantificação da dimensão social para a aplicação do método SDAG

Para quantificar a dimensão social relacionada à sustentabilidade da tecnologia analisada, foram utilizadas duas questões do questionário aplicado junto aos beneficiários:

- “Avalie a quantidade de água fornecida”
- “O sistema impactou sua qualidade de vida?”

Ambas as perguntas apresentavam escalas de resposta ordinal com cinco níveis, que foram convertidos em uma escala de 1 a 5 pontos. As frequências de respostas foram transformadas em pontuação, que posteriormente foi convertida em porcentagem, conforme metodologia previamente descrita neste estudo e apresentada na Tabela 21.

Tabela 21- Avaliação das respostas dos beneficiários para o âmbito social e pontuação atribuída

<b>CLASSIFICAÇÃO ATRIBUÍDA</b>	<b>FREQUÊNCIA</b>	<b>PONTUAÇÃO ATRIBUÍDA</b>	<b>PONTUAÇÃO OBTIDA</b>	<b>PERCENTUAL DA CATEGORIA</b>
------------------------------------	-------------------	--------------------------------	-----------------------------	--



Excelente/ Melhorou muito	8	5	40	33,33%
Boa/ Melhorou	16	4	64	53,33%
Regular/ Não teve impacto	0	3	0	0%
Ruim/ Piorou	0	2	0	0%
Péssimo/ Piorou muito	0	1	0	0%
Total	24	-	104	86,66%

Fonte: Autora (2025).

Esse valor será utilizado como representativo da dimensão social no triângulo de sustentabilidade da metodologia SDAG.

#### 4.5.3. Quantificação da dimensão econômica para a aplicação do método SDAG

Para avaliar a dimensão econômica da sustentabilidade do sistema foi considerada a pergunta “Trouxe alguma economia financeira para a família?” do questionário aplicado aos beneficiários, conforme a Tabela 22.

Tabela 22- Avaliação das respostas dos beneficiários para a dimensão econômica e pontuação atribuída

CLASSIFICAÇÃO ATRIBUÍDA	FREQÜÊNCIA	PONTUAÇÃO ATRIBUÍDA	PONTUAÇÃO OBTIDA	PERCENTUAL DA CATEGORIA
Muita economia	3	4	12	25,00%
Alguma economia	6	3	18	37,50%
Não trouxe economia	3	2	0	0%
Trouxe gastos adicionais	0	1	0	0%
Total	12	-	30	62,50%

Fonte: Autora (2025).

Como apresentado na Tabela 22, observa-se que 62,50% da pontuação máxima possível foi alcançada, considerando as respostas obtidas.

#### 4.5.4. Aplicação do método *Sustainable Development Analytical Grid* (SDAG)

Após a quantificação das dimensões ambiental, social e econômica, os dados obtidos foram utilizados para avaliar a sustentabilidade do sistema de captação de água de chuva do presente estudo por meio do método SDAG, conforme apresenta o Quadro 17.

Quadro 17- Avaliação da Sustentabilidade Ambiental pelo método SDAG

DIMENSÃO	PERCENTUAL OBTIDO (%)	CLASSIFICAÇÃO SDAG
----------	-----------------------	--------------------

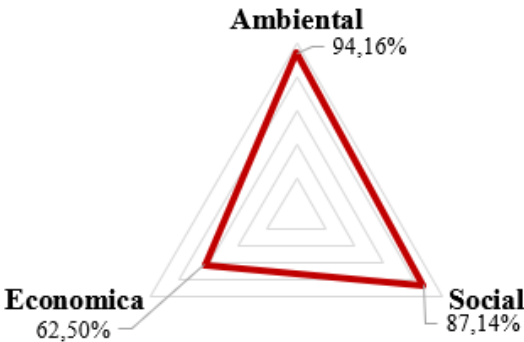
Ambiental	94,16	Situação Excelente
Social	88,66	Situação Excelente
Econômica	62,50	Situação Satisfatória

Fonte: Autora (2025).

A dimensão ambiental atingiu um valor de 94,16% e foi classificada como excelente, considerando a excelente qualidade da água verificada nas análises laboratoriais e a avaliação positiva dos usuários. A dimensão social obteve um índice de 87,14%, refletindo a percepção dos beneficiários quanto à quantidade de água fornecida e o impacto positivo na qualidade de vida. Já a dimensão econômica alcançou 62,50%, indicando que a maioria dos usuários percebeu economia financeira com o uso do sistema, embora em intensidade variável.

Dessa forma, os resultados consolidados no Quadro 17 permitiram a construção do triângulo de sustentabilidade (Figura 27), evidenciando o desempenho da tecnologia em cada uma das dimensões avaliadas.

Figura 27- Triângulo de sustentabilidade ambiental do sistema de captação de água de chuva



Fonte: Autora (2025)

4.6. Formulação de respostas aos resultados

Com base nos resultados obtidos nas dimensões ambiental, social e econômica, foram identificados pontos de aprimoramento que podem potencializar a eficiência do sistema DesviUFPE conforme pode ser observado no quadro 18.

Quadro 18- Propostas de melhoria para o sistema DesviUFPE com base nos resultados obtidos

ASPECTO AVALIADO	PROBLEMA IDENTIFICADO	PROPOSTA DE MELHORIA
Manutenção	Limpeza irregular do telhado e da cisterna, comprometendo a qualidade da água captada.	Realizar limpeza periódica da área de captação e do reservatório a cada seis

		meses, garantindo a remoção de resíduos e evitando contaminação.
Uso do cloro	Presença de coliformes em algumas cisternas associada à ausência de cloração regular.	Implementar rotinas de cloração com hipoclorito de sódio na proporção recomendada e monitorar a qualidade da água periodicamente.
Educação Ambiental	Falta de conhecimento técnico e de percepção sobre boas práticas de captação e manutenção.	Promover ações educativas e treinamentos com os beneficiários para fortalecer hábitos de manutenção e uso consciente da água da chuva.
Materiais	Elevada pegada hídrica de materiais como o concreto.	Substituir a cisterna de concreto por reservatório de polietileno, de menor pegada hídrica e custo mais baixo, reduzindo o impacto ambiental e o custo de implantação.

Fonte: Autora (2025).

## 5. CONCLUSÃO

A análise da pegada hídrica evidenciou os materiais de maior impacto no consumo hídrico incorporado. No sistema de captação, os materiais em PVC representaram 93,57% da pegada hídrica total, enquanto no sistema de armazenamento, o cimento foi responsável por 78,37%.

Na dimensão ambiental, os resultados demonstraram que o sistema DesviUFPE apresentou desempenho eficiente como barreira sanitária, pois o Índice de Qualidade da Água (IQA) apresentou padrão excelente, e a percepção dos beneficiários confirmou a melhoria da qualidade da água após a instalação do sistema.

A dimensão social apresentou elevado grau de satisfação, indicando aceitação e reconhecimento dos benefícios trazidos pelo sistema. Os usuários destacaram a melhoria da qualidade da água e a sustentabilidade ambiental como os principais aspectos valorizados. Esse resultado reforça que a aceitação comunitária é um fator determinante para o sucesso e a manutenção de tecnologias sociais voltadas à gestão da água.

A análise econômica revelou que o sistema proporcionou economia média anual de 13,66% da demanda total de água da residência, resultando em uma redução direta nos custos com água potável. O tempo de retorno do investimento foi de aproximadamente 10,35 anos, valor considerado satisfatório frente à vida útil do sistema e ao contexto de escassez hídrica da região.

A integração dos resultados das três dimensões no método SDAG revelou índices elevados de sustentabilidade: 94,16% na dimensão ambiental, 88,66% na social e 62,5% na econômica, com média geral de 81,77%, classificando o sistema como sustentável. O triângulo de sustentabilidade mostrou equilíbrio entre as dimensões, com leve destaque para o eixo ambiental, refletindo o papel essencial do sistema no acesso à água de qualidade.

De forma geral, conclui-se que o sistema DesviUFPE é uma alternativa sustentável e eficiente para o semiárido pernambucano, contribuindo para a segurança hídrica, a melhoria da qualidade da água e a redução da dependência de fontes convencionais. Além disso, trata-se de uma tecnologia social replicável, de baixo custo e alto impacto ambiental e social positivo, que pode ser integrada a políticas públicas de abastecimento alternativo e saneamento sustentável em municípios com características semelhantes. Além disso, o estudo reforça o potencial do DesviUFPE não apenas como solução técnica, mas também como uma ferramenta de transformação socioambiental alinhada aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

## REFERÊNCIAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 15527: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis — Requisitos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2019.

ABS. **Housing Mobility and Conditions**, 2020. Australian Bureau of Statistics (2019-20). Disponível em: <https://www.abs.gov.au/statistics/people/housing/housing-mobility-and-conditions/latest-release>. Acesso em: 08 jun. 2025.

ACKERSON, Nana Osei Bonsu *et al.* Investigating the Quality of Harvested Rainwater and the Perception of Users and Non-Users in Sunyani, Ghana. **Water Conservation Science And Engineering**, Sunyani, v. 9, n. 2, p. 1-13, 6 nov. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41101-024-00315-2>

AHMED, Safaa; JESSON, Mike; SHARIFI, Soroosh. Selection Frameworks for Potential Rainwater Harvesting Sites in Arid and Semi-Arid Regions: a systematic literature review. **Water**, Basel, Switzerland, v. 15, n. 15, p. 1-51, 31 jul. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w15152782>.

AKTER, Aysha *et al.* Potentiality of rainwater harvesting for an urban community in Bangladesh. **Journal Of Hydrology**, v. 528, n. 1, p. 84-93, set. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.017>.

ALDAYA, M.M. *et al.* The water needed for Italians to eat pasta and pizza. **Agricultural Systems**, v. 103, n. 6, p. 351-360, jul. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2010.03.004>.

ALVES, Fellipe *et al.* Water quality and microbial diversity in cisterns from semiarid areas in Brazil. **Journal Of Water And Health**, v. 12, n. 3, p. 513-525, 6 jan. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.2166/wh.2014.139>.

ANA. **Água no mundo**. 2020. Agência Nacional das Águas. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo>. Acesso em: 08 jun. 2025.

ANAYA-GARDUÑO, Manuel *et al.* Rainwater harvesting experiences of the CIDECALLI and CFE. **Wit Transactions On Ecology And The Environment**, México, v. 1, p. 177-187, 22 maio 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.2495/rbm130151>.

ANTUNES, Lucas *et al.* Potential for Potable Water Savings in Buildings by Using Stormwater Harvested from Porous Pavements. **Water**, v. 8, n. 4, p. 1-18, 23 mar. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w8040110>.

ANVISA. Consulta Pública nº 75, de 23 de dezembro de 2008. Brasília, DF, 24 dez. 2008. Disponível em: [http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pontofocal/textos/regulamentos/BRA\\_316.pdf](http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pontofocal/textos/regulamentos/BRA_316.pdf). Acesso em: 08 jun. 2025.

APHA, AWWA & WEF (1995) “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.”, Clesceri, L. S.; Greenberg, A.E.; Eaton A.D., 20th Ed., Washington-USA.

ARAÚJO, Elânia Daniele Silva *et al.* Considerações sobre as paisagens semiáridas e os enclaves subúmidos do nordeste seco- uma abordagem sistêmica. **Revista de Geografia: Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE, Recife-Pe**, v. 36, n. 3, p. 128-146, 25 nov. 2019.

ARIAS, A. *et al.* Water Footprint of a Decentralised Wastewater Treatment Strategy Based on Membrane Technology. **Environmental Footprints And Eco-Design Of Products And Processes**, p. 85-119, 7 set. 2018. DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-2508-3\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-2508-3_4).

ASA. **Semiárido Brasileiro**. 2024. Disponível em: <https://asabrazil.org.br/semiarido/>. Acesso em: 08 jun. 2025.

ASHRAF, Arshad *et al.* Dynamic Changes in Rainfall Necessitate Efficient Rainwater Harvesting in Different Agro-Ecologies of Pakistan for Sustainable Development. **Proceedings Of The Pakistan Academy Of Sciences: A. Physical and Computational Sciences**, Islamabad, Pakistan, v. 61, n. 2, p. 167-179, 28 jun. 2024. Pakistan Academy of Sciences. DOI: [http://dx.doi.org/10.53560/ppasa\(61-2\)861](http://dx.doi.org/10.53560/ppasa(61-2)861).

BARRIGA, Felipe *et al.* Influence of Catchment Surface Material on Quality of Harvested Rainwater. **Sustainability**, Basel, Switzerland, v. 16, n. 15, p. 1-13, 1 ago. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su16156586>.

BERNARD, Barasa *et al.* Contribution of Rainfall on Rooftop Rainwater Harvesting and Saving on the Slopes of Mt. Elgon, East Africa. **The Scientific World Journal**, v. 2020, n. 1, p. 1-11, 18 jul. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2020/7196342>.

BEZERRA, Diogo de Carvalho *et al.* Análise da eficácia da Lei do IPTU-Verde no município de Caruaru-PE. **Direito e Desenvolvimento**, João Pessoa- PB, v. 14, n. 1, p. 144-164, jun. 2023.

BORGERT, Aline Eloize *et al.* The Impact of the Water Tariff on the Economic Feasibility of Rainwater Harvesting for Use in Residential Buildings. **Water**, v. 16, n. 7, p. 1-19, 6 abr. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w16071058>.

BRASIL. Decreto nº 9606, de 10 de dezembro de 2018. Regulamenta o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Outras Tecnologias Sociais de Acesso à Água – Programa Cisternas. Brasília, DF. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/decreto/d9606.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%209.606%2C%20DE%2010,que%20lhe%20confere%20o%20art..](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/d9606.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%209.606%2C%20DE%2010,que%20lhe%20confere%20o%20art..) Acesso em: 08 jun. 2025.

BRASIL. Lei nº 11445, de 5 de janeiro de 2007. Brasília, DF, 5 jan. 2007. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm). Acesso em: 08 jun. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.873, de 24 de outubro de 2013. Brasília, DF. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2013/lei/112873.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112873.htm). Acesso em: 08 jun. 2025.

BRASIL. Lei nº 14546, de 4 de abril de 2023. Brasília, DF, 4 abr. 2023. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2023-2026/2023/lei/114546.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/114546.htm). Acesso em: 08 jun. 2025.

BRASIL. Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm). Acesso em: 08 jun. 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **SNIS - Série Histórica**: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental [SNSA]. 2024. Disponível em: <https://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 02 out. 2025.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. 85. ed. Brasília, DF, 07 maio 2021. Seção 1, p. 127. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 08 jun. 2025.

BRASIL. **Programa Cisternas**. Disponível em: <https://www.gov.br/mds/pt-br/acoes-e-programas/aceso-a-alimentos-e-a-agua/programa-cisternas>. Acesso em: 08 jun. 2025.

BRASIL. **Relatório de Avaliação Operação Carro-Pipa**. Brasília: Conselho de Monitoramento e Avaliação de Políticas Públicas, 2023. 144 p. Disponível em: [https://www.gov.br/planejamento/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/cmap/politicas/2023/avaliacoes-conduzidas-pelo-cmag/relatorio\\_avaliacao\\_ocp\\_atualizacao.pdf](https://www.gov.br/planejamento/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/cmap/politicas/2023/avaliacoes-conduzidas-pelo-cmag/relatorio_avaliacao_ocp_atualizacao.pdf). Acesso em: 08 jun. 2025.

CAMPISANO, Alberto *et al.* Urban rainwater harvesting systems: research, implementation and future perspectives. **Water Research**, [S.L.], v. 115, p. 195-209, maio 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>.

CARUARU. Lei Complementar nº 62, de 27 de dezembro de 2018. Institui o Programa de incentivo denominado IPTU Verde no Município de Caruaru e dá outras providências. Caruaru, PE, 27 dez. 2018.

CARVALHO, José Roberto Santo *et al.* A PVC-pipe device as a sanitary barrier for improving rainwater quality for drinking purposes in the Brazilian semiarid region. **Journal of Water and Health**, v. 16, p. 391 – 402, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2166/wh.2018.208>

CARÚS, Mariana Portal *et al.* Financing diversified water strategies for megacities: the case of Mexico City and rainwater harvesting. **Environmental Research Letters**, v. 19, n. 11, p. 1-13, 7 out. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ad77e8>.

CHAPAGAIN, A.K. *et al.* The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. **Ecological Economics**, v. 70, n. 4, p. 749-758, fev. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.11.012>.

CHAPAGAIN, A.K. *et al.* The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. **Ecological Economics**, v. 60, n. 1, p. 186-203, nov. 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.027>.

CHICO, Daniel *et al.* A water footprint assessment of a pair of jeans: the influence of agricultural policies on the sustainability of consumer products. **Journal Of Cleaner Production**, v. 57, p. 238-248, out. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.001>.

COSTA JÚNIOR, J. F. *et al.* Um estudo sobre o uso da escala de Likert na coleta de dados qualitativos e sua correlação com as ferramentas estatísticas. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 17, n. 1, p. 360–376, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.55905/revconv.17n.1-021>.

COUTO, Eduardo de Aguiar do *et al.* Greywater treatment in airports using anaerobic filter followed by UV disinfection: an efficient and low cost alternative. **Journal Of Cleaner Production**, v. 106, p. 372-379, nov. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.065>.

DAUD, Nurhidayati Mat *et al.* Performance of a Rainwater Harvesting Tank Under Varying Non-Potable Demand: case study in kubang semang, penang. **Jurnal Kejuruteraan**, v. 35, n. 6, p. 1481-1486, 30 nov. 2023. DOI: [http://dx.doi.org/10.17576/jkukm-2023-35\(6\)-21](http://dx.doi.org/10.17576/jkukm-2023-35(6)-21).

DOMÈNECH, Laia *et al.* A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 19, p. 598-608, nov. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.010>.

DOMINGUEZ-FAUS, R. *et al.* The Water Footprint of Biofuels: a drink or drive issue?. **Environmental Science & Technology**, v. 43, n. 9, p. 3005-3010, 1 maio 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/es802162x>.

ERCIN, A. Ertug *et al.* The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products. **Ecological Indicators**, v. 18, p. 392-402, jul. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.009>.

FEWKES, Alan. A review of rainwater harvesting in the UK. **Structural Survey**, v. 30, n. 2, p. 174-194, maio 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/02630801211228761>.

FREITAS, Douglas Ancelmo *et al.* Economic feasibility analysis of rainwater harvesting: a case study in imbituba, brazil. **Urban Water Journal**, v. 17, n. 10, p. 905-911, 19 nov. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/1573062x.2020.1846062>.

FUNDAÇÃO KONRAD ADENAUER. **Tecnologias Apropriadas para Terras Secas: manejo sustentável de recursos naturais em regiões semi-áridas no nordeste do brasil**. Fortaleza: Klaus Hermanns, 2006. 212 p.

GABE, Jeremy *et al.* Mandatory urban rainwater harvesting: learning from experience. **Water Science And Technology**, v. 65, n. 7, p. 1200-1207, 1 abr. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2012.955>.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 200 p.



GERBENS-LEENES, Winnie *et al.* The water footprint of biofuel-based transport. **Energy & Environmental Science**, v. 4, n. 8, p. 2658-2668, ago. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/c1ee01187a>.

GHISI, Enedir *et al.* Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building And Environment**, v. 42, n. 7, p. 2512-2522, jul. 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.019>.

GHISI, Enedir *et al.* Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. **Building And Environment**, v. 1, n. 42, p. 1654-1666, fev. 2006.

GHOSH, Shimul *et al.* Assessment of Household Rainwater Harvesting Systems in the Southwestern Coastal Region of Bangladesh: existing practices and household perception. **Water**, Basel, Switzerland, v. 14, n. 21, p. 1-17, 30 out. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w14213462>.

GRANPLAST. Catálogo Granplast 2025. Paulista, 2025. Disponível em: <https://www.granplast.com.br/catalogo/>. Acesso em: 08 jun. 2025.

HAGEMANN, Sabrina Elicker. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. 2009. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria- Rs, 2009.

HAILE, Getachew *et al.* GIS-based approach for identification of potential rainwater harvesting sites in Arsi Zone, Central Ethiopia. **Modeling Earth Systems And Environment**, Addis Ababa, Ethiopia, v. 5, n. 1, p. 353-367, 1 nov. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s40808-018-0537-7>.

HAN, Yuping *et al.* Assessing the Water Footprint of Wheat and Maize in Haihe River Basin, Northern China (1956–2015). **Water**, v. 10, n. 7, p. 1-18, 29 jun. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w10070867>.

HEIJNEN, Han. A Captação de Água da Chuva: Aspectos de Qualidade da Água, Saúde e Higiene. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 8., 2012, Campina Grande- Pb. SBCMAC, 212. p. 1-14.

HIMAT, Abobakar *et al.* The impact of the regularization on the economic analysis of rooftop rainwater harvesting system. **Water Supply**, v. 23, n. 3, p. 1041-1056, 27 fev. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2023.056>.

HOEKSTRA, Arjen Y. *et al.* **Manual de Avaliação da Pegada Hídrica**: estabelecendo o padrão global. São Paulo: Earthscan, 2011. 191 p.

ISTCHUK, Rodrigo Novais *et al.* Financial Feasibility Analysis of Residential Rainwater Harvesting in Maringá, Brazil. **Sustainability**, v. 14, n. 19, p. 1-18, 9 out. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su141912859>.

IBGE. **Cidades e Estados**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/caruaru.html>. Acesso em: 09 jun. 2025.

IBGE. **Quadro Geográfico de Referência para Produção, Análise e Disseminação de Estatísticas**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IVEROTH, Sofie Pandis *et al.* The potential of the infrastructural system of Hammarby Sjöstad in Stockholm, Sweden. **Energy Policy**, v. 59, p. 716-726, abr. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.027>.

JAMAL, A. H. M. S. I. M. *et al.* Development of a fabricated first-flush rainwater harvested technology to meet up the freshwater scarcity in a South Asian megacity, Dhaka, Bangladesh. **Heliyon**, v. 9, n. 3, p. 1-13, jan. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13027>.

JOHN, Chukwuemeka K. *et al.* Reusable rainwater quality at the Ikorodu area of Lagos, Nigeria: impact of first-flush and household treatment techniques. **Journal Of Water, Sanitation And Hygiene For Development**, v. 11, n. 5, p. 732-745, 10 ago. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.2166/washdev.2021.062>.

KANNAN, Narayanan *et al.* Estimation of green water footprint of animal feed for beef cattle production in Southern Great Plains. **Water Resources And Industry**, v. 17, p. 11-18, jun. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wri.2016.12.002>.

LATIF, Sajeev *et al.* Disinfection methods for domestic rainwater harvesting systems: a scoping review. **Journal Of Water Process Engineering**, Penrith, Australia, v. 46, n. , p. 1-11, dez. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102542>.

LAY, Jessica J. *et al.* Water Quality and the First-Flush Effect in Roof-Based Rainwater Harvesting, Part II: first flush. **Water**, Basel, Switzerland, v. 16, n. 10, p. 1-13, 16 maio 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w16101421>.

LEONG, Janet Yip Cheng *et al.* Longitudinal assessment of rainwater quality under tropical climatic conditions in enabling effective rainwater harvesting and reuse schemes. **Journal Of Cleaner Production**, v. 143, p. 64-75, dez. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.149>.

LIMA, Júlio Cesar Azevedo Luz de *et al.* Influência do descarte das primeiras águas de chuva sobre a qualidade da água encaminhada às cisternas. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA (Campina Grande- PB). **Captação, manejo e uso de água de chuva**. Campina Grande- PB: ABCMAC, 2015. Cap. 22. p. 416-422.

LIMA, Rodolfo Alves Pamplona de *et al.* Cálculo da pegada hídrica total em uma empresa na construção civil localizada no semiárido nordestino. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 13., 2016, Aracaju. **Anais**. Aracaju: SPHN, 2016. p. 1-10. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=608>. Acesso em: 08 jun. 2025.

LIVHUWANI, Vele *et al.* Water quality assessment of rooftop harvested rainwater across different roof types in a semi-arid region of South Africa. **Water Environment Research**, v. 97, n. 1, p. 1-20, jan. 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/wer.70007>.

MAPUKA, Fortunate N. *et al.* Exploring household water conservation methods in rural South Africa: a case of the mbhashe and mnquma local municipalities. **Sustainable Water Resources Management**, Cape Town, South Africa, v. 10, n. 4, p. 1-11, 1 jul. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s40899-024-01127-x>.

MAO, Jian *et al.* Effect of roof materials and weather patterns on the quality of harvested rainwater in Shanghai, China. **Journal Of Cleaner Production**, v. 279, n. 123419, p. 1-10, jan. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123419>.

MEKONNEN, M. M. *et al.* The blue water footprint of electricity from hydropower. **Hydrology And Earth System Sciences**, v. 16, n. 1, p. 179-187, 20 jan. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/hess-16-179-2012>.

MELVILLE-SHREEVE, Peter *et al.* Rainwater Harvesting Typologies for UK Houses: a multi criteria analysis of system configurations. **Water**, West Country, Uk, v. 8, n. 4, p. 129, 1 abr. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w8040129>.

MOGANO, Malesela Michael *et al.* Assessing the benefits of real-time control to enhance rainwater harvesting at a building in Cape Town, South Africa. **Water SA**, Cape Town, South Africa, v. 49, n. 3, p. 273-281, 31 jul. 2023. Academy of Science of South Africa. DOI: <http://dx.doi.org/10.17159/wsa/2023.v49.i3.3907>.

NÓBREGA, Ranyére Silva *et al.* Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 171-180, jun. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130624>

PALHARES, Julio Cesar Pascale *et al.* Water footprint of a tropical beef cattle production system: the impact of individual-animal and feed management. **Advances In Water Resources**, v. 149, p. 1-9, mar. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2021.103853>.

PATEL, Anant *et al.* Enhancing water security through site selection of water harvesting structures in semi-arid regions: a gis-based multiple criteria decision analysis. **Water Supply**, Gujarat, India, v. 23, n. 10, p. 4149-4165, 1 out. 2023. IWA Publishing. DOI: <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2023.257>.

PERNAMBUCO. Lei nº 14572, de 27 de dezembro de 2011. Recife, PE, 27 dez. 2011. Disponível em: <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?tiponorma=1&numero=14572&complemento=0&ano=2011&tipo=&url=#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2014.572%2C%20DE%2027,Pernambuco%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A1ncias..> Acesso em: 08 jun. 2025.

PERNAMBUCO. Lei nº 16584, de 10 de junho de 2019. Recife, PE, 10 jun. 2019. Disponível em: <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=46020&tipo=>. Acesso em: 08 jun. 2025.

PERNAMBUCO. Lei Ordinária nº 15630, de 29 de outubro de 2015. Recife, PE, 29 out. 2015. Disponível em: <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=16656&tipo=>. Acesso em: 08 jun. 2025.

PERNAMBUCO. Projeto de Lei nº 1397, de 24 de março de 2023. Recife, PE, 24 mar. 2023. Disponível em: [https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarintegra?codteor=2267711&filename=Ultimo%20Despacho%20-%20PL%201397/2023](https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=2267711&filename=Ultimo%20Despacho%20-%20PL%201397/2023). Acesso em: 08 jun. 2025.

PERNAMBUCO. **Em Jardim Monte Verde, governadora Raquel Lyra assina ordens de serviço nas áreas de segurança hídrica e habitação e vistoria obras de contenção de encostas**. 2024. Disponível em: <https://seduh.pe.gov.br/ordem-de-servico-jardim-monte-verde-e-reforma-no-lar/>. Acesso em: 29 nov. 2024.

PERNAMBUCO. **Projeto contemplado com edital da FACEPE leva segurança hídrica e de moradia ao Córrego da Telha, no Recife**. 2023. Mariana Clarissa. Disponível em: <https://www.secti.pe.gov.br/2023/09/15/projeto-contemplado-com-edital-da-facepe-leva-seguranca-hidrica-e-de-moradia-ao-corrego-da-telha-no-recife/>. Acesso em: 08 jun. 2025.

PREETI, P *et al.* Evaluation of Rainwater Harvesting Systems in Three Major cities of New South Wales. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, Malaysia, v. 1022, n. 1, p. 1-8, 1 maio 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1022/1/012069>.

PROETTI, S. As pesquisas qualitativa e quantitativa como métodos de investigação científica: Um estudo comparativo e objetivo. **Revista Lumen**-ISSN: 2447-8717, v. 2, n. 4, 2018.  
RAHMAN, Sadia *et al.* Sustainability of Rainwater Harvesting System in terms of Water Quality. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1-10, fev. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/721357>.

RAWAN, Bakht *et al.* Assessments of Roof-Harvested Rainwater in Disctrict Dir Lower, Khyber Pakhtunkhwa Pakistan. **Water**, v. 14, n. 20, p. 1-16, 17 out. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w14203270>.

RANAEE, Ehsan *et al.* Feasibility of Rainwater Harvesting and Consumption in a Middle Eastern Semiarid Urban Area. **Water**, Basel, Switzerland, v. 13, n. 15, p. 1-13, 2 ago. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w13152130>.

ROSA, Gustavo *et al.* Water Quality and Financial Analysis of a System Combining Rainwater and Greywater in a House. **Water**, v. 13, n. 7, p. 1-20, 29 mar. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w13070930>.

RUDOLPH, Michael John *et al.* Integrated and Sustainable Water and Sanitation Systems at Two Rural Sites in South Africa. **Water**, Basel, Switzerland, v. 15, n. 22, p. 3974, 15 nov. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w15223974>.

SAADE, Marcella Ruschi Mendes *et al.* Material eco-efficiency indicators for Brazilian buildings. **Smart And Sustainable Built Environment**, v. 3, n. 1, p. 54-71, 13 maio 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/sasbe-04-2013-0024>.

SAMBAS, Nurul Faradila Binti. Rainwater Harvesting with Subsequent First Flush: water quality performance for non-potable purpose. **International Journal Of Recent Technology And Engineering**, v. 8, n. 22, p. 76-79, 26 jul. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.35940/ijrte.B1014.0782S219>.

SCHERER, Laura *et al.* Global water footprint assessment of hydropower. **Renewable Energy**, v. 99, p. 711-720, dez. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.021>.  
SHAO, Ling *et al.* Water Footprint Assessment for Wastewater Treatment: method, indicator, and application. **Environmental Science & Technology**, v. 47, n. 14, p. 7787-7794, 5 jul. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/es402013t>.

SEVERIS, Roni M. *et al.* Economic analysis and risk-based assessment of the financial losses of domestic rainwater harvesting systems. **Resources, Conservation And Recycling**, v. 146, n. 2019, p. 206-217, jul. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.040>.

SHEIKH, Vahedberdi. Perception of domestic rainwater harvesting by Iranian citizens. **Sustainable Cities And Society**, v. 60, p. 1-16, set. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2020.102278>.

SILVA, Flávio Hugo Barreto Batista da *et al.* **Principais solos do semi-árido do nordeste do Brasil**: dia de campo. Recife-PE: Embrapa, 2005. 35 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/157855/1/OPB1114.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2025.

SILVA, Robson Rodrigo da *et al.* Gestão da água em canteiros de obras de construção civil. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2013, Maringá. **Anais**. Maringá: Cesumar, 2013. p. 1-9. Disponível em: [https://www.unicesumar.edu.br/epcc-2013/wp-content/uploads/sites/82/2016/07/Robson\\_Rodrigo\\_da\\_Silva2.pdf](https://www.unicesumar.edu.br/epcc-2013/wp-content/uploads/sites/82/2016/07/Robson_Rodrigo_da_Silva2.pdf). Acesso em: 08 jun. 2025.

SILVA, Selma Thaís Bruno da *et al.* Comportamento de dispositivos de desvio das primeiras águas de chuva como barreiras sanitárias para proteção de cisternas. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 2, p. 1-11, 16 jan. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v31i2.28658>.

SILVA, Selma Thaís Bruno da *et al.* Influência da deposição seca e da modificação em dispositivo de desvio automático sobre a qualidade da água de chuva. **Eng Sanit Ambient**, v. 27, n. 2, p. 385-393, 22 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200227>.

SINDUSCON-SP. Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo. **Guia Metodológico de Cálculo de Pegada Hídrica para Edificações**. São Paulo: Sinduscon-SP, 2019. 146 p.

SINGH, Sajal *et al.* Water quality index development for groundwater quality assessment of Greater Noida sub-basin, Uttar Pradesh, India. **Cogent Engineering**, India, v. 3, n. 1, p. 1-17, 6 maio 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/23311916.2016.1177155>.

SNELLING, Andrea M. *et al.* Public perceptions of rainwater harvesting (RWH): comparing users and non-users of rwh systems. **Urban Water Journal**, v. 21, n. 2, p. 181-189, 6 dez. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/1573062x.2023.2281310>.

SOLER, Natàlia García *et al.* Rain and the city: pathways to mainstreaming rainwater harvesting in berlin. **Geoforum**, v. 89, p. 96-106, jan. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.01.010>.

SONG, Minjung *et al.* Overcoming water scarcity: a rainwater harvesting prototype for drinking water with advanced monitoring. **Sustainable Water Resources Management**, v. 11, n. 59, p. 1-11, abr. 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s40899-025-01234-3>.

SOUSA, Lyanne Cibely Oliveira de *et al.* Avaliação de alternativas direcionadas à redução do consumo de água potável em residências: estudo de caso em caruaru, pe, brasil. **Ambiente Construído**, São Paulo, v. 20, n. 4, p. 465-487, dez. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000400483>.

SOUZA, Jackeline Lucas de. **Proposta metodológica de cálculo para a pegada hídrica na construção civil imobiliária**. 2014. 205 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SUDENE. **Delimitação do Semiárido- 2021**. Recife, 2021. 272 p. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2025.

TAREK, Yeasin Arafat *et al.* Harvested Rainwater Quality of Dhaka and Its Importance as the Alternative to Surface and Groundwater. **Ecs Transactions**, [S.L.], v. 107, n. 1, p. 18813-18821, 24 abr. 2022. The Electrochemical Society. DOI: <http://dx.doi.org/10.1149/10701.18813ecst>.

TAVARES, Lígia Conceição *et al.* INCENTIVOS LEGAIS AO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA NO BRASIL. In: CONGRESSO DE AGUA AMBIENTE Y ENERGÍA, 2., 2019, Montevideo. **Anais**. Montevideo: Asociación de Universidades Grupo Montevideo, 2019. p. 1-6.

TIGRE. Área de Sustentabilidade. **Relatório de Sustentabilidade 2022**. Joinville, 2022. 120 p. Disponível em: [https://tigresite.s3.amazonaws.com/2023/05/Tigre-RAS-2022\\_PT.pdf](https://tigresite.s3.amazonaws.com/2023/05/Tigre-RAS-2022_PT.pdf). Acesso em: 08 jun. 2025.

TIGRE. **Relatório da Administração**: 31 de dezembro de 2022. Joinville, 2022. 62 p. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/2c8a06b8-41db-40b2-a6e2-f66c92413dd3/79245fa4-f80b-369b-2eae-9a295e0b826b?origin=1>. Acesso em: 08 jun. 2025.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. São Paulo: Plínio Tomaz, 2010. 486 p. 1 v. ISBN: 85-87678-23-X. Disponível em: [https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5\\_bfa504956e664155b22974ef016e05a7.pdf?index=true](https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5_bfa504956e664155b22974ef016e05a7.pdf?index=true). Acesso em: 08 jun. 2025.

TSANOV, Emil *et al.* Quality of Harvested Rainwater from a Green and a Bitumen Roof in an Air Polluted Region. **Civil Engineering Journal**, v. 10, n. 5, p. 1589-1605, 1 maio 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.28991/cej-2024-010-05-015>.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects 2024**: summary of results. 9. ed. New York: United Nations: Department Of Economic And Social Affairs, 2024. 64 p. Disponível



em: [https://population.un.org/wpp/assets/Files/WPP2024\\_Summary-of-Results.pdf](https://population.un.org/wpp/assets/Files/WPP2024_Summary-of-Results.pdf). Acesso em: 08 jun. 2025.

VELE, Livhuwani *et al.* Perception and acceptability of the public towards the use of harvested rainwater in water scarce regions. **Water And Environment Journal**, Venda, v. 38, n. 3, p. 500-508, 3 jul. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/wej.12944>.

VILLENEUVE, Claude *et al.* **How is sustainable development analyzed?:** user guide for the sustainable development analysis grid. Quebec: Département Des Sciences Fondamentales, 2016. 26 p. Université du Québec à Chicoutim. Disponível em: [https://ecoconseil.uqac.ca/wp-content/uploads/2017/11/9637002\\_004\\_EN\\_Guide\\_utilisation\\_GADD\\_2016\\_SM.pdf](https://ecoconseil.uqac.ca/wp-content/uploads/2017/11/9637002_004_EN_Guide_utilisation_GADD_2016_SM.pdf). Acesso em: 08 jun. 2025.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade de água e tratamento de esgotos. DESA/EFMG, 1995

WARD, S. *et al.* Performance of a large building rainwater harvesting system. **Water Research**, West Country, Uk, v. 46, n. 16, p. 5127-5134, out. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.06.043>.

WARTALSKA, Katarzyna *et al.* The Potential of RainWater Harvesting Systems in Europe – Current State of Art and Future Perspectives. **Water Resources Management**, Poland, v. 38, n. 12, p. 4657-4683, 16 maio 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-024-03882-0>.  
WAVIN. **Ficha Técnica:** Esgoto Série Normal. São Paulo, Mar. 2023. Disponível em: [https://eu-assets.contentstack.com/v3/assets/blt573fdbfcb1106c2a/bltf4030af907bacfdb/645aac8e7839630763978d2a/FTC000021\\_-\\_FT\\_Esgoto\\_SN\\_compressed.pdf](https://eu-assets.contentstack.com/v3/assets/blt573fdbfcb1106c2a/bltf4030af907bacfdb/645aac8e7839630763978d2a/FTC000021_-_FT_Esgoto_SN_compressed.pdf). Acesso em: 08 jun. 2025

WHO. World Health Organization. **Guidelines for Drinking-water Quality:** fourth edition incorporating the first addendum. 4. ed. Switzerland: Who Graphics, 2017. 541 p.

XIE, Xiaomin *et al.* Regional water footprints assessment for hydroelectricity generation in China. **Renewable Energy**, v. 138, p. 316-325, ago. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.089>.

XING, Haohan *et al.* Water Footprint Assessment of Eggs in a Parent-Stock Layer Breeder Farm. **Water**, v. 11, n. 12, p. 1-11, 2 dez. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w11122546>.

YANNOPOULOS, Stavros *et al.* Investigation of the Current Situation and Prospects for the Development of Rainwater Harvesting as a Tool to Confront Water Scarcity Worldwide. **Water**, Basel, Switzerland, v. 11, n. 10, p. 1-16, 18 out. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w11102168>.

YUAN, Qingke *et al.* Assessment of harvested rainwater quality and surrogate parameter development for drinking water provision in rural Sri Lanka. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, v. 13, n. 5, p. 1-13, out. 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2025.117632>.

ZHAI, Yijie *et al.* Impact-oriented water footprint assessment of wheat production in China. **Science Of The Total Environment**, v. 689, p. 90-98, nov. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.262>.

ZHANG, Qionghua *et al.* Development and performance evaluation of a novel in-situ purification system for first flush rainwater treatment. **Journal Of Water Process Engineering**, Xi'an, v. 68, p. 1-10, dez. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106335>.



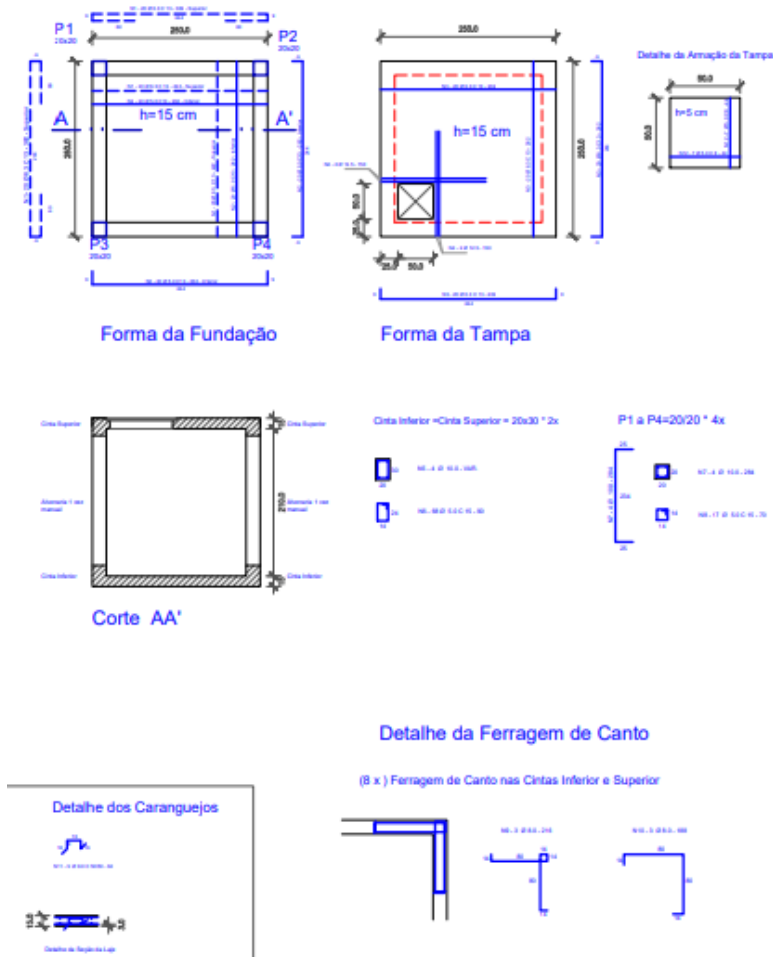
ANEXO A- MEMORIAL DESCRITIVO E PLANTA DO MODELO DE CISTERNA UTILIZADO NO ESTUDO

Quadro 19- Características da cisterna padrão das residências

ITEM	DESCRIÇÃO
Tipo de cisterna	Estrutura com pilares em concreto armado e paredes em alvenaria
Dimensões	(2,50 x 2,50 x 2,10) m
Capacidade	10.000 litros
Local de instalação	Área residencial- Semiárido Pernambucano
Materiais principais	Concreto estrutural (fck 25 MPa), concreto magro, blocos de vedação de concreto, argamassa
Armaduras	Vergalhões de aço CA-50 e CA-60
Elementos temporários	Madeira para formas
Base de dados quantitativa	Planilha orçamentária detalhada (Apêndice C) e projeto estrutural.

Fonte: DWG Engenharia (2025)

Figura 28-Projeto utilizado no orçamento



Fonte: DWG Engenharia (2025)

## APÊNDICE A- INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS- QUESTIONÁRIO

Data da entrevista:
Entrevistado:
Endereço:

### **Caracterização econômica**

1. Gênero: \_\_\_\_\_

2. Estado civil: \_\_\_\_\_

3. Grau de escolaridade:

Alfabetizado: ( )Sim ( )Não

( )Ens. Fundamental incompleto ( )Ens. Fundamental completo

( )Ens. Médio incompleto ( )Ens. Médio completo ( )Ens. Superior incompleto

( )Ensino Superior completo ( )Pós- graduação

4. Ocupação:

( )Desempregado ( )Empregado assalariado ( )Autônomo

5. Qual a sua renda mensal?

( )Até 1 salário mínimo

( )Entre 2 e 3 salários mínimos

( )Mais que 3 salários mínimos

6. É beneficiário de algum programa social do Governo Federal? (Ex.: bolsa família)

( )Sim ( )Não

### **Qualidade da água**

1. Antes da instalação do sistema a água apresentava cor?

( )Sim ( )Não

2. Antes da instalação do sistema a água apresentava sabor?

( )Sim ( )Não

3. Antes da instalação do sistema a água apresentava cheiro?

( )Sim ( )Não

4. Antes da instalação do sistema a água espumava durante o banho?

( ) Sim ( ) Não

5. Na época da chuva havia piora da qualidade da água?

( ) Sim ( ) Não

6. Como você avalia a qualidade da água antes do sistema de captação de água de chuva instalado na sua residência?

( ) Excelente ( ) Boa ( ) Regular ( ) Ruim ( ) Péssima

7. Depois da instalação do sistema a água apresenta cor?

( ) Sim ( ) Não

8. Depois da instalação do sistema a água apresenta sabor?

( ) Sim ( ) Não

9. Depois da instalação do sistema a água apresenta cheiro?

( ) Sim ( ) Não

10. Depois da instalação do sistema a água espuma durante o banho?

( ) Sim ( ) Não

11. Como você avalia a qualidade da água depois do sistema de captação de água de chuva instalado na sua residência?

( ) Excelente ( ) Boa ( ) Regular ( ) Ruim ( ) Péssima

#### **Quantidade da água**

1. Antes da instalação do sistema, qual era a fonte de abastecimento de água?

( ) Compesa ( ) Caminhão pipa ( ) Outros: \_\_\_\_\_

2. Antes da instalação do sistema, com qual frequência chegava água na sua residência?

( ) Diariamente ( ) Semanalmente ( ) Quinzenalmente ( ) Mensalmente ( ) Outro: \_\_\_\_\_

3. Antes da instalação do sistema, existia alguma época do ano que havia falta de água?

( ) Verão ( ) Inverno ( ) Não faltava água

4. Após a instalação do sistema, ainda há outra fonte de abastecimento de água?

☐ Compesa ☐ Caminhão pipa ☐ Outros: \_\_\_\_\_

5. Após a instalação do sistema, ainda falta água?

☐ Sim ☐ Não

6. Que época falta água?

☐ Verão ☐ Inverno ☐ Não falta água

7. Avalie a quantidade de água fornecida pelo sistema

☐ Excelente ☐ Boa ☐ Regular ☐ Ruim ☐ Péssima

### **Condições Sanitárias**

1. Antes da instalação do sistema, alguém apresentou algum problema de saúde?

☐ Sim ☐ Não

☐ Diarréia ☐ Dor de barriga ☐ Coceira ☐ Outro: \_\_\_\_\_

2. Depois da instalação do sistema, alguém apresenta algum problema de saúde?

☐ Sim ☐ Não

☐ Diarréia ☐ Dor de barriga ☐ Coceira ☐ Outro: \_\_\_\_\_

3. Qual a frequência de limpeza na cisterna?

☐ Semestral ☐ Anual ☐ Bienal ☐ Outro: \_\_\_\_\_

### **Avaliação do sistema e percepção do usuário**

1. Qual a condição do sistema (calhas, DesviUFPE e conexões)?

☐ Necessita de reparos ☐ Funciona bem ☐ Precisa ser substituído

2. O sistema precisa de manutenção regular?

☐ Diariamente ☐ Semanalmente ☐ Mensalmente ☐ Anualmente ☐ Nunca precisou

3. Há custos contínuos com manutenção?

☐ Sim ☐ Não

4. Sobre o sistema, o que considera mais importante?

( ) Confiabilidade do sistema ( ) Manutenção do sistema ( ) Redução de custos  
( ) Facilidade de uso ( ) Qualidade da água ( ) Sustentabilidade ambiental

5. Impactou sua qualidade de vida?

( ) Melhorou muito ( ) Melhorou ( ) Não teve impacto ( ) Piorou ( ) Piorou muito

6. Se sente mais independente ao abastecimento de água convencional?

( ) Sim ( ) Não

7. Foi difícil aprender a operar o sistema?

( ) Sim ( ) Não

8. Trouxe alguma economia financeira para a família?

( ) Muita economia ( ) Alguma economia ( ) Não trouxe economia ( ) Trouxe gastos adicionais

9. Para quais finalidades você utiliza a água da chuva?

( ) Beber ( ) Higiene pessoal ( ) Cozinhar ( ) Limpeza de casa ( ) Outros

10. Recomendaria o sistema de captação de água de chuva?

( ) Sim ( ) Não

11. Por que?

**Observações pessoais feitas durante as visitas às residências (preenchidas pelo entrevistador)**

**Comentários/observações pessoais do entrevistador**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## APÊNDICE B- PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE SERVIÇOS DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA ANALÍTICA DE SERVIÇOS							
OBJETO DO ORÇAMENTO: SISTEMA DE ARMAZENAMENTO							
BASE: SINAPI (AGOSTO/2025)							
ITEM	COD	DESCRIÇÃO DO ITEM	UNID	QUANT	PREÇO UNIT S/BDI	VALOR TOTAL S/BDI	(%)
1.0		<b>SISTEMA DE ARMAZENAMENTO (CISTERNA COM VOLUME DE 10 M3)</b>				<b>10.328,51</b>	<b>100,00</b>
1.1	90102/SINAPI	Escavação mecanizada de vala com prof. maior que 1,5 m até 3,0 m (média montante e jusante/uma composição por trecho), retroescav. (0,26 m3), larg. menor que 0,8 m, em solo de 1a categoria, em locais com alto nível de interferência. af 09/2024	m3	13,13	R\$ 12,55	164,72	
1.2	96619/SINAPI	Lastro de concreto magro, aplicado em blocos de coroamento ou sapatas, espessura de 5 cm. af 01/2024	m2	6,25	R\$ 39,76	248,50	2,41
1.3	94965/SINAPI	Concreto fck = 25mpa, traço 1:2,3:2,7 (em massa seca de cimento/ areia média/ brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 l. af 05/2021	m3	1,60	R\$ 516,82	826,91	8,01
1.4	92759/SINAPI	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-60 de 5,0 mm - montagem. af 06/2022	kg	45,40	R\$ 15,16	688,26	6,66
1.5	92760/SINAPI	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. af 06/2022	kg	64,40	R\$ 14,55	937,02	9,07
1.6	92761/SINAPI	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 8,0 mm - montagem. af 06/2022	kg	41,10	R\$ 13,82	568,00	5,50
1.7	92762/SINAPI	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 10,0 mm - montagem. af 06/2022	kg	80,00	R\$ 12,44	R\$ 995,20	9,64
1.8	92763/SINAPI	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. af 06/2022	kg	6,00	R\$ 10,53	R\$ 63,18	0,61
1.9	96542/SINAPI	Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para viga baldrame, em chapa de madeira compensada resinada, e=17 mm	m2	9,72	R\$ 120,82	R\$ 1.174,37	11,37
1.10	103334/SINAPI	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na horizontal de 14x9x19 cm (espessura 14 cm, bloco deitado) e argamassa de assentamento com preparo em betoneira. af 12/2021	m2	21,00	R\$ 128,21	R\$ 2.692,41	26,07
1.11	87301/SINAPI	Argamassa traço 1:4 (em volume de cimento e areia média úmida) para contrapiso, preparo mecânico com betoneira 400 l. af 08/2019	m3	0,16	R\$ 606,03	R\$ 94,69	0,92
1.12	87313/SINAPI	Argamassa traço 1:3 (em volume de cimento e areia grossa úmida) para chapisco convencional, preparo mecânico com betoneira 400 l. af 08/2019	m3	0,21	R\$ 527,73	R\$ 110,82	1,07
1.13	87529/SINAPI	Massa única, para recebimento de pintura, em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400l, aplicada manualmente em faces internas de paredes, espessura de 20mm, com execução de taliscas. af 06/2014	m2	21,00	R\$ 28,75	R\$ 603,75	5,85
1.14	98554/SINAPI	Impermeabilização de superfície com membrana à base de resina acrílica, 3 demãos. af 09/2023	m2	21,00	R\$ 55,27	R\$ 1.160,67	11,24
		<b>TOTAL ORÇAMENTO</b>				<b>R\$ 10.328,51</b>	<b>100,00</b>

## APÊNDICE C- PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE INSUMOS DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA ANALÍTICA DE INSUMOS							
OBJETO DO ORÇAMENTO: SISTEMA DE CAPTAÇÃO							
BASE: SINAPI (AGOSTO/2025)							
ITEM	COD	DESCRIÇÃO DO ITEM	UNID	QUANT	PREÇO UNIT S/BDI	VALOR TOTAL S/BDI	(%)
<b>1</b>		<b>SISTEMA DE CAPTAÇÃO</b>				<b>R\$ 3.139,46</b>	<b>100,00</b>
<b>1.1</b>		<b>MATERIAIS EM PVC</b>				<b>R\$ 2.195,14</b>	<b>69,92</b>
1.1.1	00007091/ SINAPI	Te sanitario, pvc, dn 100 x 100 mm, serie normal, para esgoto predial	un	8,00	15,21	R\$ 121,68	3,88
1.1.2	00003520/ SINAPI	Joelho pvc, soldavel, pb, 90 graus, dn 100 mm, para esgoto predial	un	12,00	7,90	R\$ 94,80	3,02
1.1.3	00003893/ SINAPI	Luva de correr, pvc, dn 100 mm, para esgoto predial	un	6,00	17,54	R\$ 105,24	3,35
1.1.4	00009836/ SINAPI	Tubo pvc serie normal, dn 100 mm, para esgoto predial (nbr 5688)	m	27,00	14,17	R\$ 382,59	12,19
1.1.5	00012618/ SINAPI	Calha / perfil pluvial de pvc, diametro entre *119 e 170* mm, comprimento de 3 m, para drenagem pluvial predial	un	6,00	158,75	R\$ 952,50	30,34
1.1.6	00012624/ SINAPI	Emenda para calha pluvial, pvc, diametro entre 119 e 170 mm, para drenagem pluvial predial	un	4,00	30,48	R\$ 121,92	3,88
1.1.7	00012614/ SINAPI	Bocal pvc, para calha pluvial, diametro da saida entre *75 e 120* mm, para drenagem pluvial predial	un	2,00	51,30	R\$ 102,60	3,27
1.1.8	00012616/ SINAPI	Cabeceira direita ou esquerda, pvc, para calha pluvial, diametro entre *119 e 170* mm, para drenagem pluvial predial	un	4,00	15,56	R\$ 62,24	1,98
1.1.9	00012615/ SINAPI	Abracadeira pvc, para calha pluvial, diametro entre *80 e 100* mm, para drenagem pluvial predial	un	15,00	11,90	R\$ 178,50	5,69
1.1.10	00003659/ SINAPI	Juncao simples de reducao, pvc, dn 100 x 50 mm, serie normal para esgoto predial	un	1,00	17,79	R\$ 17,79	0,57
1.1.11	00011677/ SINAPI	Registro de esfera, pvc, com volante, vs, soldavel, dn 50 mm, com corpo dividido	un	1,00	45,06	R\$ 45,06	1,44
1.1.12	00009838/ SINAPI	Tubo pvc serie normal, dn 50 mm, para esgoto predial (nbr 5688)	m	1,00	10,22	R\$ 10,22	0,33
<b>1.2</b>		<b>MATERIAIS EM METAL</b>				<b>R\$ 815,43</b>	<b>25,97</b>
1.2.1	00012626/ SINAPI	Suporte metalico para calha pluvial, zincado, dobrado, diametro entre 119 e 170 mm, para drenagem pluvial predial	un	21,00	38,83	R\$ 815,43	25,97
<b>1.3</b>		<b>OUTROS TIPOS DE MATERIAIS</b>				<b>R\$ 128,89</b>	<b>4,11</b>
1.3.1	00011950/ SINAPI	Bucha de nylon sem aba s6, com parafuso de 4,20 x 40 mm em aco zincado com rosca soberba, cabeça chata e fenda phillips	un	66,00	0,12	R\$ 7,92	0,25
1.3.2	00012627/ SINAPI	Vedacao de calha, em borracha cor preta, medida entre 119 e 170 mm, para drenagem pluvial predial	un	4,00	1,22	R\$ 4,88	0,16
1.3.3	00000301/ SINAPI	Anel borracha para tubo esgoto predial, dn 100 mm (nbr 5688)	un	30,00	3,20	R\$ 96,00	3,06
1.3.4	00020080/ SINAPI	Adesivo plastico para pvc, frasco com 175 gr	un	1,00	20,09	R\$ 20,09	0,64
		<b>TOTAL ORÇAMENTO</b>				<b>R\$ 3.139,46</b>	<b>100,00</b>

## APÊNDICE D- PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE INSUMOS DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA ANALÍTICA DE INSUMOS							
OBJETO DO ORÇAMENTO: SISTEMA DE ARMAZENAMENTO							
BASE: SINAPI (AGOSTO/2025)							
ITEM	COD	DESCRIÇÃO DO ITEM	UNID	QUANT	PREÇO UNIT S/BDI	VALOR TOTAL S/BDI	(%)
<b>1</b>		<b>SISTEMA DE ARMAZENAMENTO (CISTERNA COM VOLUME DE 10 M3)</b>				<b>4.757,30</b>	<b>100,00</b>
<b>1.1</b>		<b>CONCRETO FCK=25MPA</b>				<b>883,39</b>	<b>18,57</b>
1.1.1	00001379/SINAPI	Cimento portland composto cp ii-32	kg	773,50	R\$ 0,75	580,13	12,19
1.1.2	00000370/SINAPI	Areia media - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m3	0,87	R\$ 100,00	87,00	1,83
1.1.3	00004721/SINAPI	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m3	1,57	R\$ 137,75	216,27	4,55
<b>1.2</b>		<b>AÇO</b>				<b>1.961,29</b>	<b>41,23</b>
1.2.1	00043058/SINAPI	Aco ca-50, 10,0 mm, ou 12,5 mm, ou 16,0 mm, ou 20,0 mm, dobrado e cortado	kg	185,50	R\$ 8,50	1.576,75	33,14
1.2.2	00043061/SINAPI	Aco ca-60, 4,2 mm ou 5,0 mm, dobrado e cortado	kg	45,40	R\$ 8,47	384,54	8,08
<b>1.3</b>		<b>LASTRO DE CONCRETO MAGRO 1:4,5:4,5</b>				<b>124,68</b>	<b>2,62</b>
1.3.1	00001379/SINAPI	Cimento portland composto cp ii-32	kg	96,50	R\$ 0,75	72,38	1,52
1.3.2	00000370/SINAPI	Areia media - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m3	0,22	R\$ 100,00	R\$ 22,00	0,46
1.3.3	00004721/SINAPI	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m3	0,22	R\$ 137,75	R\$ 30,31	0,64
<b>1.4</b>		<b>ARGAMASSA REGULARIZAÇÃO DE BASE 1:5</b>				<b>42,36</b>	<b>0,89</b>
1.4.1	00001379/SINAPI	Cimento portland composto cp ii-32	kg	40,50	R\$ 0,75	30,38	0,64
1.4.2	00000370/SINAPI	Areia media - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m3	0,09	R\$ 137,75	11,98	0,25
<b>1.5</b>		<b>ARGAMASSA PARA CHAPISCO 1:3</b>				<b>42,36</b>	<b>0,89</b>
1.5.1	00001379/SINAPI	Cimento portland composto cp ii-32	kg	40,50	R\$ 0,75	30,38	0,64
1.5.2	00000370/SINAPI	Areia media - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m3	0,09	R\$ 137,75	11,98	0,25
<b>1.6</b>		<b>ARGAMASSA PARA EMBOÇO E PARA ASSENTAMENTO DE ALVENARIA 1:2:8</b>				<b>144,98</b>	<b>3,05</b>
1.6.1	00001379/SINAPI	Cimento portland composto cp ii-32	kg	58,80	R\$ 0,75	44,10	0,93
1.6.2	00001106/SINAPI	Cal hidratada ch-i para argamassas	kg	42,00	R\$ 1,30	54,60	1,15
1.6.3	00000370/SINAPI	Areia media - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m3	0,34	R\$ 137,75	46,28	0,97
<b>1.7</b>		<b>FORMA</b>				<b>735,04</b>	<b>15,45</b>
1.7.1	00001355/SINAPI	Chapa/painel de madeira compensada resinada (madeirite resinado rosa) para forma de concreto, de 2200 x 1100 mm, e = 14 mm	m2	16,00	R\$ 37,45	599,20	12,60
1.7.2	00004509/SINAPI	Sarrafo *2,5 x 10* cm em pinus, mista ou equivalente da regioao - bruta	m	24,00	R\$ 5,66	135,84	2,86
<b>1.8</b>		<b>ALVENARIA</b>				<b>823,20</b>	<b>17,30</b>
1.8.1	00650/ SINAPI	Bloco de vedacao de concreto, 9 x 19 x 39 cm (classe c - nbr 6136)	un	294,00	R\$ 2,80	R\$ 823,20	17,30
		<b>TOTAL ORÇAMENTO</b>				<b>R\$ 4.757,30</b>	<b>100,00</b>