



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Gabriela Rasera de Oliveira

Potencial de reúso não potável de águas cinzas em edificações urbanas:
conformidade normativa e contribuições para sustentabilidade hídrica

Florianópolis
2026

Gabriela Raser de Oliveira

Potencial de reúso não potável de águas cinzas em edificações urbanas:
conformidade normativa e contribuições para sustentabilidade hídrica

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador(a): Prof. Dr. André Aguiar Battistelli
Coorientador(a): Eng. Luísa Angelo dos Anjos

Florianópolis

2026

Oliveira, Gabriela Rasesa de

Potencial de reúso não potável de águas cinzas em edificações urbanas : conformidade normativa e contribuições para sustentabilidade hídrica / Gabriela Rasesa de Oliveira ; orientador, André Aguiar Battistelli, coorientadora, Luísa Angelo dos Anjos, 2026.

73 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2026.

Inclui referências.

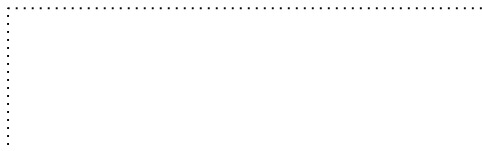
1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Fontes alternativas de água. 3. Uso racional da água. 4. Tratamento de águas cinzas. I. Battistelli, André Aguiar. II. Anjos, Luísa Angelo dos. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

Gabriela Rases de Oliveira

Potencial de reúso não potável de águas cinzas em edificações urbanas:
conformidade normativa e contribuições para sustentabilidade hídrica

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 03 de julho de 2026.



Coordenação do Curso



Prof. André Aguiar Battistelli. Dr.
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Ivone e Silmar, por todo o amor, apoio, incentivo e dedicação ao longo da minha vida. Aos meus irmãos, Daniela e Lucas, e a toda a minha família, agradeço por estarem sempre ao meu lado, acreditando em mim e tornando possível a realização deste sonho. Esta conquista também é de vocês, que me apoiaram e incentivaram em cada etapa dessa caminhada.

Aos meus amigos, agradeço pela companhia, pelo incentivo e por compartilharem comigo esta jornada. Obrigada por tornarem os desafios mais leves, pelos momentos de descontração e por estarem presentes ao longo dessa trajetória.

Agradeço ao meu orientador, Professor André, e à minha coorientadora, Luisa, por todo o suporte, dedicação e disponibilidade durante o desenvolvimento deste trabalho. Obrigada pelos ensinamentos, pela paciência, pelas orientações e por sempre estarem dispostos a esclarecer dúvidas e contribuir para o aprimoramento desta pesquisa.

Agradeço também a todos os professores da graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, que contribuíram para minha formação acadêmica e profissional. Os conhecimentos compartilhados ao longo desses anos foram fundamentais para minha trajetória e para a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta caminhada e contribuíram para que este momento se tornasse realidade.

Muito obrigada!

RESUMO

A crescente pressão sobre os recursos hídricos, associada ao aumento da demanda por água e às limitações dos sistemas de abastecimento e esgotamento sanitário, tem impulsionado a busca por alternativas que promovam o uso mais eficiente da água. Nesse contexto, o reúso de águas cinzas destaca-se como uma estratégia capaz de contribuir para a conservação dos recursos hídricos e para a redução dos impactos ambientais associados ao consumo de água potável e à geração de efluentes. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de reúso não potável de águas cinzas em uma edificação residencial, considerando sua conformidade com diretrizes normativas e sua contribuição para a redução da pressão sobre os recursos hídricos. A metodologia adotada consistiu na análise de dados secundários referentes à qualidade de águas cinzas tratadas por um sistema híbrido de processos eletroquímicos associados à filtração por membranas, complementada por medições diretas de geração de águas cinzas em uma residência unifamiliar localizada em Florianópolis (SC). Foram avaliados parâmetros físico-químicos e microbiológicos, comparados a normas e diretrizes nacionais e internacionais aplicáveis ao reúso não potável. Adicionalmente, foi realizado um balanço hídrico para estimar o potencial de substituição de água potável em descargas sanitárias e máquina de lavar roupas, bem como seus efeitos sobre a geração de esgoto doméstico. Também foi aplicada a análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*), com o objetivo de identificar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças associadas à implantação do reúso de águas cinzas na edificação estudada. Os resultados indicaram que o tratamento promoveu significativa redução da matéria orgânica e da turbidez, com redução da DQO de 835,25 para 139,00 mg O₂/L (eficiência de aproximadamente 83,4%) e da turbidez de 175,00 para 0,18 NTU, produzindo um efluente com características favoráveis ao reúso. Entretanto, alguns parâmetros ainda apresentaram restrições quanto ao atendimento integral das diretrizes normativas avaliadas, evidenciando a necessidade de etapas complementares de tratamento para determinadas aplicações. Em termos quantitativos, verificou-se potencial de redução de aproximadamente 24,65% do consumo de água potável e da parcela de esgoto associada ao abastecimento da residência. A análise SWOT evidenciou que o reúso de águas cinzas apresenta benefícios ambientais e operacionais relevantes, embora ainda existam desafios técnicos, econômicos e regulatórios para sua ampla implementação. Conclui-se que o reúso de águas cinzas constitui uma alternativa promissora para a promoção da sustentabilidade hídrica em edificações residenciais, contribuindo para o uso racional da água e para a redução da pressão sobre os sistemas de abastecimento e disposição de efluentes.

Palavras-chave: Fontes alternativas de água; Uso racional da água; Tratamento de águas cinzas.

ABSTRACT

The increasing pressure on water resources, associated with rising water demand and the limitations of water supply and wastewater management systems, has driven the search for alternatives that promote more efficient water use. In this context, greywater reuse stands out as a strategy capable of contributing to water resource conservation and reducing the environmental impacts associated with potable water consumption and wastewater generation. This study aimed to evaluate the potential for non-potable greywater reuse in a residential building, considering its compliance with regulatory guidelines and its contribution to reducing pressure on water resources. The adopted methodology consisted of analyzing secondary data related to the quality of greywater treated by a hybrid system combining electrochemical processes and membrane filtration, complemented by direct measurements of greywater generation in a single-family residence located in Florianópolis, Santa Catarina, Brazil. Physicochemical and microbiological parameters were evaluated and compared with national and international standards and guidelines applicable to non-potable water reuse. Additionally, a water balance assessment was conducted to estimate the potential for replacing potable water in toilet flushing and washing machine use, as well as the effects on domestic wastewater generation. A SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) analysis was also applied to identify the strengths, weaknesses, opportunities, and threats associated with implementing greywater reuse in the studied building. The results indicated that the treatment system promoted significant reductions in organic matter and turbidity, with COD decreasing from 835.25 to 139.00 mg O₂/L (approximately 83.4% removal efficiency) and turbidity decreasing from 175.00 to 0.18 NTU, producing an effluent with characteristics favorable for reuse. However, some parameters still showed limitations regarding full compliance with the evaluated regulatory guidelines, highlighting the need for complementary treatment steps for certain applications. From a quantitative perspective, a potential reduction of approximately 24.65% in potable water consumption and in the portion of wastewater associated with the household water supply was observed. The SWOT analysis demonstrated that greywater reuse offers relevant environmental and operational benefits, although technical, economic, and regulatory challenges still exist for its widespread implementation. It was concluded that greywater reuse represents a promising alternative for promoting water sustainability in residential buildings, contributing to rational water use and reducing pressure on water supply and wastewater disposal systems.

Keywords: Alternative water sources; Efficient water use; Greywater treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais fontes de geração de AC em residências	17
Figura 2 - Sistema convencional de tratamento de esgoto no lote.....	21
Figura 3 - Sistema de tratamento de efluentes com tanque séptico e <i>wetlands</i> construídos.....	22
Figura 4 - Possíveis aplicações do reúso em edificações	25
Figura 5 - Distribuição da água no mundo	27
Figura 6 - Sistema de reúso de AC em edificações residenciais.....	29
Figura 7 - Fluxograma das etapas metodológicas do estudo	31
Figura 8 - Montagem experimental em escala de bancada.....	33
Figura 9 - Reservatório de armazenamento e homogeneização das AC	37
Figura 10 - Aspecto visual das AC bruta (à esquerda) e tratada (à direita) após o processo eletroquímico associado à filtração por membranas.....	47
Figura 11 - Participação percentual dos pontos de geração de AC	49
Figura 12 - Comparação do consumo de água potável nos cenários avaliados	52
Figura 13 - Comparação da geração de esgoto nos cenários avaliados.....	55
Figura 14 - Resultado da análise SWOT: Forças	58
Figura 15 - Resultado da análise SWOT: Fraquezas	59
Figura 16 - Resultado da análise SWOT: Oportunidades	60
Figura 17 - Resultado da análise SWOT: Ameaças	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados	34
Quadro 2 - Aspectos avaliados na análise SWOT	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação dos parâmetros de qualidade das AC bruta e tratada com os limites normativos.....	45
Tabela 2 - Resultados quantitativos das AC por ponto de geração.....	48
Tabela 3 - Acionamento da descarga da bacia sanitária.....	50
Tabela 4 - Comparação do consumo de água potável.....	52
Tabela 5 - Comparação da geração de esgoto	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Águas Cinzas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
FIESP	Federação das Indústrias de São Paulo
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
SC	Santa Catarina
SINISA	Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico
SindusCon	Sindicato da Indústria da Construção Civil
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNISA	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SP	São Paulo
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats</i>
WRAP	<i>Water Reuse Action Plan</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	OBJETIVOS GERAIS	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	ÁGUAS CINZAS	16
3.1.1	Caracterização das Águas Cinzas	18
3.1.1.1	<i>Aspectos quantitativos</i>	<i>18</i>
3.1.1.2	<i>Aspectos qualitativos</i>	<i>19</i>
3.2	TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS.....	20
3.2.1	Tratamento Convencional no Lote	20
3.2.2	Tecnologias Alternativas de Tratamento	22
3.2.3	Processos Eletroquímicos e Sistemas com Membranas	23
3.3	REÚSO DE ÁGUAS CINZAS.....	24
3.3.1	Aspectos Legais.....	25
3.3.2	Contribuições para a Sustentabilidade Hídrica.....	27
3.3.2.1	<i>Redução do consumo de água potável.....</i>	<i>28</i>
3.3.2.2	<i>Redução da carga lançada na disposição final do efluente</i>	<i>29</i>
4	MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	31
4.2	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE E POTENCIAL DE REÚSO DAS ÁGUAS CINZAS 32	
4.2.1	Processo eletroquímico associado a filtração por membrana	32
4.2.2	Parâmetros físico-químicos e microbiológicos.....	33
4.2.3	Critérios normativos para avaliação do potencial de reúso	35
4.3	ANÁLISE QUANTITATIVA E BALANÇO HÍDRICO	35
4.3.1	Consumo total de água potável.....	36
4.3.2	Geração de águas cinzas	36
4.3.3	Potencial de consumo de água de reúso.....	37
4.3.3.1	<i>Descarga da bacia sanitária.....</i>	<i>38</i>
4.3.3.2	<i>Máquina de lavar roupas.....</i>	<i>38</i>
4.3.4	Consumo de água potável com reúso	39

4.3.4.1	<i>Cenário 1: descarga da bacia sanitária</i>	39
4.3.4.2	<i>Cenário 2: descarga da bacia sanitária e máquina de lavar roupas</i>	40
4.3.5	Geração total de esgoto	41
4.3.6	Geração de esgoto com reúso	42
4.3.6.1	<i>Cenário 1: descarga da bacia sanitária</i>	42
4.3.6.2	<i>Cenário 2: descarga da bacia sanitária e máquina de lavar roupas</i>	42
4.4	ANÁLISE DAS POTENCIALIDADES, LIMITAÇÕES, OPORTUNIDADES E DESAFIOS ASSOCIADOS À IMPLANTAÇÃO DO REÚSO DE ÁGUAS CINZAS NA EDIFICAÇÃO ESTUDADA	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1	QUALIDADE DAS ÁGUAS CINZAS TRATADAS E CONFORMIDADE NORMATIVA	44
5.2	ANÁLISE QUANTITATIVA	48
5.3	CONTRIBUIÇÃO DO REÚSO PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL	49
5.3.1	Cenário 1: Reúso para descarga da bacia sanitária	50
5.3.2	Cenário 2: Reúso para descarga da bacia sanitária e máquina de lavar roupas	51
5.3.3	Comparação entre os cenários	52
5.4	REDUÇÃO DO VOLUME DE ESGOTO SANITÁRIO GERADO E IMPACTO SOBRE RECURSOS HÍDRICOS	53
5.4.1	Cenário 1: Reúso para descarga da bacia sanitária	53
5.4.2	Cenário 2: Reúso para descarga da bacia sanitária e máquina de lavar roupas	53
5.4.3	Comparação entre os cenários	54
5.5	SÍNTESE INTEGRADA E IMPLICAÇÕES PARA APLICAÇÃO PRÁTICA	55
5.6	ANÁLISE SWOT	57
5.6.1	Forças	57
5.6.2	Fraquezas	58
5.6.3	Oportunidades	59
5.6.4	Ameaças	60
5.6.5	Síntese: Análise SWOT	61
6	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS	64

APÊNDICE A – ANÁLISE SWOT.....	68
---------------------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a vida e desempenha papel central no desenvolvimento humano. Historicamente, o processo de urbanização ocorreu em estreita relação com os corpos hídricos, uma vez que os rios forneceram não apenas água para abastecimento, mas também vias de circulação, suporte econômico e condições de expansão territorial das cidades (TUCCI, 2008). O Brasil é um país favorecido em termos de disponibilidade hídrica, concentrando em seu território a maior parte da água doce disponível mundialmente, porém, ainda assim, existem desafios expressivos na distribuição espacial e temporal desses recursos, agravados pela urbanização acelerada e pelas mudanças climáticas (ANA, 2007).

O constante crescimento urbano intensificou as pressões sobre os recursos hídricos e sobre as redes de infraestrutura de água e esgoto. De acordo com o estudo de Medeiros et al. (2024), o aumento das áreas impermeabilizadas pela expansão de zonas urbanas e o consumo per capita demandam novas soluções de captação, distribuição e gestão da água. A crescente demanda, disponibilidade hídrica limitada, aumento da poluição através do descarte inadequado de efluentes e o sistema de coleta e tratamento de efluentes insuficientes e ineficazes são fatores que indicam que a expansão da oferta hídrica da forma tradicional pode não ser suficiente, sendo necessária a busca de métodos alternativos para a solução destes problemas.

O atual panorama do saneamento básico reforça ainda mais os desafios hídricos no Brasil. Em Santa Catarina, de acordo com dados do SNIS, apenas cerca de 29,1% da população tinha acesso à rede coletora de esgotos no ano de 2022 (BRASIL, 2023). O município de Florianópolis gera cerca de 35.132,9 mil m³ de esgoto por ano, desse total, aproximadamente 18.111 mil m³ foram lançados diretamente no meio ambiente sem qualquer tipo de tratamento no ano de 2022. (Instituto Água e Saneamento, 2023).

Nesse cenário, o reúso de efluentes tratados tem se consolidado como uma alternativa estratégica diante da crescente escassez hídrica e da intensificação da urbanização. De forma geral, essa prática consiste na utilização de efluentes previamente tratados para fins não potáveis, como irrigação de áreas verdes, lavagem de pisos e veículos e uso em descargas sanitárias, contribuindo para a redução da pressão sobre os mananciais e para a promoção da sustentabilidade no ciclo urbano da água (HESPANHOL, 2002; MOTA, 2022).

Além da preservação ambiental, contribuindo diretamente com a conservação dos corpos hídricos, o reúso apresenta benefícios econômicos e sociais relevantes. Do ponto de vista econômico, possibilita a redução do consumo de água potável em edificações e, conseqüentemente, a diminuição de custos para os usuários (TERCETTI; ROSSONI, 2022). Já no âmbito social, estimula práticas sustentáveis e fortalece a conscientização sobre o uso racional da água, aspectos especialmente relevantes em áreas urbanas com alta densidade populacional (CETESB, 2024).

Nesse contexto, o reúso de águas cinzas (AC) constitui uma alternativa particularmente promissora para a conservação dos recursos hídricos em edificações urbanas. As AC correspondem às águas residuárias provenientes de lavatórios, chuveiros, banheiras, máquinas de lavar roupas e, em alguns casos, também de pias de cozinha, diferenciando-se das águas escuras oriundas das bacias sanitárias (ALEXANDRE et al., 2013). Apesar de apresentarem variações significativas de qualidade conforme a fonte geradora, as AC possuem elevado potencial de aproveitamento em edificações, desde que submetidas a um tratamento adequado que viabilize o reúso seguro da mesma (MOURA et al., 2022; COSTA, 2021).

O reúso de AC em edificações demanda atenção às normas e diretrizes vigentes, tanto nacionais quanto internacionais, que estabelecem critérios de qualidade e parâmetros mínimos de segurança sanitária. No Brasil, a norma ABNT NBR 16783 dispõe sobre alguns padrões para o uso de fontes alternativas de água não potável em edificações (ABNT, 2019). Além disso, alguns estados e municípios possuem normas próprias para o reúso, porém, em geral, as legislações convergem quanto à necessidade de tratamento adequado para atender padrões de qualidade microbiológica e físico-química, compatíveis com os usos pretendidos, de modo a proteger a saúde pública. Moura et al. (2022) destacam que, apesar da crescente relevância do tema, o arcabouço legal brasileiro ainda é inicial e fragmentado, reforçando a importância de avançar na criação de normas mais abrangentes e harmonizadas com experiências internacionais, como as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS).

O tratamento de AC é fundamental para viabilizar o reúso seguro, garantindo que os padrões de qualidade atendam às normas vigentes. Diversas tecnologias podem ser empregadas, que se agrupam em processos físicos, químicos e biológicos. Os métodos biológicos, como fossas sépticas, reatores anaeróbios, sistemas de lodos ativados e zonas de raízes, são amplamente estudados devido à sua eficiência na

remoção de matéria orgânica e nutrientes, embora demandem maior tempo de operação e manutenção especializada (MORAIS; OLIVEIRA, 2024). Os processos físicos incluem etapas de filtração em areia, carvão ativado ou membranas, que atuam na remoção de sólidos suspensos e turbidez, podendo ser combinados a métodos desinfetantes. Já os processos químicos abrangem técnicas como coagulação, floculação e oxidação, geralmente aplicadas como tratamento terciário para garantir melhor qualidade final do efluente (MOREIRA, 2024).

Nos últimos anos, a aplicação de tecnologias eletroquímicas tem ganhado destaque no tratamento de efluentes, em especial a eletrólise e a eletrocoagulação associadas a processos de filtração por membranas. Essas técnicas apresentam vantagens como elevada eficiência na remoção de matéria orgânica, patógenos e contaminantes emergentes. De acordo com Queiroz et al. (2024), a tecnologia eletrolítica aplicada ao tratamento de efluentes domésticos vem demonstrando resultados promissores em revisões sistemáticas da literatura, ainda que desafios relacionados a custos energéticos e escala de aplicação precisem ser superados. Quando associadas à filtração por membranas, essas tecnologias potencializam a remoção de sólidos e microrganismos, configurando-se como alternativas inovadoras para o reúso seguro de AC em edificações.

Diante do panorama apresentado, este trabalho tem como foco principal a análise do potencial de reúso não potável de AC em edificações urbanas, considerando aspectos técnicos, normativos e de viabilidade prática. Busca-se avaliar a adequação das AC aos padrões de qualidade exigidos, com o efluente tratado através de um sistema híbrido de processos eletroquímicos associados a filtração por membranas, e analisar como o reúso pode contribuir para a redução do consumo de água potável e da carga de efluente infiltrado no solo ou despejado no corpo receptor. Dessa forma, espera-se gerar contribuições relevantes tanto para a sustentabilidade hídrica das cidades quanto para o desenvolvimento de diretrizes e práticas normativas, oferecendo subsídios técnicos e regulatórios que incentivem a adoção segura e eficiente do reúso em edificações urbanas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar o potencial de reúso não potável de AC em uma edificação residencial, considerando sua conformidade com diretrizes normativas e a estimativa de sua contribuição para a redução da pressão sobre os recursos hídricos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Avaliar a qualidade das AC brutas e tratadas por um sistema híbrido envolvendo processos eletroquímicos associados à filtração em membranas, verificando sua conformidade com diretrizes normativas e técnicas aplicáveis ao reúso não potável;
- II. Investigar os efeitos da implementação do reúso de AC tratadas em uma edificação residencial em relação ao consumo de água potável e a geração de esgoto doméstico;
- III. Analisar as potencialidades, limitações, oportunidades e desafios associados à implantação do reúso de AC na edificação estudada.

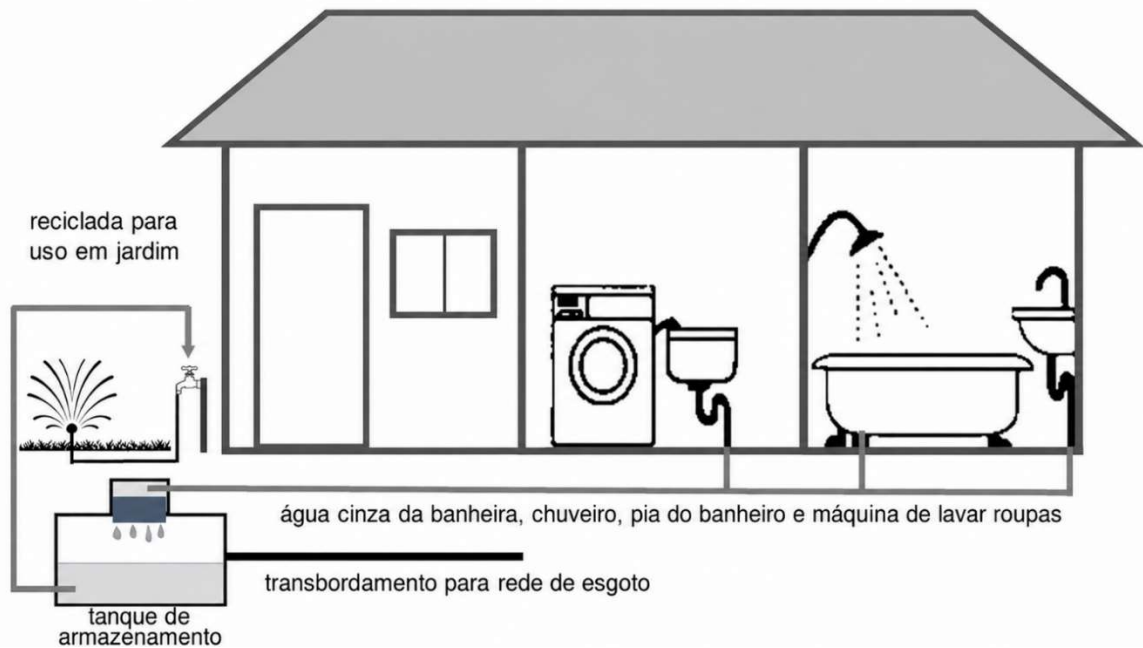
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ÁGUAS CINZAS

As AC correspondem à parcela dos efluentes domésticos gerada a partir de atividades que não envolvem a contribuição direta de fezes e urina, distinguindo-se das águas escuras provenientes das bacias sanitárias (FIGUEIREDO et al., 2019). Em residências, são originadas principalmente de chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupa e tanques, podendo também incluir águas de pia de cozinha, embora haja divergência quanto a sua inclusão, frequentemente classificada separadamente devido à maior carga de matéria orgânica, óleos e graxas, que dificulta seu tratamento e reúso (MALDONADO, 2022; MOURA et al., 2022). De forma geral, tratam-se de efluentes resultantes do uso cotidiano da água de abastecimento em atividades de higiene pessoal e limpeza doméstica, sendo considerados uma parcela menos

contaminada do esgoto sanitário e, por isso, com maior potencial para reúso em aplicações não potáveis (COSTA, 2021). A Figura 1 apresenta um esquema típico das fontes geradoras de AC em uma edificação residencial, evidenciando sua origem em pontos como chuveiro, pia do banheiro, máquina de lavar roupa e tanque.

Figura 1 - Principais fontes de geração de AC em residências



Fonte: Adaptado de ABIT, S. M. (2023).

A definição de AC está diretamente relacionada ao conceito de segregação de efluentes na fonte, uma vez que sua caracterização depende da separação física entre as diferentes correntes de esgoto no momento de sua geração. A segregação consiste na coleta independente das AC em relação às águas escuras, evitando sua mistura e possibilitando um gerenciamento mais eficiente dos efluentes domésticos (MALDONADO, 2022; MONTEIRO, 2023). Além disso, a segregação na fonte, associada a sistemas descentralizados de saneamento, que permite que o tratamento ocorra próximo ao local de geração, viabiliza o aproveitamento das AC ao evitar sua mistura com efluentes de maior carga poluidora, permitindo a adoção de sistemas de tratamento mais simples, eficientes e com menor custo operacional.

Portanto, o entendimento das AC como uma fração específica dos efluentes domésticos está diretamente relacionado à sua segregação na fonte, etapa essencial para possibilitar seu reaproveitamento e fortalecer práticas sustentáveis no saneamento de edificações residenciais.

3.1.1 Caracterização das Águas Cinzas

As AC residenciais apresentam elevada variabilidade, tanto em relação ao volume gerado quanto à sua composição, sendo essa heterogeneidade diretamente influenciada por fatores como hábitos de consumo, perfil e faixa etária dos moradores, cultura, condições socioeconômicas e características do sistema de abastecimento. Dessa forma, sua caracterização é essencial para subsidiar o dimensionamento de sistemas de tratamento e a definição de estratégias de reúso adequadas (MOURA et al., 2022; ANJOS et al., 2025).

3.1.1.1 Aspectos quantitativos

Do ponto de vista quantitativo, as AC representam uma parcela significativa do esgoto doméstico, geralmente compreendida entre cerca de 50% e 80% do volume total gerado, podendo atingir valores próximos de 85% em determinadas condições de uso (FIGUEIREDO et al., 2019; COSTA, 2021; MOURA et al., 2022). Essa amplitude está associada principalmente ao padrão de consumo de água nas residências e às características dos usuários, como número de moradores, faixa etária, estilo de vida e disponibilidade hídrica, fatores que influenciam diretamente a produção de efluente (MALDONADO, 2022; MOURA et al., 2022).

Em termos *per capita*, a geração de AC apresenta elevada variabilidade, sendo geralmente mais elevada em contextos urbanos e em localidades com maior disponibilidade hídrica, onde pode atingir valores entre 90 e 120 L por habitante por dia. Em contrapartida, em regiões caracterizadas por restrição hídrica ou por menores padrões de consumo, esses valores tendem a ser significativamente inferiores, situando-se, em geral, entre 20 e 30 L por habitante por dia (COSTA, 2021). Além disso, a contribuição de cada ponto gerador dentro da residência não é uniforme, os chuveiros costumam figurar entre as principais fontes, com percentuais entre 23% e 46% da produção total, as pias do banheiro podem contribuir entre 3% e 11%, pias cozinhas entre 14% e 33% e máquinas de lavar roupas e tanques podem atingir valores bastante expressivos, chegando a 43% e 55,42%, respectivamente, em determinados estudos (ANJOS et al., 2025).

Assim, observa-se que a quantidade de AC geradas em uma residência não segue um padrão fixo, devendo ser estimada a partir das condições específicas de uso e ocupação, o que é fundamental para o correto dimensionamento de sistemas de tratamento e reúso.

3.1.1.2 *Aspectos qualitativos*

Em relação à qualidade, as AC não constituem um efluente homogêneo, apresentando composição bastante variável em função da fonte e das atividades que lhe deram origem. De modo geral, esse tipo de efluente contém matéria orgânica, sólidos suspensos, surfactantes, gorduras, nutrientes, produtos químicos e microrganismos, podendo ainda apresentar traços de patógenos, poluentes persistentes e metais potencialmente tóxicos (FIGUEIREDO et al., 2019; MOURA et al., 2022; ANJOS et al., 2025).

A variabilidade qualitativa está diretamente relacionada a fatores como qualidade da água de abastecimento, tipo de produtos de limpeza utilizados, material das tubulações, hábitos dos usuários e características socioeconômicas da residência (MOURA et al., 2022; COSTA, 2021). Além disso, diferentes fontes dentro da própria residência geram efluentes com características distintas, sendo comum a diferenciação entre AC claras, provenientes de chuveiros, pias do banheiro, máquinas de lavar roupa e tanques, e AC escuras, que incluem contribuições da pia da cozinha e apresentam maior carga orgânica e concentração de óleos e graxas (ANJOS et al., 2025). As AC escuras, provenientes da pia da cozinha, embora nem sempre predominantes em volume, apresentam elevadas concentrações de matéria orgânica, óleos, gorduras, surfactantes e compostos químicos, como detergentes, sódio, fosfato, boro, amônia e nitrogênio, podendo atingir valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) comparáveis aos de esgotos mais concentrados, evidenciando a forte influência da origem na composição do efluente (ANJOS et al., 2025; FIGUEIREDO et al., 2019; COSTA, 2021).

Entre os parâmetros mais relevantes para a caracterização destacam-se temperatura, turbidez, sólidos suspensos, matéria orgânica, nutrientes, pH e indicadores microbiológicos (FIGUEIREDO et al., 2019). Costa (2021) destaca que a turbidez e os sólidos suspensos podem causar entupimentos das tubulações e prejudicar o tratamento, enquanto altas temperaturas favorecem o crescimento

microbiano, além de apresentar ampla variação desses parâmetros encontrados na literatura, com SST entre 7 e 207 mg L⁻¹ em águas de chuveiro e 235 e 720 mg L⁻¹ da pia da cozinha, e também encontrou valores de turbidez variando entre 15 e 240 NTU em águas de chuveiro e pia do banheiro.

Dessa forma, a caracterização qualitativa das AC é uma etapa indispensável para a definição de tecnologias de tratamento e para a avaliação do seu potencial de reúso, uma vez que a variabilidade de sua composição influencia diretamente a eficiência dos processos adotados e a segurança da água tratada.

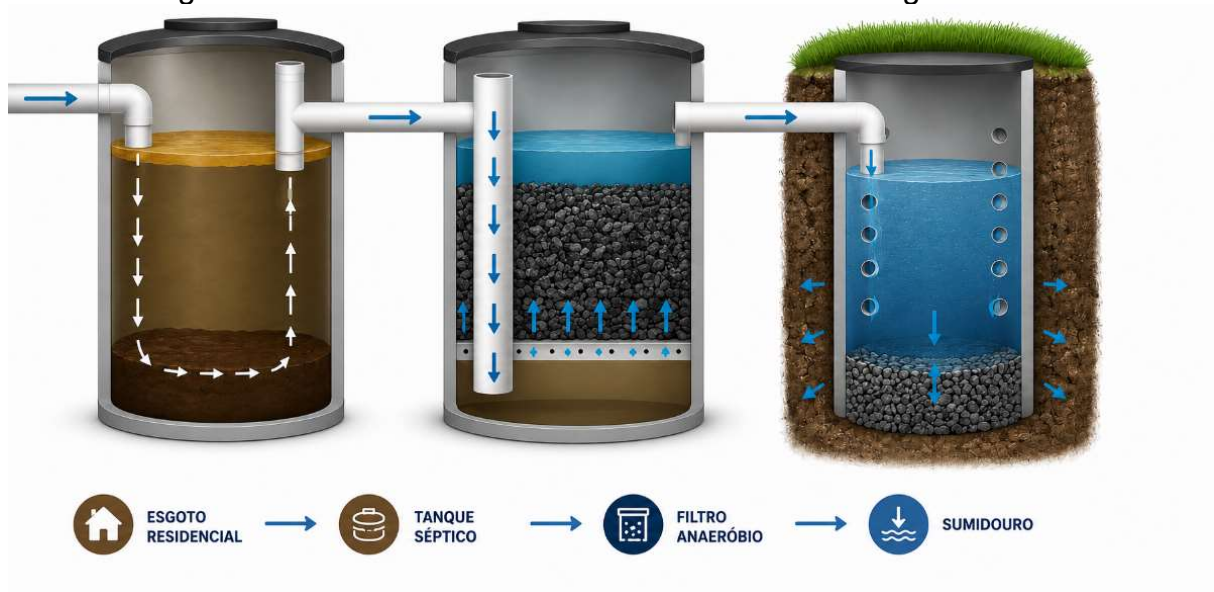
3.2 TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS

O tratamento de AC é essencial para viabilizar seu reúso seguro, uma vez que, apesar de apresentarem menor carga poluidora em comparação às águas escuras, esses efluentes ainda contêm matéria orgânica, microrganismos e compostos químicos que podem representar riscos à saúde e ao meio ambiente. Assim, os sistemas de tratamento são constituídos por diferentes processos físicos, químicos e biológicos, organizados de forma a remover contaminantes e atender aos padrões de qualidade exigidos para o uso pretendido, a definição do sistema mais adequado depende de fatores como características do efluente, finalidade do reúso, disponibilidade de área e viabilidade econômica (COSTA, 2021).

3.2.1 Tratamento Convencional no Lote

Os sistemas convencionais de tratamento em lote, amplamente utilizados no Brasil, são baseados em unidades como tanques sépticos, filtros anaeróbios e dispositivos de disposição final no solo, como sumidouros, destinados ao tratamento primário dos esgotos domésticos. Esses sistemas atuam principalmente na remoção de sólidos sedimentáveis e na redução parcial da matéria orgânica, por meio de processos físicos de sedimentação e digestão anaeróbia, sendo, por isso, amplamente aplicados em áreas não atendidas por redes coletoras (VON SPERLING, 1996; ABNT, 2024). A Figura 2 apresenta o esquema típico de sistemas convencionais de tratamento em lote, contemplado por tanque séptico, filtro e sumidouro, amplamente utilizados em áreas não atendidas por rede coletora.

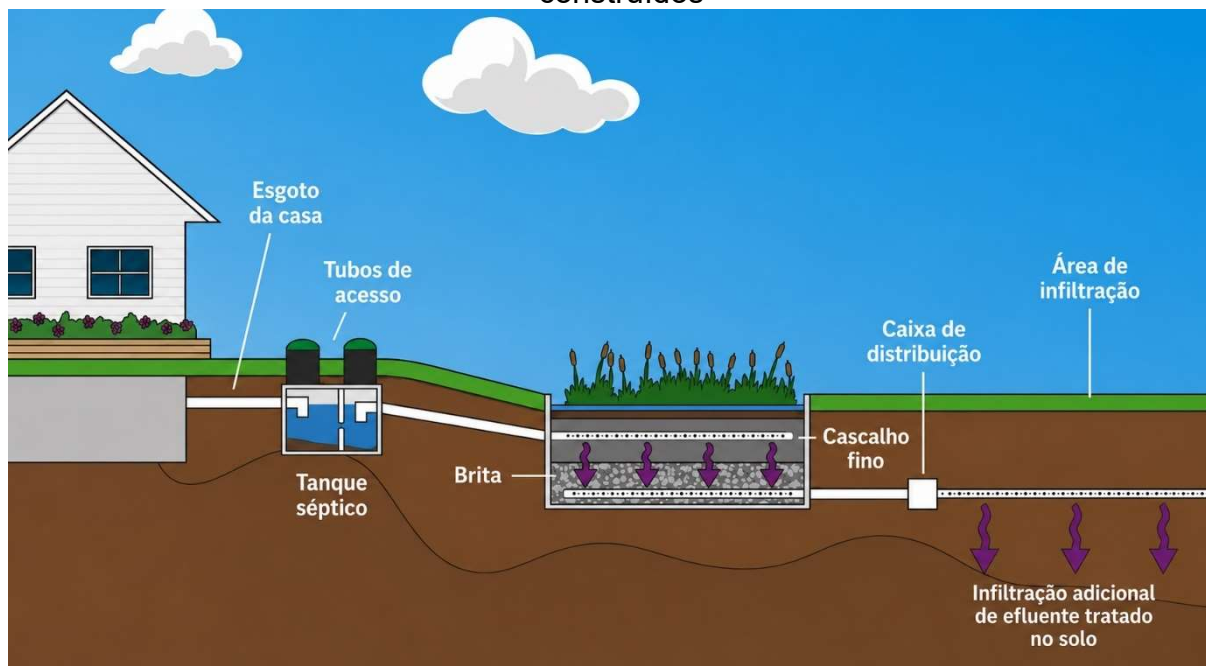
Figura 2 - Sistema convencional de tratamento de esgoto no lote



Fonte: Adaptado de MASTER AMBIENTAL (2014).

Sistemas naturais, como *wetlands* construídos, também são aplicados em tratamentos no lote, utilizando processos naturais de filtração, em que o efluente percola pelo solo ou material granular. Nesses sistemas, ocorre a remoção de poluentes por mecanismos combinados de adsorção e degradação biológica, esta última promovida por microrganismos associados ao substrato e ao sistema radicular das plantas (MONTEIRO, 2023). A Figura 3 apresenta o arranjo de um sistema de tratamento de efluentes que integra tanque séptico, *wetlands* construídos e unidade de infiltração no solo, evidenciando o percurso do efluente ao longo das etapas de tratamento.

Figura 3 - Sistema de tratamento de efluentes com tanque séptico e *wetlands* construídos



Fonte: Adaptado de TCHD (2023).

Por apresentarem baixo custo e simplicidade operacional, esses sistemas são amplamente utilizados, entretanto, demonstram limitações importantes quando analisados sob a ótica do reúso. A eficiência na remoção de compostos químicos específicos, como surfactantes e produtos de cuidado pessoal, é limitada, assim como o controle microbiológico do efluente (COSTA, 2021; ANJOS et al., 2025). Além disso, o desempenho pode variar significativamente em função de condições ambientais e operacionais, e, no caso de *wetlands*, há necessidade de maior área disponível (MONTEIRO, 2023; COSTA, 2021). Dessa forma, apesar de sua ampla aplicabilidade, esses sistemas podem não ser a alternativa mais adequada para todas as modalidades de reúso, especialmente quando são requeridos elevados padrões de qualidade do efluente ou quando há restrições relacionadas à disponibilidade de área para implantação (ANJOS et al., 2025).

3.2.2 Tecnologias Alternativas de Tratamento

Com o objetivo de superar as limitações dos sistemas convencionais, diversas tecnologias alternativas vêm sendo estudadas e aplicadas no tratamento de efluentes.

Essas tecnologias envolvem a aplicação de processos físicos, químicos e biológicos mais controlados e, frequentemente, combinados.

Os processos físicos, como peneiramento, sedimentação e filtração, são amplamente utilizados na remoção de sólidos e materiais grosseiros, enquanto os processos químicos, como coagulação, adsorção e oxidação, permitem a remoção de partículas coloidais, cor, turbidez e compostos dissolvidos (COSTA, 2021). Já os processos biológicos apresentam elevada eficiência na remoção de matéria orgânica e baixo custo operacional, sendo amplamente utilizados em sistemas descentralizados. No entanto, sua capacidade de remoção de compostos recalcitrantes e microrganismos patogênicos pode ser limitada, o que frequentemente exige a combinação com outras etapas de tratamento (COSTA, 2021).

Nesse sentido, observa-se que sistemas isolados dificilmente atendem a todos os requisitos de qualidade, sendo mais comum a adoção de arranjos combinados. Assim, a tendência atual é a adoção de sistemas híbridos, que combinam diferentes processos unitários para aumentar a eficiência global. No entanto, esse ganho de desempenho está frequentemente associado ao aumento da complexidade operacional e dos custos, o que representa um desafio para sua aplicação em edificações residenciais (ANJOS et al., 2025; COSTA, 2021).

3.2.3 Processos Eletroquímicos e Sistemas com Membranas

Entre as tecnologias emergentes, os processos eletroquímicos, especialmente a eletrocoagulação, têm se destacado como alternativas promissoras para o tratamento de efluentes. Esse processo baseia-se na geração de coagulantes diretamente no meio por meio da dissolução de eletrodos, promovendo a desestabilização e remoção de partículas contaminantes (DE QUEIROZ et al., 2024).

A eletrocoagulação baseia-se na aplicação de corrente elétrica em eletrodos metálicos, promovendo a geração de coagulantes *in situ*, responsáveis pela desestabilização e remoção de partículas suspensas e dissolvidas. Essa tecnologia apresenta elevada eficiência na remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos e compostos de difícil degradação. Estudos indicam remoções superiores a 99% de coliformes, cerca de 89% de turbidez e acima de 80% de matéria orgânica, evidenciando seu potencial para aplicações de reúso (DE QUEIROZ et al., 2024).

Nesse contexto, a associação com tecnologias de membranas surge como uma estratégia capaz de elevar a eficiência do tratamento. As membranas atuam como barreiras físicas, promovendo a retenção de sólidos, microrganismos e parte dos contaminantes dissolvidos, resultando em efluentes com maior qualidade e estabilidade. Sistemas integrados permitem a redução da carga de sólidos e matéria orgânica antes da etapa de filtração, contribuindo para a diminuição do fenômeno de incrustação e melhoria do desempenho global do sistema e aumentando a estabilidade operacional. Contudo, sua aplicação em escala residencial ainda enfrenta desafios relacionados ao consumo energético, manutenção e à necessidade de controle operacional (ANJOS et al., 2025).

Assim, observa-se que, embora tecnologias avançadas apresentem maior eficiência, sua adoção em larga escala depende da superação de barreiras econômicas e operacionais, especialmente em aplicações descentralizadas.

3.3 REÚSO DE ÁGUAS CINZAS

O reúso de água consiste na utilização planejada de águas residuárias tratadas para diferentes finalidades, configurando-se como uma estratégia relevante de gestão dos recursos hídricos, especialmente em cenários de crescente demanda e limitação da disponibilidade de água potável (TERCETTI; ROSSONI, 2022; MOTA, 2022).

De forma geral, o reúso pode ser classificado em direto e indireto. O reúso direto ocorre quando o efluente tratado é conduzido diretamente ao local de utilização, sem lançamento prévio em corpos hídricos, enquanto o reúso indireto envolve o lançamento planejado do efluente no meio ambiente, seguido de diluição e posterior captação para uso a jusante (MOTA, 2022; WHO, 1973). Além dessas classificações, a Organização Mundial da Saúde (OMS), também reconhece a reciclagem interna, caracterizada pelo reaproveitamento da água dentro da própria edificação ou sistema produtivo em que foi gerada, sem ser lançada no meio ambiente, com o objetivo de reduzir o consumo e a geração de efluentes (WHO, 1973).

As possibilidades de aplicação do reúso são amplas, abrangendo usos urbanos, agrícolas, industriais e ambientais, sendo a adequação da qualidade da água ao uso pretendido um aspecto fundamental, condicionado às exigências técnicas e sanitárias de cada aplicação (MOTA, 2022; MONTEIRO, 2023). No contexto das

edificações residenciais, o reúso de AC destaca-se como uma alternativa viável e amplamente estudada, uma vez que esse tipo de efluente apresenta menor carga poluidora em comparação às águas escuras, possibilitando tratamentos mais simples e aplicações para fins não potáveis (COSTA, 2021; MONTEIRO, 2023).

As aplicações mais consolidadas para o reúso de AC em edificações incluem a descargas de bacias sanitárias, considerado um dos principais potenciais de economia de água em ambientes domésticos, além da lavagem de pisos, veículos e áreas externas, bem como a irrigação de jardins e usos paisagísticos (MOURA et al., 2022; RIBEIRO, 2015).

Figura 4 - Possíveis aplicações do reúso em edificações

Usos indicados



Fonte: Adaptado de SOLUÇÕES PARA CIDADES (2015).

Outras aplicações também são possíveis, como o uso em sistemas de combate a incêndio, fontes decorativas e processos de limpeza em geral, desde que atendidos os padrões de qualidade exigidos (FABRÍCIO, 2020). No entanto, a definição do uso final está diretamente relacionada à qualidade do efluente tratado e às exigências normativas vigentes, sendo imprescindível garantir condições adequadas de segurança sanitária para evitar riscos à saúde humana (MONTEIRO, 2023). Dessa forma, a escolha do uso final deve ser compatível com o nível de tratamento adotado, evitando riscos à saúde pública e assegurando o desempenho adequado do sistema de reúso.

3.3.1 Aspectos Legais

A regulamentação do reúso de AC para fins não potáveis no Brasil ainda está em estágio inicial e fragmentada, sobretudo pela ausência de uma legislação federal específica que estabeleça padrões de qualidade físico-química e microbiológica. Essa lacuna normativa gera insegurança jurídica e dificulta a adoção da prática, além de não incentivar a criação de instrumentos regulatórios mais abrangentes (MOURA et al., 2022; COSTA; MOTA, 2021).

No que se refere às normas técnicas, destacam-se as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que, apesar de não possuírem caráter legal obrigatório, desempenham papel fundamental como instrumentos orientadores. A NBR 13.969/1997, embora já cancelada, foi uma das primeiras a estabelecer critérios para tratamento e reúso de efluentes provenientes de tanques sépticos, estabelecendo classes de qualidade de acordo com os usos pretendidos, enquanto a NBR 16.783/2019 representa um avanço ao definir diretrizes e parâmetros de qualidade para o uso de fontes alternativas de água em edificações, incluindo as AC (ABNT, 1997; ABNT, 2019; MONTEIRO, 2023).

Alguns estados brasileiros, como Ceará, São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul possuem legislações que abordam o reúso de água, estabelecendo padrões de qualidade para diferentes aplicações, como uso agrícola, urbano e industrial. Contudo, essas normas não tratam especificamente do reúso de AC em edificações, evidenciando uma lacuna regulatória importante nesse segmento (COSTA; MOTA, 2021).

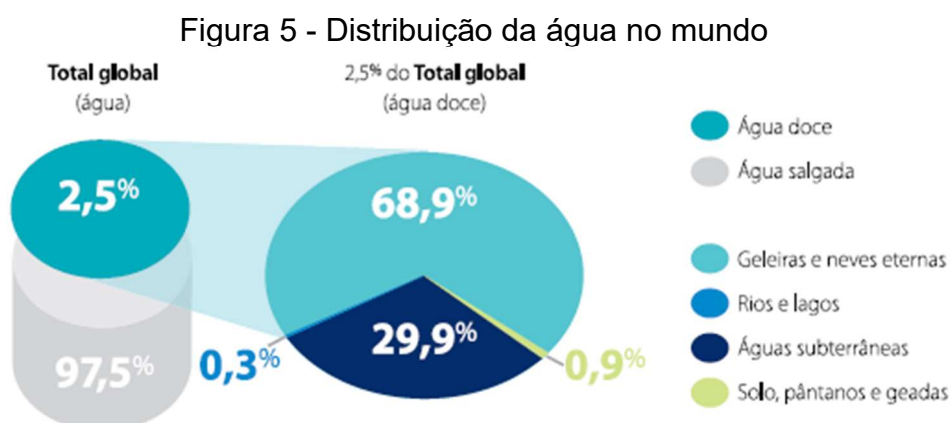
No cenário internacional, observa-se maior consolidação normativa. A União Europeia, por meio de diretrizes para integração do reúso ao planejamento hídrico, por meio do documento *Guidelines on Integrating Water Reuse into Water Planning and Management*, que destaca a necessidade de adaptação das estratégias às condições locais e da avaliação de cenários nas tomadas de decisão. Já nos Estados Unidos, o *National Water Reuse Action Plan* (WRAP), elaborado pela EPA, estabelece ações estruturadas para impulsionar o reúso, envolvendo diferentes setores e abordando aspectos técnicos, institucionais e financeiros (EU WATER DIRECTORS, 2016; EPA, 2020).

Dessa forma, observa-se que o Brasil ainda enfrenta desafios significativos na regulamentação do reúso de AC, principalmente pela ausência de uma legislação federal específica, pela existência de normas dispersas e pelo caráter não obrigatório das normas técnicas. Nesse contexto, torna-se necessária a criação de um marco

regulatório mais claro e estruturado, que garanta segurança jurídica, padronize critérios técnicos e estimule a adoção do reúso de AC como alternativa para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

3.3.2 Contribuições para a Sustentabilidade Hídrica

Apesar de abundante, a disponibilidade de água no planeta é limitada quando considerada para uso humano. Aproximadamente 97,5% da água é salgada e apenas 2,5% doce, sendo que a maior parte se encontra em geleiras e aquíferos, restando 0,3% acessível em rios e lagos, essa distribuição pode ser melhor visualizada na Figura 5 (MORAIS; OLIVEIRA, 2024; FABRÍCIO, 2020).



Fonte: Adaptado de DOCE LIMÃO (2015).

No Brasil, apesar da elevada disponibilidade hídrica, a distribuição ocorre de forma desigual, o que, aliado ao crescimento urbano e ao aumento da demanda, resulta em situações de escassez em diferentes regiões (TERCETTI; ROSSONI, 2022). Esse cenário tende a se agravar, considerando a crescente demanda por água e as projeções de déficit hídrico (MOURA et al., 2022). Em Santa Catarina, observa-se tendência semelhante, com aumento da demanda e redução da disponibilidade hídrica, destacando-se regiões com balanço hídrico considerado insustentável, nas quais a demanda supera a oferta, comprometendo múltiplos usos da água (MAESTRI et al., 2025).

A situação é intensificada pela baixa cobertura de esgotamento sanitário. Segundo o SNIS (2022), cerca de 56% da população brasileira é atendida por rede coletora de esgotos, enquanto em Santa Catarina esse índice é inferior, em torno de

29,1%. Em Florianópolis, a cobertura por rede coletora de esgotos é de 64,57%, maior que a média estadual e nacional (SNISA, 2022). Nas áreas não atendidas, predominam sistemas descentralizados, como tanques sépticos, que muitas vezes não possuem manutenção e monitoramento adequados, comprometendo sua eficiência e contribuindo para a contaminação do solo e dos corpos d'água.

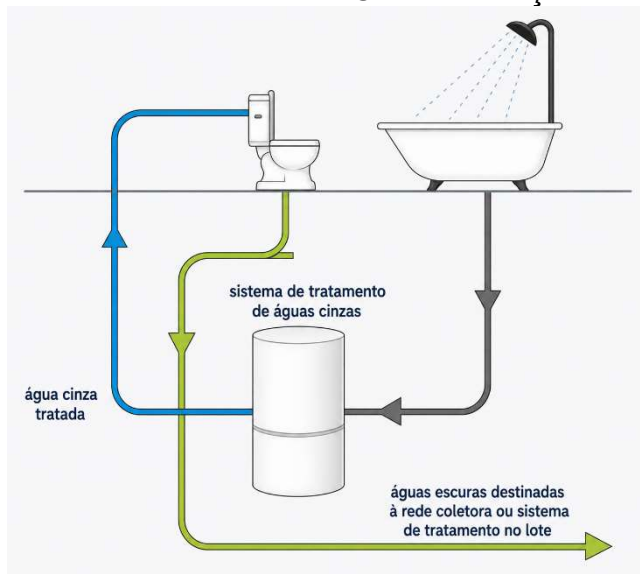
Diante desse contexto, a Política Nacional de Recursos Hídricos estabelece que a água é um recurso finito, dotado de valor econômico e deve ser utilizada de forma racional (BRASIL, 1997). Nesse sentido, o reúso de AC se apresenta como alternativa relevante, pois contribui para a redução da demanda por água potável, diminuição do lançamento de efluentes e uso mais eficiente dos recursos hídricos (MOURA et al., 2022).

3.3.2.1 *Redução do consumo de água potável*

O reúso de AC constitui uma estratégia importante para a redução do consumo de água potável, pois permite substituir água de melhor qualidade por água tratada em usos que não exigem potabilidade, como descargas sanitárias, limpeza e irrigação. Dessa forma, a água potável é destinada prioritariamente a usos mais nobres, contribuindo para o uso racional dos recursos hídricos e para a redução da demanda sobre os mananciais (ALEXANDRE; LEMKE-DE-CASTRO; PESQUERO, 2013).

Esse potencial é significativo, uma vez que parte expressiva do consumo doméstico está associada a usos não potáveis. Costa (2021) aponta que cerca de 40% da água consumida em residências destina-se a essas finalidades, indicando que a adoção de sistemas de reúso pode gerar economia considerável de água potável. A Figura 6 exemplifica um sistema de reúso de AC em que a água do chuveiro é tratada e utilizada para o abastecimento da bacia sanitária, evitando dessa forma o uso de água potável para um fim não nobre.

Figura 6 - Sistema de reúso de AC em edificações residenciais



Fonte: Adaptado de RAINHARVEST (2014).

Além disso, em escala urbana, a redução do consumo de água potável contribui para diminuir os volumes captados nos corpos hídricos e encaminhados para tratamento, reduzindo a pressão sobre os sistemas de abastecimento (MALDONADO, 2022).

Em uma edificação de médio porte em Florianópolis, Maldonado (2022) verificou que a produção de AC era superior à demanda para usos não potáveis, obtendo demanda diária estimada foi de aproximadamente 6.579 L/dia para descarga de bacias sanitárias e lavagem de garagens, enquanto a produção de AC, considerando apenas chuveiros e lavatórios de alguns pavimentos, alcançou cerca de 17.160 L/dia, ou seja, aproximadamente 2,6 vezes superior à demanda. Esse excedente garante segurança operacional ao sistema e evidencia seu potencial de atendimento contínuo, além de permitir a otimização da captação e do tratamento, evitando o processamento de volumes desnecessários.

3.3.2.2 *Redução da carga lançada na disposição final do efluente*

O reúso de AC contribui para a redução da carga poluidora lançada no meio ambiente ao diminuir o volume de efluentes descartados em corpos hídricos ou infiltrados no solo. Ao reaproveitar parte do efluente gerado nas edificações, ocorre uma redução proporcional na vazão de esgoto sanitário encaminhada aos sistemas

de coleta e tratamento, o que impacta positivamente a carga final lançada no meio ambiente (MOURA et al., 2022).

Além da redução de volume, o reúso promove menor lançamento direto de poluentes, contribuindo para a preservação da qualidade dos mananciais e para a diminuição dos impactos ambientais. Estudos apontam que essa prática reduz a degradação dos corpos receptores e estimula o uso sustentável dos recursos hídricos (TERCETTI; ROSSONI, 2022).

Em áreas sem rede coletora, nas quais predominam sistemas descentralizados como tanques sépticos e sumidouros, muitas vezes sem nem passar por um sistema de filtração, a redução da carga lançada no solo torna-se especialmente relevante, uma vez que o reúso contribui para a diminuição do volume de efluentes gerados (RIBEIRO, 2015; MOURA et al., 2022). A infiltração desses efluentes pode representar risco de contaminação das águas subterrâneas, incluindo aquíferos, sobretudo quando não há controle operacional e manutenção adequados desses sistemas (VON SPERLING, 1996).

Adicionalmente, o reúso contribui para a diminuição dos impactos associados à poluição hídrica e para a conservação dos recursos naturais, ao reduzir o lançamento de efluentes nos corpos receptores, estando alinhado às diretrizes nacionais de uso racional da água e de proteção ambiental (CNRH, 2005).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem quali-quantitativa, baseada na análise de dados secundários e complementada por medições diretas de geração de AC. O trabalho utiliza dados provenientes de um estudo experimental previamente conduzido, no qual foram avaliados as características qualitativas e o desempenho de tratamento de AC por meio de sistema híbrido.

A Figura 7 apresenta, de forma esquemática, as principais etapas metodológicas adotadas no desenvolvimento da pesquisa, desde a caracterização da área de estudo até a comparação dos resultados com diretrizes normativas.

Figura 7 - Fluxograma das etapas metodológicas do estudo



Fonte: Elaboração própria (2026).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A obtenção de dados primários foi realizada em uma residência unifamiliar localizada no bairro Ribeirão da Ilha, região sul do município de Florianópolis (SC). A edificação possui um pavimento, sendo composta por dois quartos, sala, cozinha, um banheiro e área de serviço equipada com máquina de lavar roupas e tanque. A residência é ocupada por dois moradores permanentes.

No que se refere às condições de esgotamento sanitário, destaca-se que o bairro Ribeirão da Ilha apresenta ausência de atendimento por rede coletora de esgoto em diversas áreas, sendo predominante a utilização de soluções individuais para o tratamento e disposição final dos efluentes domésticos (FIESC, 2023). Nesse contexto, a edificação em estudo não é atendida por sistema público de esgotamento sanitário.

Atualmente, não há segregação das AC na residência, de modo que todas as águas residuárias geradas, cinzas e escuras, são conduzidas em conjunto. O esgoto

doméstico gerado é destinado a um sistema individual de tratamento, composto por tanque séptico, seguido de um filtro anaeróbio e disposição final em sumidouro.

4.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE E POTENCIAL DE REÚSO DAS ÁGUAS CINZAS

A avaliação da qualidade e do potencial de reúso das AC foi realizada com base em dados laboratoriais provenientes de um estudo experimental de mestrado em desenvolvimento, no qual se investigou o tratamento dessas águas por meio de processo eletroquímico associado à filtração por membranas (ANJOS, 2025). Destaca-se que tais informações constituem dados secundários, obtidos no âmbito de uma pesquisa paralela, os quais foram incorporados à presente investigação com o objetivo de subsidiar a análise da qualidade do efluente tratado e de seu potencial de reúso.

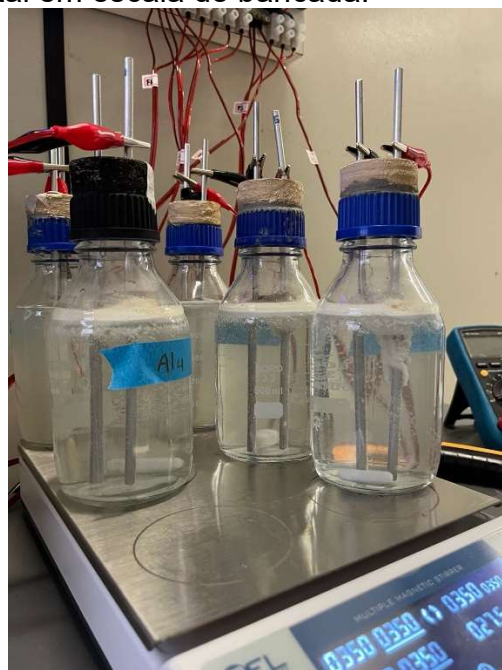
4.2.1 Processo eletroquímico associado a filtração por membrana

O sistema de tratamento adotado no estudo experimental de referência consiste em um processo híbrido, composto pela aplicação de tratamento eletroquímico associado à filtração por membranas. De forma simplificada, as AC são inicialmente submetidas à ação de corrente elétrica, promovendo a remoção de contaminantes por mecanismos como coagulação e oxidação, operando juntamente a um módulo de filtração por membranas. A montagem experimental utilizada durante a etapa de avaliação das condições operacionais do sistema é apresentada na Figura 8. A Figura 8A apresenta a configuração geral do sistema em escala de bancada, enquanto a Figura 8B apresenta uma aproximação das células eletroquímicas utilizadas nos ensaios.

Figura 8 - Montagem experimental em escala de bancada.



(A) Sistema experimental completo utilizado nos ensaios eletroquímicos associados à filtração por membranas.



(B) Aproximação das células eletroquímicas utilizadas durante a avaliação das condições operacionais do sistema.

Fonte: (A) Autora (2026); (B) Anjos (2026).

A operação ocorre em condições controladas de tempo de detenção hidráulica e densidade de corrente elétrica aplicada, em bateladas de 0,5 L e regime sequencial de filtração, de modo a favorecer o desempenho da membrana. Os ensaios foram conduzidos em escala de bancada, utilizando os parâmetros e condições operacionais previamente estabelecidos, buscando representar situações próximas à aplicação em larga escala. Ressalta-se que os dados utilizados nesta pesquisa correspondem aos resultados obtidos nesse sistema, sendo empregados para a avaliação da qualidade do efluente tratado e de seu potencial de reúso.

Como condição operacional ótima adotada, o tratamento foi realizado com corrente elétrica de 0,088 A e tensão de 30 V durante 175 minutos para um volume de 0,5 L de AC. Considerando a área superficial útil dos eletrodos de aproximadamente 0,00149 m², a densidade de corrente aplicada foi de cerca de 58 A/m². Os ensaios foram conduzidos em escala de bancada utilizando eletrodos de alumínio associados a uma membrana filtrante plana comercial com porosidade de 0,22 µm, empregada de acordo com os procedimentos usuais de microfiltração.

4.2.2 Parâmetros físico-químicos e microbiológicos

Foram analisados parâmetros físico-químicos e microbiológicos com o objetivo de caracterizar qualitativamente as AC brutas e tratadas, e avaliar seu potencial de reúso. Os parâmetros, unidades, tipo de amostra e referências metodológicas adotadas estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados

Parâmetro	Unidade	Tipo de amostra	Descrição da metodologia	Referência do método
DQO	mg O ₂ /L	Bruta e tratada	Método colorimétrico de refluxo fechado e leitura espectrofotométrica	APHA (2017) - 5220 D
DBO ₅	mg O ₂ /L	Bruta e tratada	Incubação por 5 dias com leitura do oxigênio dissolvido	APHA (2017) - 5210 B
Nitrogênio Total (NT)	mg N/L	Bruta e tratada	Digestão oxidativa com persulfato seguida de leitura espectrofotométrica	APHA (2017) - 5210 B
N-NH ₄ ⁺	mg N/L	Bruta	Método de Nessler e leitura em espectrofotômetro	APHA (2017) - 4500-NH ₃
Surfactantes	mg/L	Bruta	Método azul de metileno (MBAS)	APHA (2017) - 5540 C
ST	mg/L	Bruta	Método gravimétrico	APHA (2017) - 2540 D
STF	mg/L	Bruta	Método gravimétrico	APHA (2017) - 2540 D
SDT	mg/L	Bruta	Método gravimétrico	APHA (2017) - 2540 D
SST	mg/L	Bruta	Método gravimétrico	APHA (2017) - 2540 D
STV	mg/L	Bruta	Método gravimétrico	APHA (2017) - 2540 D
Turbidez	NTU	Bruta e tratada	Leitura em turbidímetro	APHA (2017) - 2130 B
Condutividade elétrica	µS/cm	Bruta e tratada	Medição com condutivímetro	APHA (2017) - 2510 B
pH	-	Bruta e tratada	Leitura em pHmetro	APHA (2017) - 4500-H ⁺
Ortofosfato	mg/L	Bruta e tratada	Método do vanadomolibdato	APHA (2017) - 4500-P C
Alumínio	mg/L	Bruta e tratada	Método colorimétrico Aluminon	Hach Method - 8012
Coliformes fecais	NMP/100 mL	Bruta	Método Colilert®/Quanti-Tray com substratos cromogênicos/fluorogênicos	IDEXX; EPA 1603
Coliformes totais	NMP/100 mL	Bruta	Método Colilert®/Quanti-Tray com substratos cromogênicos/fluorogênicos	IDEXX; EPA 1603

Fonte: Adaptado de Dos Anjos (2025).

Ressalta-se que os dados apresentados são provenientes de análises laboratoriais realizadas no estudo experimental de referência, sendo utilizados neste trabalho como dados secundários.

4.2.3 Critérios normativos para avaliação do potencial de reúso

A avaliação do potencial de reúso das AC foi realizada a partir da comparação dos resultados obtidos nas análises laboratoriais, realizadas no estudo de referência, com critérios estabelecidos em normas e diretrizes nacionais e internacionais aplicáveis ao reúso não potável em edificações. Para esse fim, foram adotadas como referência a ABNT NBR 16783:2019, que estabelece diretrizes para o uso de fontes alternativas de água não potável em edificações, as recomendações da *United States Environmental Protection Agency* (EPA), amplamente utilizadas como base técnica para padrões de qualidade de água de reúso e as diretrizes apresentadas no Manual de Conservação e Reúso de Água em Edificações, elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA), Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SindusCon-SP). Ressalta-se que as diretrizes da EPA possuem caráter orientador, não estabelecendo padrões únicos obrigatórios, sendo sua aplicação adaptada conforme as condições e regulamentações locais.

A escolha dessas diretrizes justifica-se pela sua aplicabilidade ao contexto de reúso urbano não potável, bem como pela complementaridade entre uma norma nacional, que, apesar de ainda em estágio inicial, considera as especificidades brasileiras, e uma referência internacional consolidada, que fornece parâmetros adicionais para avaliação da qualidade da água de reúso.

Os valores obtidos para as AC brutas e tratadas foram confrontadas com os limites estabelecidos nessas normas e diretrizes, considerando diferentes possibilidades de uso não potável em edificações, como descarga de bacias sanitárias, lavagem de roupas e pisos e irrigação de áreas verdes.

4.3 ANÁLISE QUANTITATIVA E BALANÇO HÍDRICO

A avaliação quantitativa foi realizada por meio de um balanço hídrico simplificado da edificação em estudo, considerando-se as entradas e saídas de água no sistema. Foram avaliados três cenários distintos: a condição atual, sem reúso de AC, cenário com reúso de AC tratadas com aplicação específica em descargas de bacia sanitária, e o cenário com o reúso de AC tratadas para abastecimento das descargas da bacia sanitária e da máquina de lavar roupas.

4.3.1 Consumo total de água potável

Como a residência não possui hidrômetro individual para monitoramento do consumo de água da unidade, a estimativa da vazão de água potável foi realizada com base no consumo per capita de 174,24 L/hab.dia ($Q_{efetivo}$ = consumo per capita efetivo (L/hab.dia)), obtido a partir de dados do SINISA, referentes ao ano base de 2022 para o município de Florianópolis (SC).

4.3.2 Geração de águas cinzas

A quantificação da geração de AC na edificação foi realizada por meio de medições diretas de vazão, conforme metodologias aplicadas em estudos de caracterização de águas residuárias domésticas (ALEXANDRE; LEMKE-DE-CASTRO; PESQUERO, 2013). As medições foram realizadas por meio de três coletas dos efluentes em recipientes posicionados nos principais pontos de geração de AC (chuveiro, lavatório, máquina de lavar roupas, tanque e pia da cozinha), em dias distintos, nos períodos de 02 a 03 de fevereiro de 2026, 09 a 10 de fevereiro de 2026 e 03 a 04 de março de 2026, cada coleta com duração de 24 horas (das 7h às 7h).

As águas cinzas geradas nos diferentes pontos da residência foram coletadas separadamente ao longo das campanhas de monitoramento e posteriormente reunidas em um reservatório de armazenamento temporário, onde foram homogeneizadas antes da quantificação dos volumes e realização das demais etapas do estudo. A Figura 9 apresenta o recipiente utilizado para armazenamento e homogeneização das águas cinzas coletadas durante as campanhas.

Figura 9 - Reservatório de armazenamento e homogeneização das AC



Fonte: Autora (2026).

Com base nos volumes medidos, a geração per capita diária de AC foi estimada conforme a Equação 1:

$$Q_{\text{águas cinzas}} = \frac{V}{T.N} \quad (1)$$

Onde,

$Q_{\text{águas cinzas}}$ = geração per capita de AC (L/hab.dia);

V = volume total coletado (L);

T = tempo de coleta (dias);

N = número de moradores da unidade residencial.

4.3.3 Potencial de consumo de água de reúso

O potencial de consumo de água de reúso foi estimado a partir das demandas de água associadas aos usos não potáveis avaliados na edificação. Para isso, foram considerados dois cenários de aplicação do reúso, conforme descrito nos itens subsequentes.

4.3.3.1 Descarga da bacia sanitária

O potencial de consumo de água de reúso foi estimado considerando a demanda associada a descarga de bacias sanitárias ($Q_{descarga}$). Em estudo realizado por Monteiro (2023), em residência unifamiliar, observou-se que bacias sanitárias com caixa acoplada apresentam consumo médio de 6 litros por acionamento, com frequência média de aproximadamente 140,9 acionamentos por pessoa ao mês, o que corresponde a cerca de 4 a 5 descargas por habitante ao dia.

A vazão de reúso ($Q_{reúso}$) para este cenário foi definida como o volume de AC tratadas passível de substituição da água potável nesse uso, sendo limitada tanto pela disponibilidade de AC geradas quanto pela demanda do sistema. Dessa forma, o volume efetivamente reutilizável foi determinado conforme a Equação 2:

$$Q_{reúso \text{ cenário } 1} = \min (Q_{\text{águas cinzas}}, Q_{descarga}) \quad (2)$$

Onde,

$Q_{reúso \text{ cenário } 1}$ = vazão de reúso (L/hab.dia);

$Q_{\text{águas cinzas}}$ = geração per capita de AC (L/hab.dia);

$Q_{descarga}$ = vazão de acionamento da descarga (L/hab.dia);

Para fins de análise, em um primeiro momento o consumo de água de reúso foi limitado à demanda associada à descarga de bacia sanitária, por se tratar de um uso não potável de menor incerteza na estimativa de consumo.

4.3.3.2 Máquina de lavar roupas

A demanda de água para abastecimento da máquina de lavar roupas ($Q_{lava \text{ roupas}}$) foi estimada de acordo com dados de eficiência hídrica de lavadoras residenciais avaliadas pelo Inmetro, o consumo de água em máquinas de lavar roupas pode variar conforme o modelo e a eficiência do equipamento. Máquinas com maior eficiência hídrica apresentam consumo aproximado de 77,7 L por ciclo de lavagem, enquanto modelos menos eficientes podem consumir cerca de 117,4 L por ciclo (MONITORA EE, 2020).

A vazão de reúso ($Q_{reúso}$) para este cenário foi definida como o volume de AC tratadas passível de substituição da água potável para a descarga de bacia sanitária e máquina de lavar roupas, sendo limitada tanto pela disponibilidade de AC geradas quanto pela demanda do sistema. Dessa forma, o volume efetivamente reutilizável foi determinado conforme a Equação 3:

$$Q_{reúso \text{ cenário } 2} = \min (Q_{\text{águas cinzas}}, Q_{\text{descarga}} + Q_{\text{lava roupas}}) \quad (3)$$

Onde,

$Q_{reúso \text{ cenário } 2}$ = vazão de reúso (L/hab.dia);

$Q_{\text{águas cinzas}}$ = geração per capita de AC (L/hab.dia);

Q_{descarga} = vazão de acionamento da descarga (L/hab.dia);

$Q_{\text{lava roupas}}$ = vazão por ciclo de lavagem de roupa (L/hab.dia).

Para fins de análise, o consumo de água de reúso foi limitado à demanda associada à descarga de bacias sanitárias e máquina de lavar roupas, por se tratar de usos não potáveis que apresentam maior previsibilidade e menor incerteza na estimativa de consumo. Eventuais volumes excedentes de AC tratadas poderão ser destinados a outros usos não potáveis, como irrigação de áreas verdes e lavagem de superfícies externas, desde que os parâmetros de qualidade das AC tratadas atendam aos requisitos exigidos para essas finalidades.

4.3.4 Consumo de água potável com reúso

O consumo de água potável após a implementação do reúso foi estimado para os dois cenários avaliados, considerando a substituição da demanda originalmente atendida por água potável por AC tratadas. O cenário 1 contemplou o abastecimento das descargas das bacias sanitárias, enquanto o cenário 2 considerou o abastecimento das descargas das bacias sanitárias e da máquina de lavar roupas.

4.3.4.1 Cenário 1: descarga da bacia sanitária

No primeiro cenário de reúso, considerou-se a utilização exclusiva das AC tratadas para o abastecimento das descargas da bacia sanitária. Dessa forma, o consumo de água potável da edificação foi estimado a partir da diferença entre o consumo total de água potável da residência e a demanda de água destinada às descargas sanitárias, assumindo que essa parcela passaria a ser integralmente suprida por água de reúso.

O consumo de água potável no cenário com reúso para descargas da bacia sanitária foi calculado conforme a Equação 4.

$$Q_{\text{potável, com reúso cenário 1}} = Q_{\text{efetivo}} - Q_{\text{reúso cenário 1}} \quad (4)$$

Onde,

$Q_{\text{potável, com reúso cenário 1}}$ = vazão de água potável com reúso aplicado (L/hab.dia);

Q_{efetivo} = consumo per capita efetivo (L/hab.dia);

$Q_{\text{reúso cenário 1}}$ = vazão de reúso (L/hab.dia).

Com base nesses valores, a comparação entre o consumo de água potável do cenário de referência e do cenário com reúso permitiu estimar a redução potencial associada à substituição da água potável por AC tratadas na bacia sanitária, expressa em termos percentuais, conforme apresentado na Equação 5.

$$\text{Redução}_{\text{água}}(\%) = \frac{Q_{\text{reúso cenário 1}}}{Q_{\text{efetivo}}} \cdot 100 \quad (5)$$

4.3.4.2 *Cenário 2: descarga da bacia sanitária e máquina de lavar roupas*

No segundo cenário, considerou-se a utilização das AC tratadas para o abastecimento das descargas da bacia sanitária e da máquina de lavar roupas. Nesse caso, o consumo de água potável foi estimado pela subtração das demandas correspondentes a esses dois usos do consumo total de água da residência, assumindo-se que ambas seriam atendidas integralmente por água de reúso.

Para a máquina de lavar roupas, foi considerada a realização de três ciclos de lavagem por semana, utilizando-se o consumo mais eficiente de água por ciclo

descrito pelo Inmetro. O consumo de água potável no cenário 2 foi calculado conforme a Equação 6.

$$Q_{potável, com reuso cenário 2} = Q_{efetivo} - Q_{reuso cenário 2} \quad (6)$$

Onde,

$Q_{potável, com reuso cenário 2}$ = vazão de água potável com reuso aplicado (L/hab.dia);

$Q_{efetivo}$ = consumo *per capita* efetivo (L/hab.dia);

$Q_{reuso cenário 2}$ = vazão de reuso (L/hab.dia).

Com base nesses valores, foi possível determinar a redução relativa no consumo de água potável, expressa em termos percentuais, conforme apresentado na Equação 7.

$$Redução_{água}(\%) = \frac{Q_{reuso cenário 2}}{Q_{efetivo}} \cdot 100 \quad (7)$$

4.3.5 Geração total de esgoto

A geração de esgoto na edificação foi estimada a partir do consumo de água potável, considerando-se que 80% do volume consumido é direcionado ao sistema de tratamento de esgoto doméstico. A parcela restante corresponde a perdas associadas a processos como evaporação, irrigação de jardins, consumo humano e demais usos consuntivos. Para essa estimativa, adotou-se um coeficiente de retorno igual a 0,8, conforme recomendado pela NBR 9649:1986, o qual representa a fração da água consumida que é efetivamente convertida em esgoto (ABNT, 1986). Dessa forma, a vazão de esgoto gerada foi determinada conforme a Equação 8.

$$Q_{esgoto} = Q_{efetivo} \cdot 0,8 \quad (8)$$

Onde,

Q_{esgoto} = geração total de esgoto (L/hab.dia);

$Q_{efetivo}$ = consumo *per capita* efetivo (L/hab.dia).

4.3.6 Geração de esgoto com reúso

4.3.6.1 *Cenário 1: descarga da bacia sanitária*

Com a adoção do reúso de AC para o abastecimento exclusivo das descargas da bacia sanitária, a estimativa da vazão de esgoto passou a considerar o menor consumo de água potável na edificação obtido no cenário 1, mantendo-se o mesmo coeficiente de retorno adotado anteriormente. Assim, a vazão de esgoto nesse cenário foi obtida a partir da Equação 9.

$$Q_{\text{esgoto,com reúso cenário 1}} = Q_{\text{potável,com reúso cenário 1}} \cdot 0,8 \quad (9)$$

Onde,

$Q_{\text{esgoto,com reúso cenário 1}}$ = geração de esgoto com reúso aplicado (L/hab.dia);

$Q_{\text{potável,com reúso cenário 1}}$ = vazão de água potável com reúso aplicado (L/hab.dia).

A diferença entre os volumes de esgoto gerados no cenário 1 e sem reúso foi utilizada para quantificar a redução da vazão de efluente tratado destinado a disposição final, conforme a Equação 10.

$$\Delta Q_{\text{esgoto cenário 1}} = Q_{\text{esgoto}} - Q_{\text{esgoto,com reúso cenário 1}} \quad (10)$$

A redução relativa foi expressa em termos percentuais, considerando a razão entre a vazão evitada e a vazão total no cenário de referência, conforme apresentado na Equação 11:

$$\text{Redução}_{\text{esgoto cenário 1}}(\%) = \frac{\Delta Q_{\text{esgoto cenário 1}}}{Q_{\text{esgoto}}} \cdot 100 \quad (11)$$

4.3.6.2 *Cenário 2: descarga da bacia sanitária e máquina de lavar roupas*

Para o segundo cenário, a geração de esgoto sanitário foi estimada considerando o menor consumo de água potável da edificação em função do abastecimento das descargas sanitárias e da máquina de lavar roupas com AC

tratadas, mantendo-se o mesmo coeficiente de retorno adotado anteriormente. Assim, a vazão de esgoto nesse cenário foi obtida a partir da Equação 12.

$$Q_{\text{esgoto,com reuso cenário 2}} = Q_{\text{potável,com reuso cenário 2}} \cdot 0,8 \quad (12)$$

Onde,

$Q_{\text{esgoto,com reuso cenário 2}}$ = geração de esgoto com reuso aplicado (L/hab.dia);

$Q_{\text{potável,com reuso cenário 2}}$ = vazão de água potável com reuso aplicado (L/hab.dia).

É importante destacar que, ao utilizar AC tratadas em descargas sanitárias e máquinas de lavar roupas, o volume de efluente gerado não é eliminado, mas apenas reaproveitado antes de sua disposição final. Dessa forma, a redução observada na vazão de esgoto está associada à diminuição do volume de água potável consumida, e não à supressão da geração de efluentes na residência.

A diferença entre os volumes de esgoto gerados no cenário 2 e sem reuso foi utilizada para quantificar a redução da vazão de efluente tratado destinado a disposição final, conforme a Equação 13.

$$\Delta Q_{\text{esgoto cenário 2}} = Q_{\text{esgoto}} - Q_{\text{esgoto,com resuso cenário 2}} \quad (13)$$

A redução relativa foi expressa em termos percentuais, considerando a razão entre a vazão evitada e a vazão total no cenário de referência, conforme apresentado na Equação 14:

$$\text{Redução}_{\text{esgoto cenário 2}}(\%) = \frac{\Delta Q_{\text{esgoto cenário 2}}}{Q_{\text{esgoto}}} \cdot 100 \quad (14)$$

4.4 ANÁLISE DAS POTENCIALIDADES, LIMITAÇÕES, OPORTUNIDADES E DESAFIOS ASSOCIADOS À IMPLANTAÇÃO DO REÚSO DE ÁGUAS CINZAS NA EDIFICAÇÃO ESTUDADA

A última etapa do estudo envolveu a utilização de uma análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats*), baseada em avaliação *Ad Hoc*, com o objetivo de identificar os principais aspectos associados à implantação de um

sistema de reúso de AC na edificação estudada. A análise foi desenvolvida considerando os resultados obtidos no balanço hídrico, bem como as características operacionais e ambientais do sistema proposto.

Inicialmente, foram definidos, com base na revisão bibliográfica, nos resultados do balanço hídrico e nas características operacionais do sistema proposto, os principais aspectos relacionados à implantação do reúso de AC na edificação estudada. Os aspectos foram organizados em fatores internos, representados pelas forças e fraquezas, e fatores externos, relacionados às oportunidades e ameaças associadas à adoção do sistema. Posteriormente, nove especialistas, selecionados pela autora em função de sua formação e conhecimento na área de Engenharia Sanitária e Ambiental, realizaram avaliações individuais acerca da relevância dos aspectos identificados por meio de um questionário estruturado elaborado na plataforma Google Forms. As contribuições obtidas foram então consolidadas em uma matriz integrada de análise SWOT (Apêndice A).

Com base na metodologia utilizada por Maestri et al. (2025), os participantes atribuíram notas a cada aspecto identificado utilizando uma escala ordinal de cinco pontos, sendo: (1 ponto) aspecto sem relevância; (2 pontos) aspecto pouco relevante; (3 pontos) aspecto razoavelmente relevante; (4 pontos) aspecto relevante; e (5 pontos) aspecto muito relevante. A atribuição das pontuações considerou a influência potencial de cada aspecto sobre o desempenho ambiental, operacional e estratégico do sistema de reúso de AC.

Por fim, foi calculada a média das pontuações atribuídas pelos nove especialistas para definição do resultado qualitativo. Os resultados foram organizados em uma matriz SWOT, permitindo a identificação integrada das potencialidades, limitações, oportunidades e desafios associados à implantação do sistema de reúso na edificação estudada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 QUALIDADE DAS ÁGUAS CINZAS TRATADAS E CONFORMIDADE NORMATIVA

Os resultados do monitoramento da qualidade das AC bruta e tratada, bem como a comparação com os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 16783 para

reúso não potável, pelas diretrizes da EPA e pelo manual da ANA/FIESP/SindusCon-SP para reúso não potável, estão apresentados na Tabela 1. Ressalta-se que, de acordo com a ANA/FIESP/SindusCon-SP, os usos destinados a descargas sanitárias e lavagem de roupas são classificados como reúso Classe 1, categoria que exige padrões mais restritivos de qualidade devido ao maior potencial de contato humano.

Tabela 1 - Comparação dos parâmetros de qualidade das AC bruta e tratada com os limites normativos

Parâmetro	AC ¹ Bruta	AC ¹ Tratada	NBR ² 16783	EPA ³	ANA ⁴
DQO (mg O ₂ /L)	835,25	139,00	ND ⁷	ND	ND
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	264,67	44,05 ⁵	≤ 20	≤ 10	≤ 10
NT (mg N/L)	15,33	3,00	ND	ND	ND
N-NH ₄ ⁺ (mg N/L)	4,26	ND	ND	ND	≤ 20
Surfactantes (mg/L)	81,15	ND	ND	ND	ND
ST (mg/L)	720,52	ND	ND	ND	ND
STF (mg/L)	311,52	ND	ND	ND	ND
SDT (mg/L)	332,83	ND	≤ 2.000,00	ND	≤ 500
SST (mg/L)	371,72	ND	ND	ND	≤ 5
STV (mg/L)	409,00	ND	ND	ND	ND
Turbidez (NTU)	175,00	0,18	≤ 5	≤ 2	≤ 2
Condutividade elétrica (μS/cm)	378,10	232	≤ 3.200,00	ND	ND
pH	6,25	8,48	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Ortofosfato (mg/L)	2,93	0,80	ND	ND	ND
Alumínio (mg/L)	0,04	0,72	ND	ND	ND
Coliformes fecais ⁶ (NMP/100 mL)	> 1,47.10 ⁵	ND	ND	Não detectáveis	Não detectáveis
Coliformes totais (NMP/100 mL)	> 2,42.10 ⁵	ND	ND	ND	ND

Fonte: Elaboração própria (2026).

¹ AC - Águas cinzas

² NBR - Norma Brasileira

³ EPA - *United States Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

⁴ ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

⁵ Embora a ABNT NBR 16783 utilize *Escherichia coli* (E. coli) como indicador microbiológico, neste estudo foram utilizados resultados de coliformes fecais para fins comparativos.

⁶ O valor estimado de DBO₅ tratada foi calculado com base na eficiência de remoção da DQO observada no sistema, correspondente a aproximadamente 83,4%.

⁷ ND - Não detectado

Os resultados apresentados na Tabela 1 evidenciam que a AC bruta possui elevada carga de matéria orgânica, turbidez e contaminação microbiológica,

apresentando valores de DQO de 835,25 mg O₂/L, turbidez de 175,00 NTU e coliformes fecais superiores a 1,47.10⁵ NMP/100 mL. Esses resultados reforçam a necessidade de tratamento prévio das águas cinzas antes de sua destinação ao reúso não potável, uma vez que a adequação da qualidade do efluente constitui etapa fundamental para o atendimento dos critérios de qualidade exigidos para diferentes finalidades de reúso (COSTA, 2021).

Conforme apresentado no Tabela 1, os resultados obtidos para a AC tratada demonstraram melhoria significativa na qualidade do efluente após o tratamento, evidenciada principalmente pela redução da turbidez, de 175,00 NTU para 0,18 NTU, e da DQO, de 835,25 mg O₂/L para 139,00 mg O₂/L e pela redução estimada da DBO₅, de 264,67 mg O₂/L para aproximadamente 44,05 mg O₂/L, considerando eficiência de remoção equivalente à observada para a DQO. O permeado também apresentou valor de pH igual a 8,48, atendendo à faixa estabelecida pela ABNT NBR 16783, pela EPA e pela ANA/FIESP/SindusCon-SP para reúso não potável. Da mesma forma, os valores de sólidos dissolvidos totais e condutividade elétrica permaneceram abaixo dos limites recomendados pelas diretrizes avaliadas, indicando potencial para aplicações não potáveis em edificações urbanas, como as descargas de bacias sanitárias e lavagem de roupas.

Em relação à turbidez, o valor obtido para a AC tratada (0,18 NTU) permaneceu abaixo dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 16783 e também dos valores mais restritivos recomendados pela EPA e pela ANA/FIESP/SindusCon-SP, evidenciando elevada eficiência do sistema híbrido empregado. Esse resultado é particularmente relevante para aplicações em máquinas de lavar roupas, uma vez que elevados valores de turbidez estão associados à presença de partículas em suspensão que podem comprometer a aparência dos tecidos, favorecendo o amarelamento e o aspecto encardido das roupas (PORTER, 1991).

Além dos resultados quantitativos obtidos nas análises laboratoriais, observou-se visualmente uma expressiva melhora na qualidade do efluente após o tratamento. A Figura 10 apresenta uma comparação entre as amostras de águas cinzas bruta e tratada, evidenciando a redução da turbidez e a maior claridade do permeado obtido pelo sistema híbrido de tratamento.

Figura 10 - Aspecto visual das AC bruta (à esquerda) e tratada (à direita) após o processo eletroquímico associado à filtração por membranas



Fonte: Anjos (2026).

Apesar da melhoria observada nos parâmetros físico-químicos, a concentração de DBO_5 da água tratada ainda permaneceu acima dos limites recomendados pela ABNT NBR 16783 e dos valores mais restritivos estabelecidos pela EPA e pela ANA/FIESP/SindusCon-SP para usos Classe 1, indicando a necessidade de otimização do sistema para aumento da remoção de matéria orgânica. Além disso, embora não tenham sido obtidos resultados microbiológicos para a AC tratada, os elevados valores observados na AC bruta para coliformes fecais e coliformes totais evidenciam a importância do controle microbiológico para garantir a segurança sanitária do reúso.

Nesse contexto, considerando que as normativas avaliadas estabelecem a necessidade de desinfecção associada à manutenção de cloro residual, a implementação de uma etapa de cloração apresenta-se como uma possível melhoria do sistema, visando minimizar riscos de contaminação microbiológica e assegurar condições adequadas para usos com maior potencial de contato humano, como descargas sanitárias e lavagem de roupas. Estudos recentes indicam que a desinfecção por cloração constitui etapa necessária para o reúso seguro de águas cinzas tratadas, uma vez que sistemas de tratamento podem não ser suficientes para

atender isoladamente aos critérios microbiológicos exigidos para aplicações internas (PETOUI et al., 2023).

Observou-se aumento da concentração de alumínio após o tratamento, resultado que pode ser atribuído à utilização de eletrodos de alumínio no processo eletroquímico. Durante a eletrocoagulação, ocorre a dissolução anódica do eletrodo, promovendo a liberação de íons Al^{3+} para o meio líquido. De acordo com Santana (2018), a presença de alumínio residual na água tratada constitui uma das principais limitações associadas ao emprego desse material como eletrodo. Nesse contexto, os resultados obtidos evidenciam a necessidade de monitoramento desse parâmetro, especialmente em aplicações de reúso que exigem o atendimento a critérios específicos de qualidade da água.

5.2 ANÁLISE QUANTITATIVA

Os resultados referentes à quantificação das AC geradas na residência são apresentados na Tabela 2, incluindo os valores individuais de cada campanha, bem como a média e o desvio padrão obtidos para cada ponto de geração.

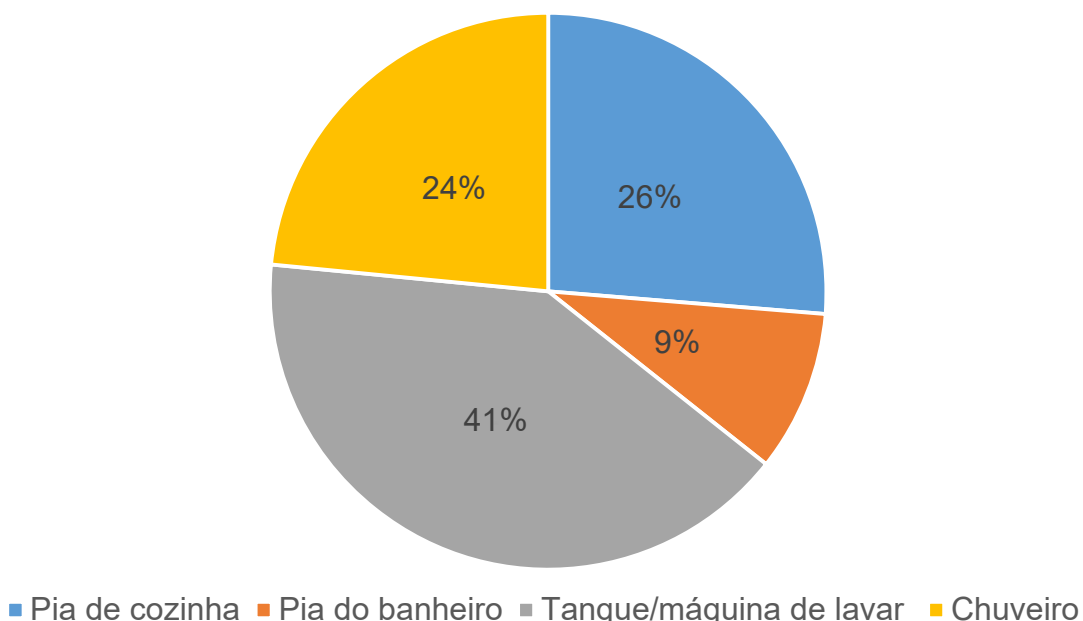
Tabela 2 - Resultados quantitativos das AC por ponto de geração

	Coleta 1 (L/d)	Coleta 2 (L/d)	Coleta 3 (L/d)	Média (L/d)	Desv. Pad. (L/d)
Pia de cozinha	58,00	40,00	41,00	46,33	10,12
Pia do banheiro	20,00	16,00	13,50	16,50	3,28
Tanque/máquina de lavar	71,00	65,00	80,00	72,00	7,55
Chuveiro	45,00	41,00	38,00	41,33	3,51
Total	194,00	162,00	172,50	176,17	16,31

Fonte: Elaboração própria (2026).

A partir dos volumes quantificados em cada ponto de coleta, foi determinada a participação relativa de cada fonte na geração total de AC na residência. Essa análise permite identificar os principais pontos contribuintes e compreender como o consumo de água se distribui entre os diferentes usos domésticos, servindo de base para a avaliação do potencial de reúso, essa distribuição pode ser observada na Figura 11.

Figura 11 - Participação percentual dos pontos de geração de AC



Fonte: Elaboração própria (2026).

A distribuição dos volumes de AC na residência estudada evidencia que o tanque e a máquina de lavar roupas combinados são os principais contribuintes, representando 41% do total gerado, seguido pela pia da cozinha (26%) e pelo chuveiro (24%), enquanto a pia do banheiro apresenta participação menos significativa (9%). Esse comportamento reflete tanto o volume demandado por determinadas atividades, como a lavagem de roupas, quanto a frequência de uso ao longo do dia. Resultados semelhantes foram observados por Menezes et al. (2011), que verificaram que a geração de águas cinzas tende a se concentrar em poucos grupos de atividades domésticas, embora com predominância do banheiro (41%), seguido da lavanderia (30%) e da cozinha (29%). As diferenças observadas entre os estudos podem estar associadas aos hábitos de consumo dos moradores e às características específicas de cada residência.

5.3 CONTRIBUIÇÃO DO REÚSO PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL

A avaliação quantitativa do potencial de reúso de AC permitiu estimar a contribuição do sistema para a redução do consumo de água potável na edificação estudada. Considerando o consumo *per capita* de água para o município de

Florianópolis, o consumo de água potável estimado para a edificação foi de 174,24 L/hab.dia.

A partir do monitoramento realizado na residência, foram coletados 528,50 L de AC ao longo de três dias de acompanhamento, considerando contribuições provenientes do chuveiro, pia do banheiro, máquina de lavar roupas, tanque e pia da cozinha. Com base nesses dados, estimou-se uma geração de AC de aproximadamente 88,08 L/hab.dia.

5.3.1 Cenário 1: Reúso para descarga da bacia sanitária

Os acionamentos da bacia sanitária foram monitorados ao longo de sete dias, sendo os resultados apresentados na Tabela 3. Durante o período analisado, observou-se média de aproximadamente 10 acionamentos diários na residência. Considerando a presença de dois moradores permanentes, obteve-se média de cerca de 5 acionamentos por habitante ao dia, gerando uma vazão de descarga de 30,0 L/hab.dia, valor compatível com o observado por Monteiro (2023).

Tabela 3 - Acionamento da descarga da bacia sanitária

Dia	Nº de descargas
1	10
2	12
3	10
4	11
5	9
6	10
7	11
Média	10,43
Desvio padrão	0,98

Fonte: Elaboração própria (2026).

Com a implementação do reúso de AC para a descarga da bacia sanitária, a vazão estimada de consumo de água potável na edificação foi reduzida para aproximadamente 144,24 L/hab.dia. Dessa forma, observou-se redução potencial de 17,22% no consumo de água potável da residência. Resultado semelhante foi obtido por Monteiro (2023), que verificou economia de 18,34% de água potável em uma residência unifamiliar por meio do aproveitamento de águas cinzas provenientes da máquina de lavar roupas para abastecimento das descargas das bacias sanitárias. A

proximidade entre os percentuais observados reforça o potencial dessa aplicação como estratégia de conservação da água em edificações residenciais.

5.3.2 Cenário 2: Reúso para descarga da bacia sanitária e máquina de lavar roupas

Além da utilização nas descargas sanitárias, foi avaliado um segundo cenário contemplando também o abastecimento da máquina de lavar roupas com AC tratadas. Considerando o abastecimento da máquina de lavar roupas com água de reúso, adotou-se o valor correspondente ao consumo da máquina com maior eficiência hídrica avaliada pelo Inmetro, equivalente a 77,7 L por ciclo de lavagem. Considerando a realização de 3 ciclos semanais e a presença de dois moradores permanentes da residência, estimou-se uma demanda média de aproximadamente 12,95 L/hab.dia para essa finalidade. Assim, ao considerar conjuntamente a demanda associada às descargas sanitárias e à máquina de lavar roupas, a vazão potencial de reúso estimada para a residência foi de 42,95 L/hab.dia.

Com a implementação do reúso de AC para esses usos não potáveis, a vazão estimada de consumo de água potável na edificação foi reduzida para aproximadamente 131,29 L/hab.dia. Dessa forma, observou-se redução potencial de 24,65% no consumo de água potável da residência, evidenciando o potencial do reúso de AC como estratégia para conservação hídrica e redução da demanda por água potável em edificações residenciais.

Resultados semelhantes foram observados na literatura. Em estudo desenvolvido por Ribeiro (2015), verificou-se que o uso exclusivo de AC em edificações residenciais possibilitou economia potencial de água potável equivalente a 19,4% do consumo total da habitação, enquanto sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e AC alcançaram potenciais médios de economia de até 41,9%. Os resultados obtidos no presente estudo indicam elevado potencial de redução do consumo de água potável, reforçando a viabilidade do reúso de AC como alternativa para diminuição da demanda sobre os sistemas de abastecimento urbano, especialmente em usos domésticos de elevada frequência, como descargas sanitárias e lavagem de roupas.

5.3.3 Comparação entre os cenários

A fim de sintetizar os resultados obtidos para os diferentes cenários de reúso avaliados, a Tabela 4 apresenta a comparação entre as demandas de água potável estimadas para a residência em condição convencional e após a implementação do reúso de AC para os usos considerados nos dois cenários estudados.

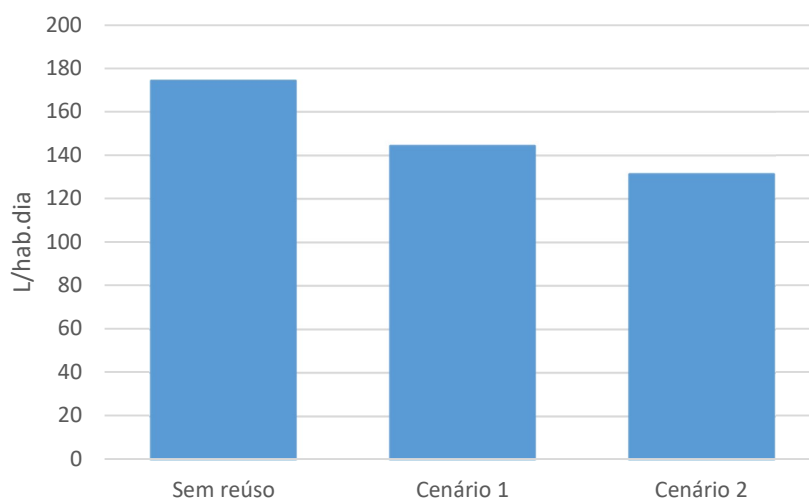
Tabela 4 - Comparação do consumo de água potável

Cenário	Consumo de água potável (L/hab.dia)	Redução (L/hab.dia)	Redução (%)
Sem reúso	174,24	-	-
Cenário 1	144,24	30,00	17,22
Cenário 2	131,29	42,95	24,65

Fonte: Elaboração própria (2026).

Observa-se que a inclusão da máquina de lavar roupas ampliou significativamente o aproveitamento das AC geradas na residência, elevando a redução do consumo de água potável de 17,22% para 24,65%, o que demonstra a influência direta da ampliação dos usos finais sobre o desempenho do sistema de reúso. Com o objetivo de facilitar a visualização das diferenças observadas entre os cenários analisados, a Figura 12 apresenta a comparação gráfica do consumo estimado de água potável na residência para cada condição avaliada.

Figura 12 - Comparação do consumo de água potável nos cenários avaliados



Fonte: Elaboração própria (2026).

Dessa forma, embora o cenário 1 apresente maior simplicidade operacional e menor necessidade de armazenamento da água de reúso, o cenário 2 proporciona

maior aproveitamento das AC geradas na residência e maior redução da dependência de água potável para usos não nobres.

Além da redução do consumo de água potável, a substituição parcial por AC tratadas também interfere na estimativa de geração de esgoto sanitário, aspecto avaliado no item seguinte.

5.4 REDUÇÃO DO VOLUME DE ESGOTO SANITÁRIO GERADO E IMPACTO SOBRE RECURSOS HÍDRICOS

A partir da estimativa do consumo de água potável da residência e considerando o coeficiente de retorno de esgoto adotado na metodologia, estimou-se uma geração total de esgoto sanitário de aproximadamente 278,78 L/dia para a edificação estudada em condição convencional, sem a implementação do reúso de AC.

5.4.1 Cenário 1: Reúso para descarga da bacia sanitária

A geração de esgoto sanitário na condição sem reúso foi estimada em 139,39 L/hab.dia. Considerando a substituição da água potável utilizada nas descargas sanitárias por AC tratadas, a geração estimada de esgoto sanitário foi reduzida para aproximadamente 115,39 L/hab.dia. Dessa forma, observou-se redução de cerca de 24,00 L/hab.dia na vazão de esgoto gerada pela residência, correspondendo a uma diminuição percentual de aproximadamente 17,22%.

5.4.2 Cenário 2: Reúso para descarga da bacia sanitária e máquina de lavar roupas

Com a adoção do sistema de reúso para abastecimento das descargas sanitárias e da máquina de lavar roupas, a geração estimada de esgoto sanitário foi reduzida para aproximadamente 105,03 L/hab.dia. Dessa forma, observou-se redução de cerca de 34,36 L/hab.dia na vazão de esgoto gerada pela residência, correspondendo a uma diminuição percentual de aproximadamente 24,65%.

Ribeiro (2015) verificou potencial de redução de esgoto de aproximadamente 40% em habitação com aproveitamento de AC, valor um pouco acima ao obtido no presente estudo. Esses resultados demonstram que a adoção de sistemas de reúso pode representar importante estratégia para diminuição da demanda sobre sistemas de esgotamento sanitário, além de contribuir para conservação dos recursos hídricos e mitigação de impactos ambientais associados ao lançamento de efluentes.

5.4.3 Comparação entre os cenários

Considerando que a redução do consumo de água potável influencia diretamente a geração de esgoto sanitário, a Tabela 5 apresenta a comparação das vazões estimadas de esgoto para os cenários com e sem a implementação do reúso de AC.

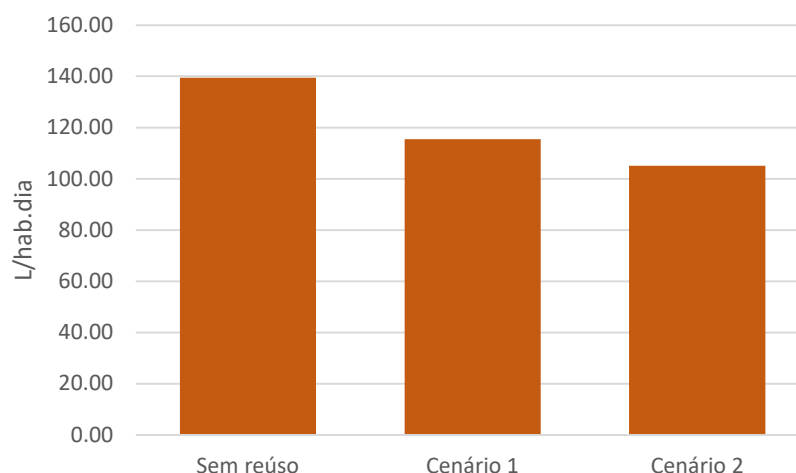
Tabela 5 - Comparação da geração de esgoto

Cenário	Geração de esgoto (L/hab.dia)	Redução (L/hab.dia)	Redução (%)
Sem reúso	139,39	-	-
Cenário 1	115,39	24,00	17,22
Cenário 2	105,03	34,36	24,65

Fonte: Elaboração própria (2026).

A análise comparativa evidencia que ambos os cenários contribuem para a redução da geração de esgoto sanitário. Entretanto, o cenário 2 apresenta desempenho superior em razão da maior parcela do consumo de água potável substituída por água de reúso. A comparação gráfica da geração de esgoto nos três cenários avaliados é apresentada na Figura 13.

Figura 13 - Comparação da geração de esgoto nos cenários avaliados



Fonte: Elaboração própria (2026).

Os resultados obtidos evidenciam que o reúso de AC, além de contribuir para a redução do consumo de água potável, também apresenta potencial significativo para diminuição da carga hidráulica encaminhada aos sistemas de tratamento e disposição final de efluentes. Esse aspecto torna-se especialmente relevante no contexto da residência estudada, localizada em região sem atendimento por rede coletora de esgoto e dependente de sistema individual composto por tanque séptico, filtro e sumidouro. Nesses casos, a redução da geração de efluentes pode contribuir para minimizar a sobrecarga hidráulica do sistema, diminuindo potenciais impactos associados à infiltração excessiva de efluentes no solo e aos riscos de contaminação das águas subterrâneas.

5.5 SÍNTESE INTEGRADA E IMPLICAÇÕES PARA APLICAÇÃO PRÁTICA

Os resultados obtidos demonstram que o reúso de AC possui potencial relevante como estratégia complementar para promoção da sustentabilidade hídrica em edificações residenciais, contribuindo simultaneamente para a redução da demanda por água potável e para a diminuição da geração de efluentes domésticos. A avaliação dos cenários propostos evidenciou que tanto a utilização das AC tratadas para abastecimento exclusivo das descargas sanitárias quanto sua aplicação conjunta nas descargas sanitárias e na máquina de lavar roupas podem proporcionar benefícios ambientais significativos, ainda que em diferentes magnitudes. Enquanto o primeiro cenário apresenta uma alternativa mais simples para implantação e

operação, o segundo possibilita maior aproveitamento das AC geradas na residência e potencializa os ganhos associados à conservação dos recursos hídricos.

Além dos resultados quantitativos obtidos, a literatura destaca vantagens ambientais e operacionais associadas ao reúso de AC. Oliveira e Alves (2020) apontam que sistemas de reúso contribuem para a conservação de mananciais e para o melhor aproveitamento da infraestrutura hídrica, ao permitirem múltiplos usos da água antes de sua disposição final. Moura et al. (2022) também destacam que o reúso pode reduzir o consumo de energia e produtos químicos associados ao tratamento convencional de esgoto doméstico.

Em relação ao desempenho do sistema de tratamento, os resultados demonstraram que o sistema híbrido empregado apresentou elevada eficiência na remoção de parâmetros como turbidez e matéria orgânica, produzindo efluente com potencial para aplicações não potáveis em edificações urbanas. Entretanto, observou-se a necessidade de aprimoramento do sistema, especialmente em relação ao controle microbiológico e à adequação completa aos parâmetros mais restritivos estabelecidos pelas normativas avaliadas, indicando a importância da inclusão de etapa complementar de desinfecção com manutenção de cloro residual.

Sob a perspectiva social e ambiental, o reúso de AC também pode contribuir para maior conscientização quanto ao uso racional da água e para ampliação da segurança hídrica em períodos de escassez. Moura et al. (2022) destacam que, além dos benefícios para o setor hídrico, o reúso pode proporcionar economia financeira aos usuários e maior resiliência no abastecimento em cenários de baixa disponibilidade hídrica. Dessa forma, os resultados obtidos reforçam a viabilidade e a relevância da aplicação de sistemas de reúso de AC em edificações residenciais como alternativa complementar para promoção da sustentabilidade hídrica, sendo que a escolha entre os cenários avaliados deve considerar os objetivos de economia de água, a disponibilidade de infraestrutura e o nível de aproveitamento das AC desejado.

Dessa forma, os resultados obtidos atendem aos objetivos propostos neste trabalho, demonstrando que o reúso de AC tratadas apresenta potencial para contribuir com a sustentabilidade hídrica em edificações residenciais, tanto sob a perspectiva da conservação da água potável quanto da redução da geração de efluentes.

5.6 ANÁLISE SWOT

Com o objetivo de complementar as análises quantitativas e qualitativas realizadas neste estudo, foi aplicada uma análise SWOT para identificar os principais fatores que podem influenciar a implantação de um sistema de reúso de AC na residência estudada. Os aspectos avaliados foram definidos a partir dos resultados obtidos e das características do sistema proposto, sendo posteriormente submetidos à avaliação de especialistas. O Quadro 2 apresenta a síntese dos aspectos considerados em cada uma das categorias da análise SWOT.

Quadro 2 - Aspectos avaliados na análise SWOT

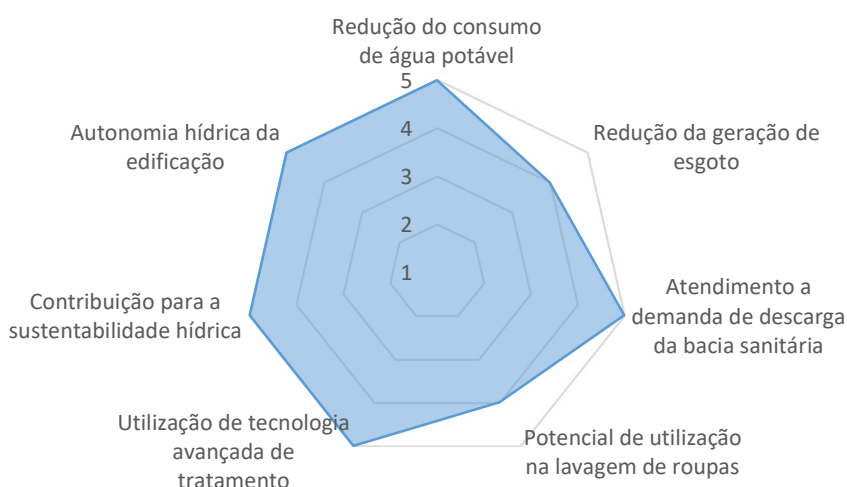
Categoria	Aspecto
Forças	Redução do consumo de água potável
	Redução da geração de esgoto
	Atendimento a demanda de descarga da bacia sanitária
	Potencial de utilização na lavagem de roupas
	Utilização de tecnologia avançada de tratamento
	Contribuição para a sustentabilidade hídrica
	Autonomia hídrica da edificação
Fraquezas	Necessidade de segregação das AC
	Custos de implantação do sistema
	Necessidade de manutenção
	Consumo de energia elétrica
	Qualidade do efluente gerado
	Risco ao usuário
	Monitoramento da qualidade da água de reúso
Oportunidades	Crescente preocupação com a escassez hídrica
	Avanços tecnológicos no tratamento de efluentes
	Expansão de políticas de uso racional da água
	Potencial criação de incentivos governamentais
	Possibilidade de ampliação da regulamentação
	Aumento das tarifas de abastecimento de água
	Valorização da edificação pela adoção de soluções sustentáveis
Ameaças	Ausência de legislação específica sobre o tema
	Ausência de critérios padronizados para implantação e operação
	Resistência dos usuários
	Ausência de incentivos financeiros e políticas públicas específicas
	Baixa disponibilidade de equipamentos especializados
	Escassez de profissionais especializados em sistemas descentralizados
	Escassez de profissionais especializados em processos eletroquímicos

Fonte: Elaboração própria (2026).

5.6.1 Forças

As forças identificadas estão associadas aos principais benefícios internos proporcionados pela implantação do sistema de reúso de AC. Conforme apresentado na Figura 14, os especialistas atribuíram relevância máxima à redução do consumo de água potável, à autonomia hídrica da edificação, à contribuição para a sustentabilidade hídrica, à utilização de tecnologia avançada de tratamento e ao atendimento da demanda de descarga da bacia sanitária.

Figura 14 - Resultado da análise SWOT: Forças



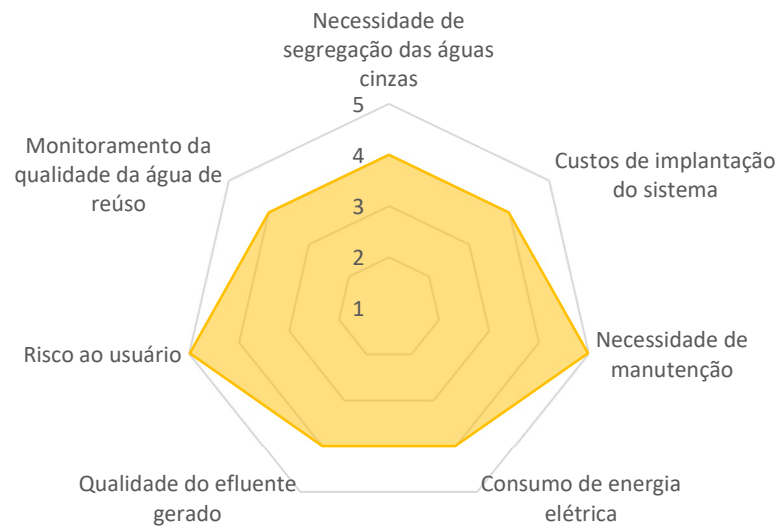
Fonte: Elaboração própria (2026).

A redução da geração de esgoto e o potencial de utilização na lavagem de roupas também foram considerados relevantes. De modo geral, os resultados evidenciam que os benefícios ambientais, hídricos e operacionais do sistema foram amplamente reconhecidos pelos especialistas.

5.6.2 Fraquezas

As fraquezas identificadas estão relacionadas principalmente aos desafios operacionais e de segurança associados à implantação do sistema. Conforme apresentado na Figura 15, os riscos associados à exposição do usuário e a necessidade de manutenção receberam relevância máxima pelos especialistas, evidenciando a importância do adequado controle operacional e sanitário do sistema.

Figura 15 - Resultado da análise SWOT: Fraquezas



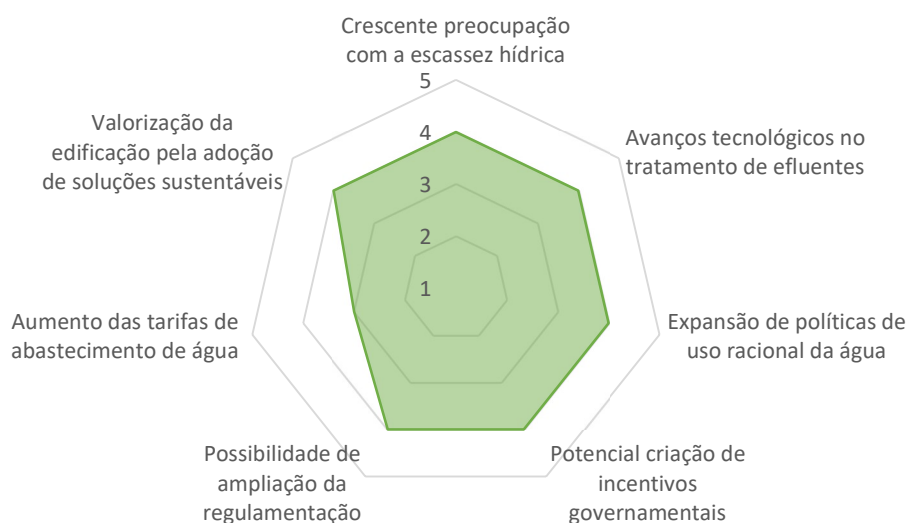
Fonte: Elaboração própria (2026).

Os demais aspectos avaliados, incluindo o monitoramento da qualidade da água de reúso, a necessidade de segregação das AC, os custos de implantação, a qualidade do efluente gerado e o consumo de energia elétrica, também foram considerados relevantes. Dessa forma, observa-se que as principais limitações identificadas estão associadas à segurança sanitária e ao acompanhamento contínuo do sistema.

5.6.3 Oportunidades

As oportunidades identificadas refletem fatores externos que podem favorecer a adoção de sistemas de reúso de AC em edificações residenciais. Conforme apresentado na Figura 16, destacaram-se a valorização da edificação pela adoção de soluções sustentáveis, a crescente preocupação com a escassez hídrica, os avanços tecnológicos no tratamento de efluentes, a expansão de políticas de uso racional da água, o potencial de criação de incentivos governamentais e a possibilidade de ampliação da regulamentação.

Figura 16 - Resultado da análise SWOT: Oportunidades



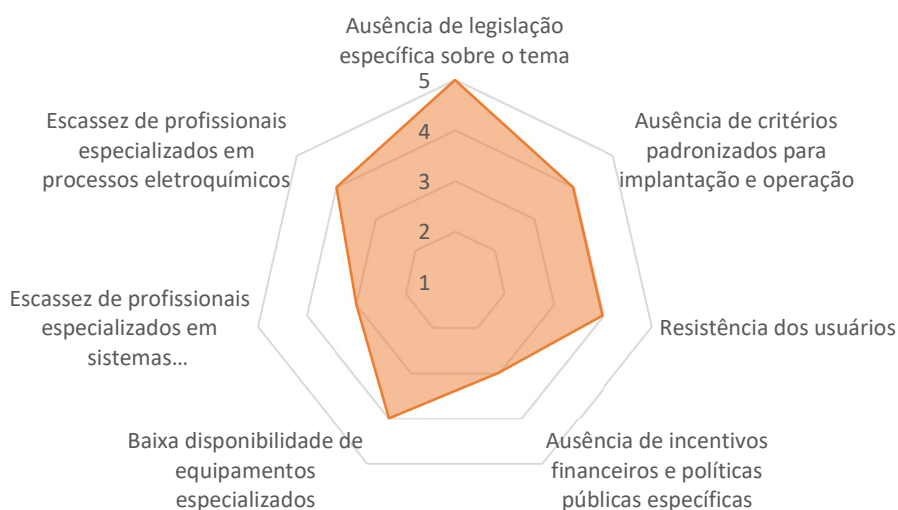
Fonte: Elaboração própria (2026).

O aumento das tarifas de abastecimento de água também foi considerado um fator favorável, embora com menor relevância em comparação aos demais aspectos. De modo geral, os resultados indicam que, embora nenhuma oportunidade tenha recebido relevância máxima, a maior parte dos aspectos avaliados foi considerada relevante, evidenciando um cenário externo favorável à ampliação do reúso de AC.

5.6.4 Ameaças

As ameaças identificadas estão relacionadas principalmente a limitações regulatórias que podem dificultar a expansão do reúso de AC. Conforme apresentado na Figura 17, a ausência de legislação específica sobre o tema foi o aspecto que recebeu a maior avaliação pelos especialistas, evidenciando a importância da segurança regulatória para a adoção desses sistemas. Também foram considerados relevantes a escassez de profissionais especializados em processos eletroquímicos, a ausência de critérios padronizados para implantação e operação, a resistência dos usuários e a baixa disponibilidade de equipamentos especializados.

Figura 17 - Resultado da análise SWOT: Ameaças



Fonte: Elaboração própria (2026).

Já a escassez de profissionais especializados em sistemas descentralizados e a ausência de incentivos financeiros e políticas públicas específicas foram classificadas como aspectos razoavelmente relevantes. Os resultados evidenciam que, entre as ameaças avaliadas, os entraves regulatórios se destacam como o principal fator limitante, reforçando a necessidade de normas mais específicas e critérios técnicos padronizados para implantação e operação desses sistemas.

5.6.5 Síntese: Análise SWOT

A análise SWOT permitiu avaliar de forma integrada os principais fatores que influenciam a implantação do sistema de reúso de AC na residência estudada. Os resultados evidenciaram predominância de avaliações positivas associadas às forças e oportunidades do sistema, indicando um cenário favorável à adoção da tecnologia, desde que sejam considerados os desafios operacionais, técnicos e regulatórios identificados.

Entre os aspectos mais relevantes destacaram-se a redução do consumo de água potável, a contribuição para a sustentabilidade hídrica e a autonomia hídrica da edificação, benefícios que foram corroborados pelos resultados quantitativos obtidos neste estudo. Por outro lado, fatores relacionados à operação do sistema, ao

monitoramento da qualidade da água de reúso e à ausência de regulamentação específica foram identificados como os principais desafios para sua implementação e expansão.

De modo geral, os resultados indicam que o reúso de AC apresenta potencial para contribuir com a gestão sustentável dos recursos hídricos em edificações residenciais. Entretanto, sua ampla disseminação depende de avanços regulatórios, da consolidação de critérios técnicos para implantação e operação dos sistemas, da ampliação do conhecimento técnico sobre a tecnologia e da maior aceitação dos usuários em relação ao uso de água de reúso.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que o sistema híbrido de tratamento, baseado na associação entre processos eletroquímicos e filtração por membranas, promoveu melhorias significativas na qualidade das AC, com destaque para a elevada redução da turbidez e da matéria orgânica. Apesar do desempenho observado, a comparação com diretrizes normativas e técnicas aplicáveis ao reúso não potável indicou que alguns parâmetros ainda não atenderam integralmente a alguns critérios, evidenciando a necessidade de aperfeiçoamentos e da adoção de processos de desinfecção para ampliação da segurança sanitária. Ressalta-se, ainda, que o escalonamento do sistema pode contribuir para o aprimoramento da qualidade do efluente tratado e para o atendimento aos padrões de qualidade requeridos para o reúso.

Sob a perspectiva quantitativa, verificou-se que a geração de AC na residência estudada foi suficiente para atender às demandas avaliadas de reúso. A utilização desse recurso para abastecimento de descargas sanitárias apresentou potencial relevante de economia de água potável, resultado que se tornou ainda mais expressivo quando associada ao uso na máquina de lavar roupas. Entre os cenários analisados, a combinação dessas duas aplicações apresentou os maiores benefícios, proporcionando redução de 24,65% do consumo de água potável e, consequentemente, da parcela de esgoto associada ao consumo de água de abastecimento.

Além dos benefícios quantitativos observados, os resultados evidenciaram que a adoção do reúso de AC pode contribuir para a redução da pressão sobre os

mananciais de abastecimento e para a diminuição da carga hidráulica encaminhada aos sistemas de tratamento centralizados e disposição final de efluentes. Em localidades com baixa cobertura de esgotamento sanitário e predominância de sistemas individuais, como a área de estudo, esses benefícios tornam-se ainda mais relevantes, uma vez que podem contribuir para a mitigação dos impactos ambientais associados ao lançamento e à infiltração de efluentes.

A análise SWOT permitiu complementar essa avaliação ao evidenciar que a implantação do reúso de AC apresenta importantes pontos favoráveis, especialmente relacionados à conservação da água, à redução da geração de esgoto e ao alinhamento com práticas sustentáveis cada vez mais valorizadas no contexto urbano. Por outro lado, foram identificados desafios associados aos custos de implantação e manutenção, à necessidade de infraestrutura específica, à limitada disponibilidade de profissionais especializados e à ausência de critérios normativos mais consolidados para projeto, operação e monitoramento desses sistemas.

Como perspectivas para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de estudos que contemplem a avaliação da viabilidade econômica da implantação de sistemas de reúso de águas cinzas, incluindo estimativas dos custos de implementação, operação e manutenção, bem como análises de retorno do investimento. Tais informações podem contribuir para uma compreensão mais abrangente da aplicabilidade desses sistemas e subsidiar a tomada de decisão quanto à sua adoção em edificações residenciais.

Dessa forma, conclui-se que o reúso de AC apresenta potencial para contribuir de maneira significativa para a sustentabilidade hídrica em edificações residenciais, promovendo a conservação da água potável e a redução dos impactos associados à geração de efluentes. Entretanto, a ampliação de sua aplicação depende não apenas do aprimoramento tecnológico dos sistemas de tratamento, mas também do fortalecimento do arcabouço normativo e do desenvolvimento de instrumentos que proporcionem maior segurança técnica e regulatória para sua implementação.

REFERÊNCIAS

- ABIT JR., S. M. **Gray Water Reuse**. Oklahoma State University Extension, 2023. Disponível em: <<https://extension.okstate.edu/fact-sheets/gray-water-reuse.html>>. Acesso em: abril de 2026.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Caderno de Recursos Hídricos 2. Brasília, 2007.
- ALEXANDRE, E. C. F.; CASTRO, M. L. L.; PESQUERO, M. A. **Caracterização e tratamento de águas cinza com fins não potáveis**. Revista de Biotecnologia & Ciência, v. 2, n. 2, p. 106 - 116, 2013.
- ANA; FIESP; SINDUSCON-SP. **Conservação e reúso da água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.
- ANJOS, L. A. dos et al. **Reúso de águas cinzas em edificações urbanas visando a sustentabilidade hídrica**: análise quantitativa, qualitativa e tecnológica. ABES, 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16783**: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17076**: Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte: requisitos. Rio de Janeiro, 2024.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, 1997.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático**: Serviços de Água e Esgoto, 2022. Brasília, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>>. Acesso em: setembro de 2025.
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA)**. Painel de indicadores – abastecimento de água e esgotamento sanitário: Florianópolis (SC), ano base 2022. 2023. Disponível em: <https://app-hmg.cidades.gov.br/indicadores-sinisa/web/agua_esgoto/mapa-agua?codigo=4205407>. Acesso em: abril de 2026.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Reúso da água**. São Paulo, 2024. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/agua/reuso-de-agua/>>. Acesso em: novembro de 2025.

CNRH – CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece diretrizes gerais para o reúso direto não potável de água. Brasília, 2005.

COSTA, R. de O. **Tratamento de água cinza visando o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021.

DE QUEIROZ, A. Q. A.; MACIEL, G. S. A.; MELO, B. L.; ALVES, L. B.; CAVALCANTE, R. F. **Análise de desempenho do uso de tecnologia eletrolítica no tratamento de efluentes domésticos**: uma revisão sistemática da literatura. Revista Semiárido De Visu, v. 12, n. 3, p. 1559-1572, 2024.

DOCE LIMÃO. **A água no mundo e sua escassez no Brasil**. 2015. Disponível em: <<https://www.docelimao.com.br/site/de-bem-com-o-planeta/planeta-terra/2174-a-agua-no-mundo-e-sua-escassez-no-brasil.html>>. Acesso em: abril de 2026.

EU WATER DIRECTORS. **Guidelines on integrating water reuse into water planning and management in the context of the Water Framework Directive**. 2016.

FABRÍCIO, A. G. **Implantação de sistema de reúso de águas cinzas em condomínio residencial**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Christus, Fortaleza, 2020.

FIESC – Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina. **É preciso limpar o terreno**. 2023. Disponível em: <<https://fiesc.com.br/pt-br/imprensa/e-preciso-limpar-o-terreno>>. Acesso em: abril de 2026.

FIGUEIREDO, I. C. S. et al. **Águas cinzas em domicílios rurais**: separação na fonte, tratamento e caracterização. Revista DAE, São Paulo, vol. 67, n. 220, p. 141-156, 2019.

HESPAHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil**: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 4, pg. 75-95, 2002.

Instituto Água e Saneamento. **O saneamento em Florianópolis (SC)**. Município e Saneamento, 2024. Disponível em: <<https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/sc/florianopolis>>. Acesso em: setembro de 2025.

MAESTRI, R. S. et al. **Sustentabilidade hídrica no sul de Santa Catarina: avaliação das potencialidades e desafios para o reúso da água**. Revista DAE, São Paulo, v. 73, n 248, p. 01-16, 2025.

MALDONADO, A. P. **Implementação de sistemas de reúso de águas cinzas em uma edificação de médio porte**: estudo de caso em um edifício em Florianópolis/SC. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

MASTER AMBIENTAL. **Alternativas individuais para tratar esgoto são cada vez mais viáveis**. 2014. Disponível em: <<https://www.masterambiental.com.br/noticias/agua-saneamento/alternativas-individuais-para-tratar-esgoto-sao-cada-vez-mais-viaveis/>>. Acesso em: abril de 2026.

MEDEIROS, C. K.; RUFFINO, I. A. A.; ARAGÃO, R. **Consumo de água e crescimento urbano**: análises espaciais e relações possíveis. Urbe: Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 16, e20230039, 2024.

MENEZES, C. dos S. de; FILHO, F. J. C. M.; PAULO, P. L. **Quantificação de águas residuárias para reúso na perspectiva do saneamento ecológico**. XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011, Maceió. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=11522>>. Acesso em: junho de 2026.

MONITORA EE. **Dicas de eficiência para as máquinas de lavar roupas**. 2020. Disponível em: <<https://monitoree.org.br/ee-em-casa2>>. Acesso em: maio 2026.

MONTEIRO, P. A. M. **Viabilidade do reúso de águas cinzas para fins não potáveis em residências unifamiliares à luz dos parâmetros técnicos e requisitos legais no Brasil**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

MORAIS, R. T. L.; OLIVEIRA, P. P. **Sistemas de tratamento de águas cinzas**: diferentes métodos de tratamento. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.05, 2024.

MOREIRA, F. G. **Pós-tratamento físico-químico de efluente sanitário proveniente de reator UASB**. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/41489/1/Pos-TratamentoFísico.pdf>> Acesso em: outubro de 2025.

MOTA, F. S. B. **Reuso de águas no Brasil**: situação atual e perspectivas. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica, v. 15, n. 2, p. 666-684, 2022.

MOURA, T. P. A.; ANDRADE, R. C.; VERNIN, N. S.; NETTO, A. T. **Principais dispositivos legais e institucionais disponíveis no Brasil para reúso não potável de águas cinzas**. Revista Gestão de Água da América Latina, Porto Alegre, v. 19, e25, 2022.

OLIVEIRA, L. M. de; ALVES, L. A. **Estudo sobre modalidades de reaproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas para uso residencial**. Revista Boletim do Gerenciamento, Rio de Janeiro, n. 13, p. 10-20, 2020.

PETOUSI, I.; THOMAI, V.; KALOGERAKIS, N.; FOUNTOULAKIS, M. S. **Removal of pathogens from greywater using green roofs combined with chlorination**. Environmental Science and Pollution Research, v. 30, p. 22560–22569, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11356-022-23755-6>>. Acesso em: junho de 2026.

PORTER, E. **Laundry problems and water quality**. University of Idaho, College of Agriculture, Cooperative Extension System, Agricultural Experiment Station, 1991. Disponível em: <<https://objects.lib.uidaho.edu/uiext/uiext30351.pdf>>. Acesso em: junho de 2026.

RAINHARVEST. **5 things you should know about greywater systems**. 2014. Disponível em: <<https://www.rainharvest.co.za/2014/10/5-things-you-should-know-about-greywater-systems/>>. Acesso em: abril de 2026.

RIBEIRO, A. K. M. **Método para avaliação do impacto ambiental da implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza em residências unifamiliares a partir da análise do ciclo de vida**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SANTANA, M. M. de. **Avaliação da eletrocoagulação como pré-tratamento de efluente de uma indústria de panificação**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

SOLUÇÕES PARA CIDADES. **Passo a passo: água de chuva**. 2015. Disponível em: <<https://www.solucoeparacidades.com.br/blog/passo-a-passo-agua-de-chuva/>>. Acesso em: abril de 2026.

TERCETTI, R. L.; ROSSONI, H. A. V. **O reúso industrial de água residuária tratada: o estado da arte por meio de uma revisão sistemática de literatura**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 9, n. 23, p. 1383-1398, 2022.

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008. Disponível em: <<https://revistas.usp.br/eav/article/view/10295>>. Acesso em: novembro de 2025.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **National Water Reuse Action Plan (WRAP)**. Washington, 2020.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Reuse of effluents: methods and guidelines**. Geneva: WHO, 1973.

Categoria	Aspecto	Descrição	Esp. 1	Esp. 2	Esp. 3	Esp. 4	Esp. 5	Esp. 6	Esp. 7	Esp. 8	Esp. 9	Total	Média	Resultado
Fraquezas	Necessidade de segregação das águas cinzas	A implantação do sistema exige modificações hidráulicas para coleta separada das águas cinzas da residência.	5	5	5	5	2	5	4	4	5	40	4	Aspecto relevante
	Custos de implantação do sistema	As modificações hidráulicas, instalação de unidades de tratamento e reservatórios aumenta o investimento inicial.	4	5	5	5	5	4	4	4	2	38	4	Aspecto relevante
	Necessidade de manutenção	O desempenho do sistema depende da realização de limpezas e reposição de cloro periódica para garantir a qualidade da água de reúso.	3	5	5	5	5	4	5	5	4	41	5	Aspecto muito relevante
	Consumo de energia elétrica	O processo eletroquímico depende de energia elétrica para manter o sistema de tratamento funcionando.	3	5	5	5	4	5	3	4	5	39	4	Aspecto relevante
	Qualidade do efluente gerado	Variações dos hábitos dos moradores e dos produtos utilizados podem alterar a qualidade das águas cinzas coletadas.	4	5	4	5	4	4	2	4	2	34	4	Aspecto relevante
	Risco ao usuário	A operação e manutenção inadequada da água de reúso ou dos componentes do sistema pode resultar em exposição a contaminantes e riscos sanitários.	5	5	4	5	2	5	5	5	5	41	5	Aspecto muito relevante
	Monitoramento da qualidade da água de reúso	O reúso seguro exige o acompanhamento periódico dos parâmetros de qualidade do efluente tratado.	3	5	5	4	3	4	4	5	2	35	4	Aspecto relevante
Oportunidades	Crescente preocupação com a escassez hídrica	O aumento da demanda por água reforça a busca por soluções alternativas de abastecimento.	3	5	5	5	4	4	5	4	5	40	4	Aspecto relevante
	Avanços tecnológicos no tratamento de efluentes	O desenvolvimento de novas tecnologias tende a aumentar a eficiência a reduzir custos dos sistemas de reúso.	2	5	5	5	4	5	4	3	5	38	4	Aspecto relevante

Categoria	Aspecto	Descrição	Esp. 1	Esp. 2	Esp. 3	Esp. 4	Esp. 5	Esp. 6	Esp. 7	Esp. 8	Esp. 9	Total	Média	Resultado
	Expansão de políticas de uso racional da água	Incentivos públicos à adoção do reúso de águas cinzas favorecem a conservação dos recursos hídricos e o uso racional da água.	3	5	4	4	4	5	3	4	5	37	4	Aspecto relevante
	Potencial criação de incentivos governamentais	Benefícios fiscais e programas ambientais podem favorecer a implantação de sistemas de reúso.	4	5	5	5	5	4	4	3	5	40	4	Aspecto relevante
	Possibilidade de ampliação da regulamentação	O desenvolvimento de normas específicas pode proporcionar maior segurança para a adoção do reúso.	3	5	5	4	3	5	5	5	5	40	4	Aspecto relevante
	Aumento das tarifas de abastecimento de água	O aumento dos custos associados ao abastecimento público pode aumentar a atratividade econômica dos sistemas de reúso de águas cinzas, ampliando o potencial de economia financeira para os usuários.	4	3	2	2	3	4	2	3	5	28	3	Aspecto razoavelmente relevante
	Valorização da edificação pela adoção de soluções sustentáveis	A incorporação de tecnologias voltadas ao uso racional da água pode agregar valor ao imóvel e atender à crescente demanda por edificações mais sustentáveis.	2	5	4	3	4	4	3	3	5	33	4	Aspecto relevante
Ameaças	Ausência de legislação específica sobre o tema	A falta de regulamentação gera insegurança para a implantação e operação de sistemas de reúso.	4	5	5	5	5	4	5	5	5	43	5	Aspecto muito relevante
	Ausência de critérios padronizados para implantação e operação	A falta de diretrizes consolidadas para projeto, operação e monitoramento de sistemas de reúso pode dificultar sua implementação segura e padronizada.	3	5	5	5	5	5	3	5	4	40	4	Aspecto relevante
	Resistência dos usuários	Aspectos culturais e percepção de riscos podem limitar aceitação da utilização de água de reúso.	2	5	5	4	2	4	4	4	5	35	4	Aspecto relevante
	Ausência de incentivos financeiros e	A inexistência de programas de incentivo e mecanismos de apoio governamental pode limitar a adoção	1	5	5	4	2	4	2	3	5	31	3	Aspecto razoavelmente relevante

Categoria	Aspecto	Descrição	Esp. 1	Esp. 2	Esp. 3	Esp. 4	Esp. 5	Esp. 6	Esp. 7	Esp. 8	Esp. 9	Total	Média	Resultado
	políticas públicas específicas	de sistemas de reúso de águas cinzas.												
	Baixa disponibilidade de equipamentos especializados	A limitada oferta de equipamentos e peças de reposição para sistemas avançados de tratamento pode dificultar a implantação e manutenção do reúso de águas cinzas.	4	5	5	5	4	5	2	5	1	36	4	Aspecto relevante
	Escassez de profissionais especializados em sistemas descentralizados	A limitada disponibilidade de profissionais qualificados para projetar, instalar, operar e realizar a manutenção de sistemas descentralizados de reúso pode dificultar sua disseminação e funcionamento adequado.	4	5	5	2	2	5	2	4	2	31	3	Aspecto razoavelmente relevante
	Escassez de profissionais especializados em processos eletroquímicos	A operação, manutenção e dimensionamento de sistemas de reúso envolvendo processos eletroquímicos e filtração por membranas demandam conhecimento técnico específico, cuja disponibilidade ainda é limitada no mercado.	5	5	5	4	3	5	2	5	4	38	4	Aspecto relevante