



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

WALESKA MARTINS FERNANDES MELO

**FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES: PERSPECTIVAS E
DESAFIOS**

JOÃO PESSOA

2024

WALESKA MARTINS FERNANDES MELO

**FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES: PERSPECTIVAS E
DESAFIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal da
Paraíba, Campus I, João Pessoa-PB, como
requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde
Junior

JOÃO PESSOA

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M528f Melo, Waleska Martins Fernandes.

Fontes alternativas de água em edificações:
perspectivas e desafio / Waleska Martins Fernandes
Melo. - João Pessoa, 2024.
57 f. : il.

Orientação: Gilson Barbosa Athayde Junior.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Fontes alternativas de água. 2. Uso racional. 3.
Escassez hídrica. I. Athayde Junior, Gilson Barbosa.
II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 62(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

WALESKA MARTINS FERNANDES MELO

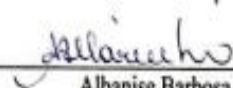
FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES: PERSPECTIVAS E DESAFIOS

Trabalho de Conclusão de Curso em 09/05/2024 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Gilson Barbosa Athayde Junior
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Albanise Barbosa Marinho
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Aline Flávia Nunes Remigio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me sustentado até aqui, sem Ele eu nada seria.

Aos meus pais, Wanessa e José Gomes, por todo apoio, incentivo e por sempre terem acreditado em mim.

A minhas irmãs, Eduarda, Esther e Heloisa, por trazerem sempre a alegria e iluminarem a minha vida.

A minha namorada, Maria Olivia, pelo amor, conforto e incentivo de todas as horas. Por tanto acreditar em mim. Por ser meu porto seguro em todos os momentos.

Aos amigos que ganhem na graduação, por cada momento de diversão e apoio durante a correria do dia a dia. A força de vocês foi essencial para minha chegada até aqui.

Aos meus professores que tive ao longo do ensino fundamental, médio e graduação, cujo conhecimento transmitido foi fundamental para o meu desenvolvimento e me ajudou a alcançar o ponto em que me encontro hoje.

Ao professor e orientador, Gilson Barbosa, por ter aceitado me ajudar nesse trabalho, pela paciência e atenção dada.

RESUMO

O aumento populacional exerce uma pressão significativa sobre os recursos hídricos, aumentando a demanda pela água potável que vem resultando em uma escassez hídrica global. A escassez da água é um desafio global e persistente, e no Brasil, apesar de ter uma das maiores reservas hídricas do mundo, há grandes disparidades em sua distribuição. Diante desse cenário, surge a necessidade de uma maior valorização do uso racional da água, destacando-se o emprego de fontes alternativas de água, como água da chuva, águas cinzas e água de condensação de ar-condicionado, que estão ganhando destaque como soluções viáveis economicamente e ambientalmente. O objetivo do presente trabalho buscou realizar uma revisão bibliográfica e apresentar as variadas fontes alternativas de águas, sendo elas: água de chuva, água cinza e água de condensação de ar condicionado, para uso não potável em edificações e mostrar sua viabilidade econômica, qualidade da água e quantidade geradas por cada uma das modalidades citadas. Este estudo adota uma abordagem descritiva, fundamentada na revisão de diversas fontes de literatura, incluindo artigos científicos, dissertações, teses e livros relacionados ao tema em questão.

Palavras-chave: Fontes alternativas de água; uso racional; escassez hídrica.

ABSTRACT

The increase in population exerts significant pressure on water resources, increasing the demand for potable water, resulting in global water scarcity. Water scarcity is a global and persistent challenge, and in Brazil, despite having one of the largest water reserves in the world, there are significant disparities in its distribution. Faced with this scenario, there is a need for greater appreciation of the rational use of water, highlighting the use of alternative water sources such as rainwater, greywater, and air conditioning condensate, which are gaining prominence as economically and environmentally viable solutions. The objective of this study was to conduct a literature review and present various alternative water sources, including rainwater, greywater, and air conditioning condensate, for non-potable use in buildings, and to demonstrate their economic viability, water quality, and quantity generated by each of the mentioned modalities. This study adopts a descriptive approach, based on the review of various literature sources, including scientific articles, dissertations, theses, and books related to the subject.

Keywords: Alternative water sources; rational use; water scarcity

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1- Retirada de Água no Brasil em 2019.....	12
Figura 2 - Esquema do funcionamento do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais com reservatório de autolimpeza	19
Figura 3 - Área de coleta – telhado inclinado: comprimento x largura.....	20
Figura 4 - Área de coleta – telhado plano (laje): comprimento x largura	20
Figura 5 - Área de coleta – telhado e pátio: comprimento x largura.....	21
Figura 6 - Fatores determinantes para implantação de um sistema de reuso de águas cinzas	30
Figura 7- Esquema do sistema de reúso de águas cinzas em edificações	32
Figura 8 - Funcionamento de um aparelho de ar condicionado	44
Figura 9 - Sistema de condensação de água na serpentina do condicionador de ar	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo médio per capita de água por região geográfica do Brasil.....	13
Tabela 2 – Parâmetros de qualidade da água para reúso segundo a NBR 13969/1997	16
Tabela 3 - Parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis	23
Tabela 4 - Resultados da caracterização das águas pluviais obtidos em diferentes pesquisas	24
Tabela 5 - Características físicas, químicas e bacteriológicas das águas cinzas originadas em banheiros no Sul do Brasil.....	36
Tabela 6 - Caracterização de águas cinzas não tratadas.....	39
Tabela 7 - Valores de referência para produção e demanda de sistemas de reúso de águas cinzas na Grã-Bretanha.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Riscos da utilização de águas cinzas sem tratamento.....	34
Quadro 2 – Sistema de tratamento em função dos usos potenciais e fontes alternativas de água.....	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. CONSUMO, CONSERVAÇÃO E REÚSO DA ÁGUA NO MEIO URBANO	12
2.1. CONSUMO DE ÁGUA.....	12
2.2. CONSERVAÇÃO DA ÁGUA	13
2.3. REÚSO DE ÁGUA	15
3. FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES	17
3.1. ÁGUA DE CHUVA	17
3.1.1. Componentes de um sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva.....	20
3.1.2. Caracterização qualitativa da água pluvial	22
3.1.3. Potencial de economia de água potável.....	25
3.1.4. Viabilidade econômica na captação de águas pluviais	25
3.2. ÁGUA CINZA EM EDIFICAÇÕES	28
3.2.1. Componentes de um sistema de reúso de águas cinzas	31
3.2.2. Tratamento da água cinza	32
3.2.3. Caracterização qualitativa da água cinza.....	36
3.2.4. Qualidade das águas cinzas obtidas em algumas pesquisas	37
3.2.5. Quantidade de águas cinzas: produção e demanda.....	40
3.2.6. Viabilidade econômica	41
3.3. ÁGUA DE CONDENSAÇÃO EM EDIFICAÇÕES.....	43
3.3.1. Qualidade da água oriunda de aparelhos de ar condicionado.....	45
3.3.2. Quantificação da água oriunda de aparelhos de ar condicionado.....	46
3.3.3. Viabilidade econômica	47
4. COMPARAÇÃO ENTRE AS FONTES ALTERNATIVAS	48
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

A água é um elemento vital para existência humana e tem um papel indispensável nas nossas atividades, essencial para sustentar os processos biológicos, geológicos e químicos. Além disso, é crucial para manter o equilíbrio dos ecossistemas (CALDAS E CAMBOIM, 2017; ROCHA, 2017).

Entretanto, o aumento da população e sua concentração nas áreas urbanas frequentemente resultam em desafios de infraestrutura, como a garantia do fornecimento de água potável e a adequada coleta de esgoto (SILVA *et al.*, 2018). No Brasil, esse crescimento populacional atingiu um aumento de 6,3%, entre os anos de 2010 e 2022, segundo o IBGE (2023).

Diante dessa realidade, é fundamental fomentar a preservação e o manejo responsável dos recursos hídricos, visando assegurar as demandas das presentes e das próximas gerações (ROCHA, 2017; SOARES *et al.*, 2020).

A utilização das fontes alternativas de água surge como uma opção para atender a demanda da população especialmente no que diz respeito ao uso não potável, contribuindo para mitigar os desafios existentes de escassez de água e proporcionando economia no consumo de água potável em edificações.

A escassez da água é um problema global e recorrente. No Brasil, apesar de possuir uma das maiores reservas de água do planeta, apresenta grandes desigualdades em sua distribuição. Nesse contexto, encontrar soluções torna-se necessário e as fontes alternativas de água, como água de chuva, águas cinzas e água de condensação proveniente de ar condicionados, ganham destaques por se mostrarem como soluções viáveis do ponto de vista econômico e ambiental.

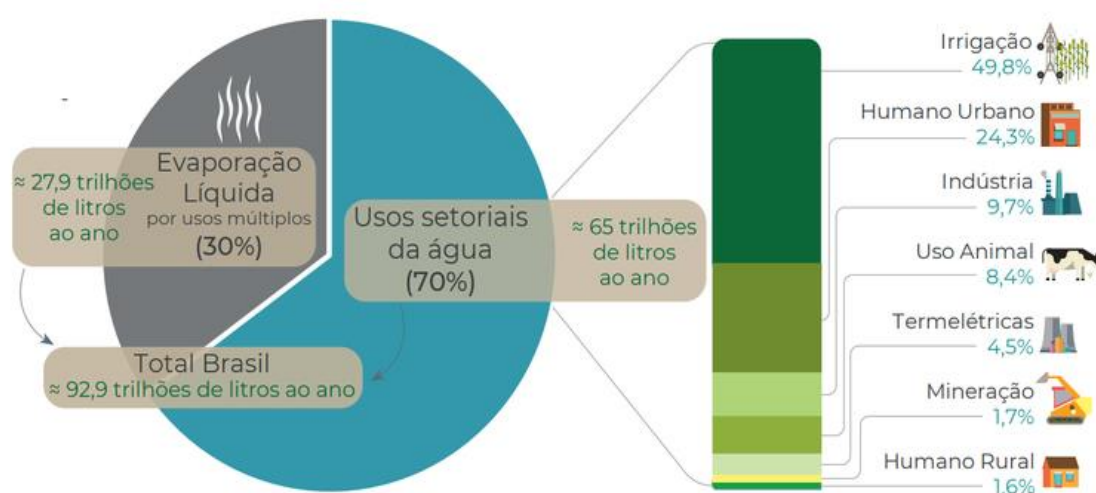
Diante da crescente importância e urgência dessas questões, o objetivo do presente trabalho buscou realizar uma revisão bibliográfica e apresentar as variadas fontes alternativas de águas, sendo elas: água de chuva, água cinza e água de condensação de ar condicionado, para uso não potável em edificações e mostrar sua viabilidade econômica, qualidade da água e quantidade geradas por cada uma das modalidades citadas. Este estudo adota uma abordagem descritiva, fundamentada na revisão de diversas fontes de literatura, incluindo artigos científicos, dissertações, teses e livros relacionados ao tema em questão.

2. CONSUMO, CONSERVAÇÃO E REÚSO DA ÁGUA NO MEIO URBANO

2.1.CONSUMO DE ÁGUA

Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA), em 2019, aproximadamente 24,3% da água retirada dos mananciais foram destinados ao uso humano urbano, conforme figura 1.

Figura 1- Retirada de Água no Brasil em 2019



Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA). Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua>. Acesso em: 5 mar. 2024.

O uso da água para consumo em áreas urbanas pode ser categorizado em três grupos distintos, conforme descrito por Tomaz (2000):

- Consumo residencial: referente a residências unifamiliares e edifícios multifamiliares;
- Consumo comercial: abrangendo estabelecimentos como restaurantes, hospitais, hotéis, lavanderias, postos de gasolina, clubes esportivos, bares, lanchonetes e lojas;
- Consumo público: relacionado a prédios públicos, escolas, parques infantis, unidades de saúde pública, prisões e todos os edifícios governamentais municipais, estaduais e federais.

O consumo de água residencial pode representar a maior parte do consumo total de água em áreas urbanas, excedendo 50% do uso geral. Na região metropolitana de São Paulo, o uso residencial de água representa uma parcela substancial, alcançando 84,4% do consumo

total urbano, que engloba também o uso em pequenas indústrias. Em um padrão semelhante, na cidade de Vitória, essa proporção é notavelmente similar, situando-se em torno de 85% do consumo total (RODRIGUES, 2005).

Existem diversos elementos que afetam a determinação do consumo de água residencial: sistemas de fornecimento e cobrança, qualidade de água, custo operacional do sistema, pressão da rede distribuidora, são os principais a serem considerados (TELLES E COSTA, 2010).

Dessa maneira, estudos realizados pelo Ministério das Cidades por intermédio da Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) revelaram, no Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto de 2023, no ano de referência de 2022, que o consumo per capita médio no Brasil foi de 148,2 L/hab.dia. O índice do SNIS-AE 2022 representa uma redução de 3,3% em relação aos 153,3 L/hab.dia de 2021. Todas as macrorregiões, Sul, Norte, Centro-Oeste e Sudeste, com exceção do Nordeste registram consumo acima da média nacional como mostra a tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Consumo médio per capita de água por região geográfica do Brasil

Regiões	Consumo médio por habitante (L/hab.dia)
Sudeste	159,9
Centro-Oeste	153,5
Norte	151,2
Sul	149,8
Nordeste	121,4
Brasil	148,2

Fonte: SNIS (2023)

2.2.CONSERVAÇÃO DA ÁGUA

O estímulo à prática do uso racional e à conservação da água potável em residências é de extrema importância, com o objetivo de mitigar os impactos de escassez de água potável, especialmente nas áreas urbanas onde esse problema já é uma realidade. Além disso, a

utilização de fontes alternativas de água em edificações emerge como uma estratégia de enfrentar a escassez de forma mais abrangente e sustentável.

De acordo com Tomaz (1998), a conservação da água pode ser entendida como um conjunto de atividades com o intuito de:

- Reduzir a demanda de água;
- Melhorar o uso da água e reduzir as perdas e desperdícios da mesma;
- Implantar práticas para economizar água.

Santos (2002) conceitua "Conservação de água", como um conjunto de medidas e práticas destinadas a promover a economia e o uso eficiente dos recursos hídricos.

Essas ações são direcionadas não apenas para a preservação dos mananciais de água, mas também para otimizar o funcionamento dos sistemas públicos de abastecimento de água e para incentivar a adoção de práticas de economia de água dentro das residências e outros espaços habitacionais. Limitando-se ao contexto residencial, conforme FIESP/ANA (2005), a conservação da água pode ser descrita como qualquer iniciativa que: reduza a quantidade de água extraída em fontes de suprimento; reduza o consumo de água; reduza o desperdício de água; aumente a eficiência do uso da água; ou ainda aumente a reciclagem e o reúso de água.

Essa concepção ampla da conservação de água reconhece a interconexão entre os diferentes aspectos do ciclo hidrológico e os diversos setores que dependem do abastecimento de água. O ciclo hidrológico assegura a dinâmica da água no planeta, imprescindível para a preservação da vida. Entretanto, países como China, Índia, México, Tailândia, parte do oeste dos Estados Unidos, norte da África e áreas do Oriente Médio estão retirando do lençol freático mais água que o ciclo hidrológico consegue repor (FIORI *et al.*, 2006).

Isso inclui não apenas a proteção dos recursos naturais, como rios, lagos, aquíferos e lençóis freáticos, mas também a gestão eficiente dos sistemas de distribuição de água, e a redução de perdas ao longo das redes de distribuição. Um dos pontos fracos das companhias de abastecimento é o desperdício de água. De acordo com dados do SNIS, ano base de 2020, o país registra uma perda de 40,1% de toda a água captada nos sistemas de abastecimento.

Em 2022, foi divulgado um estudo do instituto Trata Brasil com parceira institucional da Associação Brasileira dos Fabricantes de Materiais para Saneamento (Asfamas) e da Water.org. O relatório foi elaborado com base em dados públicos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020). O estudo revela que o volume de água perdida nos sistemas de distribuição no Brasil é alarmante, equivalendo a 7,8 mil piscinas olímpicas de água tratada desperdiçada diariamente ou mais de sete vezes o volume do Sistema

Cantareira, o maior conjunto de reservatórios para abastecimento do Estado de São Paulo. Mesmo ao considerar apenas os 60% deste volume que representam perdas físicas (vazamentos), a quantidade é suficiente para abastecer mais de 66 milhões de brasileiros em um ano, correspondendo a um pouco mais de 30% da população brasileira em 2020.

2.3.REÚSO DE ÁGUA

Mancuso & Santos (2003) afirmam que o reúso de água é o aproveitamento de águas já empregadas em atividades humanas, a fim de atender às demandas de diferentes usos, incluindo o uso inicial. Os autores também classificam o reúso de água, em geral, em: potável e não-potável.

O reúso de água potável divide-se em direto e indireto. O reúso potável direto envolve a recuperação do esgoto por meio de tratamento avançado e sua utilização direta no sistema como água potável, enquanto o reúso indireto ocorre quando o esgoto, após tratamento, é descarregado em corpos d'água superficiais ou subterrâneos para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e final utilização como água potável. Já o reúso não-potável é dividido de acordo com sua finalidade, como por exemplo: para fins agrícolas, industriais, domésticos, recreacionais, para manutenção de vazões, para aquicultura e para recarga de aquíferos subterrâneos.

É possível estabelecer parâmetros que atendam aos critérios recomendados tendo conhecimento das características físicas, químicas e biológicas das águas residuárias. Quando devidamente tratadas, as aplicações da água de reúso não potável são amplas e diversificadas (QUEIROZ, 2022).

A qualidade da água de reúso precisa ser rigorosamente avaliada para que seja garantida a segurança sanitária e atenda adequadamente aos usos previstos (FIORI *et al.*, 2006). Isso envolve a realização de testes e análises detalhadas, a fim de verificar se a água tratada atende aos parâmetros e padrões estabelecidos para cada aplicação específica. Essa avaliação rigorosa é essencial para garantir que a água reutilizada não apresente riscos para a saúde humana ou o meio ambiente, e que seu uso seja seguro e eficaz em diferentes contextos e atividades.

Dessa maneira, a NBR 13969/1997 estabelece classe e parâmetros para os esgotos de acordo com a reutilização prevista. São elas:

- Classe 1: lavagem de veículos de outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluído chafarizes;
- Classe 2: lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes;
- Classe 3: reúso nas descargas de vasos sanitários;
- Classe 4: reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gado e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Na Tabela 2, são apresentados padrões de qualidade do esgoto tratado, conforme a classe de reúso pretendida da NBR 13969/1997. Esses padrões garantem que a água reutilizada atenda aos requisitos de segurança sanitária e eficácia, dependendo do uso e da classe de reúso. A tabela 2 fornece ainda detalhes sobre parâmetros de qualidade, como pH, turbidez e outros fatores que afetam a qualidade da água reutilizada. Esses padrões são importantes para garantir que a água reutilizada seja adequada para diferentes usos e aplicações, sem riscos para a saúde humana ou o meio ambiente.

Tabela 2 – Parâmetros de qualidade da água para reúso segundo a NBR 13969/1997

Classes	Parâmetros				
	Turbidez (UT)	pH	SDT	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Coliformes termotolerantes (NPM/100ml)
1	<5	6,0 e 8,0	0,5 e 1,5	-	<200
2	<5	-	<0,5	-	<500
3	<10	-	-	-	<500
4	-	-	-	>2,0	<5000

Fonte: NBR 13969/1997

O reúso de água cinza enquadra-se no reúso não-potável, o que significa que não é adequada para consumo humano direto. No entanto, essa água tratada pode ser empregada em diversas atividades, com destaque para o reúso doméstico, como a irrigação de jardins residenciais, a lavagem de veículos e superfícies impermeáveis, bem como na descarga de vasos sanitários. Além disso, a água cinza tratada também pode ser utilizada em atividades agrícolas, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos e a sustentabilidade ambiental.

3. FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES

As fontes alternativas de água em edificações referem-se a sistemas projetados para coletar, armazenar, tratar e reutilizar a água de forma eficiente, visando a conservação da água potável disponibilizada pelos sistemas de abastecimento. Esses sistemas direcionam a água proveniente de fontes alternativas para fins não potáveis, atenuando assim a demanda sobre os recursos hídricos convencionais. Destacam-se a água cinza, a água de chuva e a água de condensação proveniente de aparelhos condicionadores de ar (BAZZARELLA, 2005).

Os sistemas de captação de água da chuva coletam água de superfícies impermeáveis, como telhados, e a armazenam em reservatórios para uso posterior. Já o reúso das águas cinzas é realizado por meio de um processo que envolve a coleta, tratamento e redistribuição da água proveniente de atividades domésticas, como banho, lavagem de roupa e pia da cozinha (MAY, 2009).

Durante o funcionamento dos sistemas de ar condicionado, o processo de resfriamento do ar resulta na condensação da umidade presente no ambiente, gerando água. Essa água condensada, muitas vezes desperdiçada, pode ser coletada e tratada para utilização em atividades como irrigação de plantas, limpeza de pisos e descarga de vasos sanitários.

Essas fontes alternativas de água não apenas contribuem para a conservação dos recursos hídricos, mas também podem resultar em benefícios econômicos, ambientais e sociais significativos. No entanto, é fundamental considerar aspectos como a qualidade da água tratada, a econômica das soluções e a conformidade com regulamentações locais para garantir a eficácia e segurança desses sistemas.

3.1. ÁGUA DE CHUVA

A captação e aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis, em uso residencial, industrial e agrícola, não é considerada uma tecnologia nova, pois é uma prática simples, empregada desde tempos primordiais. Tomaz (2003) descreve que uma das inscrições mais antigas do mundo, é a Pedra Moabita, encontrada no Oriente Médio, e datada de 850 a.C. Nela, o rei Mesha dos Moabitas sugeria a construção de um reservatório em cada casa para aproveitamento da água de chuva. O autor também aponta que no palácio de

Knossos na ilha de Creta, aproximadamente em 2000 a.C, era aproveitada a água de chuva para descarga em bacias sanitárias.

Diferentes sistemas de captação de águas pluviais existem e existiram em diversas regiões do mundo, como no México, Índia, Irã, China, Turquia, e em vários países africanos, especialmente na África Subsaariana e no Oriente Médio. Essas técnicas de captação das águas de chuvas foram fundamentais para o desenvolvimento de diferentes povos, que por meio delas, conseguiram não apenas adaptar técnicas pré-existentes, mas também desenvolver e aprimorar novas técnicas de captação, atendendo às diversas demandas (OWEIS; HACHUM, 2009). No Brasil, uma das instalações mais antigas para captação de água de chuva foi construída pelos norte-americanos em 1943, na ilha de Fernando de Noronha (GUANAYEM, 2001).

Atualmente, o aproveitamento de águas pluviais continua desempenhando um papel crucial na gestão dos recursos hídricos, especialmente em regiões propensas à escassez de água. O aproveitamento de águas pluviais não apenas reduz a demanda por recursos hídricos, mas também ajuda a aliviar a pressão sobre o abastecimento de água na região. Além disso, essa prática é vantajosa em áreas urbanas para controlar o escoamento das águas pluviais, resultando em um aumento do tempo de retenção da água, na diminuição do escoamento superficial e na redução dos picos de enchentes. Isso contribui para minimizar alagamentos, inundações e auxilia na mitigação dos impactos das mudanças climáticas (FERRAZ, 2022).

Ademais, com essa modalidade de aproveitamento é possível obter benefícios econômicos e ambientais, em que a água coletada pode ser utilizada para fins não potáveis, podendo assim reduzir o consumo de águas de abastecimento e promover benefícios financeiros (JULIANA *et al.*, 2017).

A viabilidade da instalação de um sistema para aproveitamento de água da chuva depende principalmente de três fatores essenciais: a precipitação, a área de captação e a demanda de água (TOÉ; BACK; DELLA, 2015). A precipitação local determina a disponibilidade de água a ser coletada, a área de captação estabelece a quantidade de água que pode ser recolhida, e a demanda por água indica o uso necessário desse recurso. Estes elementos são cruciais para avaliar a viabilidade e eficácia de um sistema de aproveitamento de água da chuva em uma determinada região, assegurando a sustentabilidade e eficiência do projeto.

O uso de águas pluviais se torna relevante em casos que há uma grande área de captação, ou com escassez de abastecimento, ou em que o custo de extração de água subterrânea seja elevado.

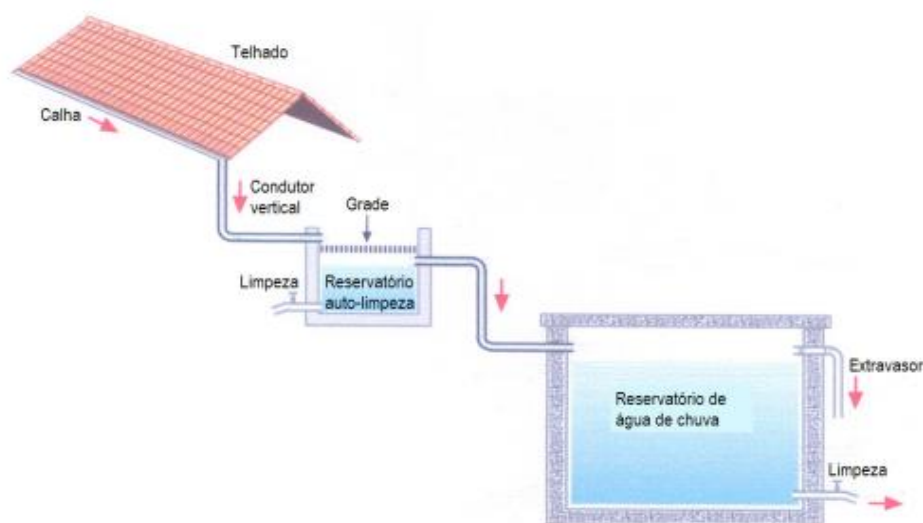
May (2009) relata que entre as principais vantagens, destacam-se a redução do volume despejado nas galerias pluviais e a diminuição da demanda de água potável para usos não potáveis. Uma desvantagem associada a esse sistema é a redução da quantidade de água captada durante períodos de seca.

Segundo Tomaz (2003), estima-se uma economia de água encanada proveniente de empresas de abastecimento quando se utiliza água da chuva. É importante que o sistema da água da chuva e o de água potável não sejam misturados já que trabalham com tipos diferentes de água.

Segundo MARINOSKI (2010), a utilização das águas pluviais, inicialmente, se dá por meio da sua captação, seguida, quando necessário, pelo processo de tratamento. Após esta etapa, a água é encaminhada para um reservatório, de onde é posteriormente retirada para uso, comumente em aplicações não potáveis. Na figura 2 é apresentado um esquema do funcionamento do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais com reservatório de autolimpeza.

O sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais opera da seguinte forma: a água é recolhida de áreas impermeáveis, geralmente telhados. Após isso, passa por tratamento e é armazenada em um reservatório de acumulação, podendo este ser apoiado, enterrado ou elevado, e construído com uma variedade de materiais, como concreto armado, blocos de concreto, alvenaria de tijolos, aço, plástico, poliéster, polietileno, entre outros (LEAL, 2000 *apud* MAY, 2009).

Figura 2 - Esquema do funcionamento do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais com reservatório de autolimpeza



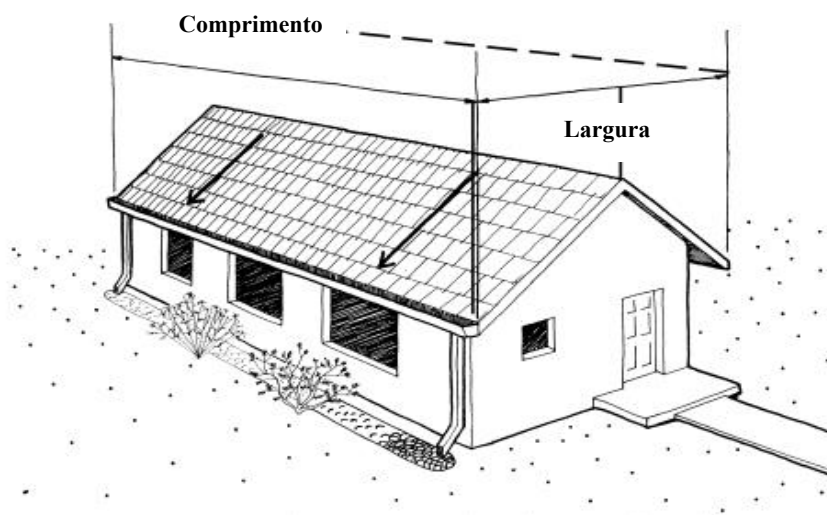
Fonte: Tomaz, 1998.

3.1.1. Componentes de um sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva

Segundo May (2009), o sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva em edificações é formado pelos seguintes componentes:

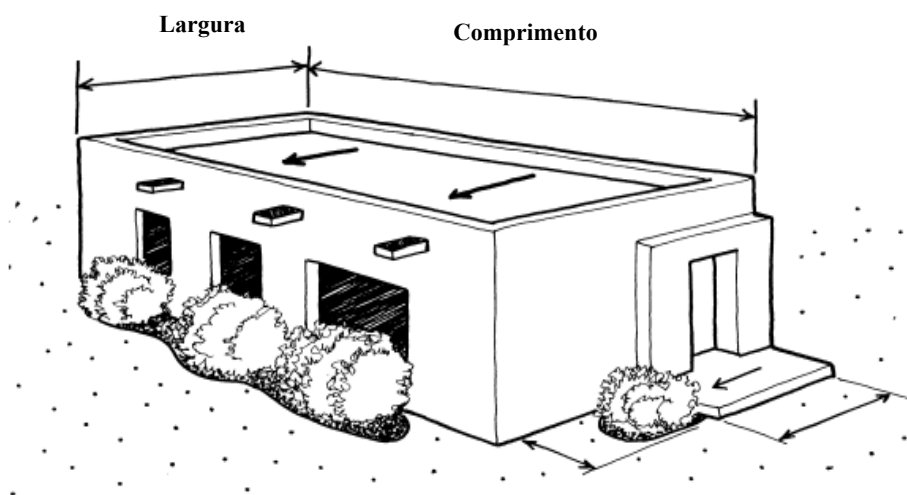
- Área de coleta: a quantidade de águas pluviais que pode ser armazenada depende da área de coleta, da precipitação atmosférica do local e do coeficiente de escoamento superficial da cobertura. Nas figuras 3, 4 e 5 observam-se as áreas de coleta: telhados, lajes e pátio.

Figura 3 - Área de coleta – telhado inclinado: comprimento x largura



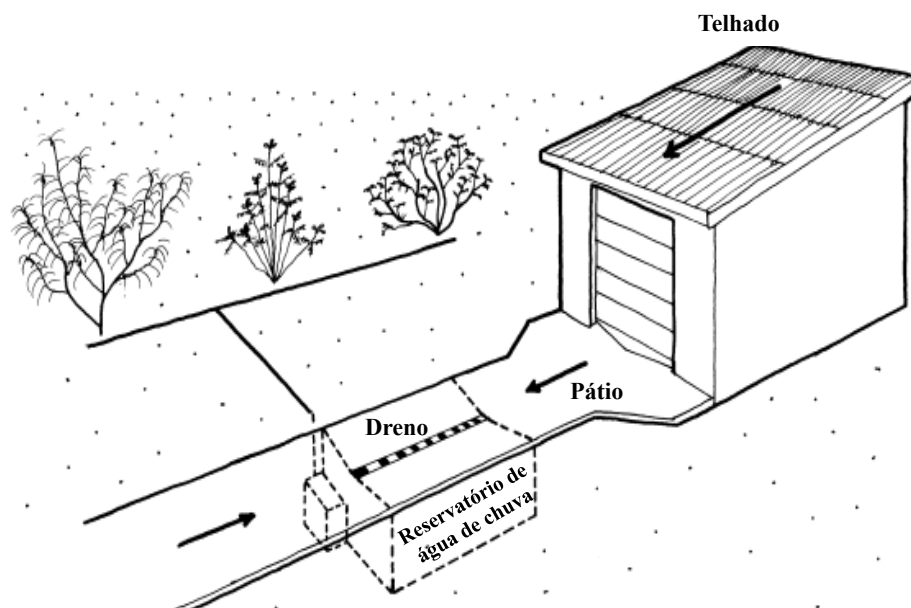
Fonte: Waterfall, 2006.

Figura 4 - Área de coleta – telhado plano (laje): comprimento x largura



Fonte: Waterfall, 2006.

Figura 5 - Área de coleta – telhado e pátio: comprimento x largura



Fonte: Waterfall, 2006.

Assim, é possível também empregar espaços como pátios, calçadas e estacionamentos para a captação das águas da chuva. No entanto, antes de utilizar essas áreas para tal fim, é necessário implementar um sistema preliminar de tratamento adequado para remover detritos, como papel e plástico, que podem ser encontrados nesses locais. Além disso, é importante prever a remoção de óleos e graxas oriundos de veículos, a fim de evitar danos ao sistema de captação e tratamento das águas pluviais.

- Condutores: sistema de condutores horizontais (calhas) e condutores verticais que transportam as águas pluviais até o sistema de armazenamento. Para que não ocorram entupimentos nos condutores que levam as águas pluviais provenientes do telhado até o reservatório de autolimpeza ou outro dispositivo, o sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais deve estar munido de peneiras para a retirada de folhas e galhos.
- Sistema de descarte da água de limpeza do telhado: para coletar as águas pluviais é necessário fazer uso de áreas impermeáveis, como por exemplo, telhados, onde pode ocorrer acesso de pequenos animais como: pássaros, ratos, gatos, entre outros, é grande a probabilidade de o telhado conter fezes desses animais ou até mesmo, animais mortos, além disso, poeira, galhos e folhas de árvores são trazidos pelo vento.

Por isso, é recomendável o descarte da porção inicial da água que faz a limpeza do(s) telhado(s), sobretudo após longo período de estiagem.

No dimensionamento de um sistema de aproveitamento de água de chuva, é crucial considerar diversos aspectos, segundo Tomaz (2003), para calcular o volume de água pluvial aproveitável, é fundamental entender que não corresponde ao volume precipitado. Há estimativas de perdas variando de 10% a 33% do volume precipitado, decorrentes de fatores como vazamentos e evaporação. Além disso, após dimensionar o sistema, é imprescindível realizar uma análise detalhada da viabilidade de sua implementação, visto que o reservatório de armazenamento é o componente mais oneroso do sistema de captação e reutilização de águas pluviais.

- Armazenamento: sistema composto por reservatório(s) com objetivo de armazenar águas pluviais. Se a área de coleta, a precipitação média da região e a demanda mensal são conhecidas, pode-se calcular o volume mínimo do reservatório de acumulação de águas pluviais.
- Tratamento: o sistema de tratamento das águas pluviais depende primordialmente da qualidade da água coletada e do seu uso específico. De modo geral, o sistema de coleta e tratamento de águas pluviais apresenta fácil manuseio, custo de implantação baixo dependendo da tecnologia adotada, e de viabilidade econômica favorável em regiões onde a precipitação anual é relativamente elevada.

3.1.2. Caracterização qualitativa da água pluvial

Segundo a Agência Nacional de Águas (2005), é viável utilizar a água da chuva, desde que sejam implementados procedimentos para assegurar sua qualidade e para avaliar se há necessidade de tratamento específico, com o objetivo de evitar problemas de saúde para quem a utiliza e prolongar a vida útil dos sistemas relacionados.

Sobre a qualidade da água, visando estabelecer condições mínimas para uso não potável de águas pluviais, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a NBR 15527/2019, "Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis - requisitos". A norma sugere padrões de qualidade de águas pluviais para fins não potáveis. Na

tabela 3 observam-se os parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis abordados na NBR 15527/2019.

Tabela 3 - Parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis

Parâmetro	Valor
Escherichia coli	< 200 / 100 mL
Turbidez	< 5,0 uT
pH	6,0 a 9,0

Fonte: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 15527/2019

Além disso, de acordo com a ABNT NBR 15527/2019, os usos não potáveis previstos para utilização de água de chuva, após tratadas corretamente são: descargas de bacias sanitárias e mictórios, lavagem de veículos, lavagem de pisos, reserva técnica de incêndio, uso ornamental (fontes, chafarizes e lagos) e irrigação para fins paisagísticos.

A composição da água da chuva pode diferir dependendo da localização geográfica, como sua proximidade com o oceano, se está em áreas urbanas ou rurais. Além disso, fatores meteorológicos como a intensidade, duração e tipo de chuva, os regimes de vento e a estação do ano também influenciam. A presença ou ausência de vegetação e a quantidade de poluentes presentes também afetam a composição da água pluvial (MAY, 2009; GONÇALVES, 2009; TOMAZ, 2005).

Na tabela 4 são apresentados alguns resultados de caracterização de águas pluviais obtidos em diferentes pesquisas. No trabalho descrito em Silva (2006) foram avaliadas a qualidade de águas pluviais sem descarte armazenadas em cisternas de placa para consumo humano em comunidades rurais de Araçuaí – MG. Tavares (2009) e Xavier (2010) analisaram a qualidade de águas pluviais sem descarte em cisternas no semiárido paraibano. As análises foram feitas na primeira água escoada do sistema.

Na tabela 4, é possível observar, de modo geral, a variação dos resultados encontrados nas diferentes pesquisas. Esses resultados evidenciam que a qualidade das águas da chuva pode variar conforme a localização da precipitação, as condições climáticas, a existência de vegetação e, principalmente, a presença de poluentes. Essa variação nos resultados ressalta a importância de avaliar a qualidade das águas pluviais e de determinar o tratamento adequado a ser implementado antes de sua utilização planejada.

Tabela 4 - Resultados da caracterização das águas pluviais obtidos em diferentes pesquisas

Referência	Média dos parâmetros			
	Coliformes totais (NMP.100 mL ⁻¹)	E. coli (NMP.100 mL ⁻¹)	Estreptococos fecais (NMP.100 mL ⁻¹)	Bactérias heterotróficas totais (UFC mL ⁻¹)
Silva (2006)	2,3 x 10 ⁴	1,4 x 10 ⁴	1,6 x 10 ¹	2 x 10 ³
Tavares (2009)	2,5 x 10 ³	2,5 x 10 ³	5,5 x 10 ¹	-
Xavier (2010)	2,5 x 10 ³	2,5 x 10 ³	-	1 x 10 ⁴

Nakada e Moruzzi (2014) estudaram a qualidade e a variabilidade de águas pluviais escoadas e armazenadas. As coletas de água de chuva foram feitas nas dependências da Universidade Estadual Paulista situada no *campus* de Rio Claro (SP). Os resultados da análise de componentes principais indicam que a grande variabilidade das águas pluviais coletadas é influenciada, sobretudo, pela deposição de sólidos durante o período de estiagem e pela decomposição de matéria orgânica. Concluindo que para as águas pluviais coletadas e armazenadas requerem tratamento prévio ao aproveitamento para promover a remoção de sólidos e a exclusão e/ou inativação de micro-organismos potencialmente patogênicos, visando a assegurar a qualidade da água.

Luna *et al.* (2014), estudou a qualidade da água de chuva em um sistema instalado na cidade de João Pessoa (PB), para verificação da adequabilidade para uso residencial. Os resultados indicaram que a água, tanto a original, antes de chegar à superfície de captação, quanto a armazenada no reservatório, apresenta elevada qualidade, adequada para uma variedade de usos domésticos, como descargas de sanitários, irrigação de jardins e plantas ornamentais, lavagem de automóveis e limpeza de áreas externas. Além disso, constatou-se que os padrões estabelecidos na Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), classe 1, são cumpridos, os quais incluem o fornecimento de água para consumo humano após um tratamento simplificado, entre outros fins.

3.1.3. Potencial de economia de água potável

Vários estudos desenvolvidos no âmbito acadêmico estimam a economia de água potável gerada a partir da implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva. Segundo Tomaz (2003), o uso de água para fins não potáveis para irrigação de jardins, lavagem de carros e descargas em vasos sanitários somam cerca de 50% da demanda total de água em uma residência.

Dalsenter (2016) analisou o potencial de economia de água potável ao substituir seu consumo por água pluvial, para usos não potáveis, em um condomínio residencial multifamiliar na cidade de Florianópolis/SC. O estudo demonstrou-se economicamente viável ao se obter relevantes porcentagens de água potável que pode ser substituída por água pluvial, 23,9%, 26,6% e 22,1% para cada um dos blocos do condomínio. Além disso, os custos de instalação do sistema de captação apresentaram um período de retorno agradável, entre 12 e 13 meses.

Filho *et al* (2015), analisaram as características e eficácia de um sistema de coleta e utilização de águas pluviais para usos não potáveis em uma edificação modelo na Bacia do Rio Verde, no município de Três Corações/MG, com o objetivo de diminuir o consumo de água potável na própria estrutura. Foi observada uma redução expressiva na conta de água potável de R\$ 93,44 por mês, equivalente a 53,64%.

3.1.4. Viabilidade econômica na captação de águas pluviais

O aproveitamento de água de chuva para fins não-potáveis é relevante em todo mundo, sendo uma medida ambiental benéfica. No entanto, sua adoção em larga escala depende crucialmente de sua viabilidade econômica, além de estudos técnicos e ambientais. Esta relação entre viabilidade econômica e adoção generalizada é complexa e envolve vários fatores e análises.

Em geral, a análise de viabilidade econômica é conduzida através do cálculo do tempo de retorno (payback). Esse método envolve determinar a relação entre o custo de instalação do reservatório e o custo equivalente de água fornecida pela concessionária. Contudo, é importante destacar que esse indicador não considera variações nas tarifas, taxas de juros e outros fatores (ROCHA, 1998 *apud* CARDOSO, 2018).

Para que seja possível avaliar indicadores que levem em conta os reajustes tarifários, é essencial estabelecer um modelo adequado para o problema em questão. Este modelo pode ser entendido como o fluxo de caixa onde se estabelece o horizonte do projeto (tempo de execução ou operação). Dentro desse período, são distribuídos os custos e benefícios correspondentes (ICHIHARA; DUARTE, 2008; CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2000).

Outro método de análise que pode ser aplicado aos sistemas de captação de águas pluviais é o Valor Presente Líquido (VPL). O VPL é geralmente utilizado para comparar diferentes alternativas de projetos, o método determina a diferença entre todos os custos e benefícios envolvidos no horizonte de projeto, trazendo-os para valores presentes. Todos os benefícios e custos ao longo da vida útil do projeto são transformados em valores presente (GOMES, 2019).

Os métodos comuns de análise de investimento, tais como Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e payback descontado, são frequentemente utilizados para essa finalidade. Se aplicados corretamente, esses métodos conduzem ao mesmo resultado, pois são equivalentes. A escolha do método a ser empregado depende do problema a ser resolvido, já que cada um deles se adapta melhor a um tipo específico de situação (CARVALHO, 2014 *apud* CARDOSO, 2018).

Moruzzi *et al.*, (2012), propuseram um método fundamentado em três variáveis: a demanda de água, a eficiência do sistema e o tempo de retorno. Diversas simulações foram conduzidas em cenários variados. Os autores observaram que o tempo de retorno variou de 0,5 a 30 anos, dependendo do tamanho do reservatório, da área e da demanda. Demandas menores aumentaram significativamente o tempo necessário para recuperar o investimento.

Ilha e Campos (2014) introduziram uma metodologia para avaliar a eficácia dos investimentos em sistemas de captação de água pluvial em edifícios públicos, utilizando a otimização do valor presente líquido por meio da técnica de *Particles Swarm Optimization*. Os autores observaram que o modelo produziu resultados positivos e destacaram que os ajustes mais significativos nas tarifas de água proporcionam oportunidades ampliadas, uma vez que permitem retornos econômicos mais imediatos à medida que as tarifas cobradas pela concessionária aumentam.

O reservatório de armazenamento é em sua grande maioria o componente mais caro do sistema, representando uma significativa parcela dos investimentos necessários. Portanto, quanto mais alto forem esses custos, mais desafiadora se torna a viabilidade econômica do projeto como um todo. Isso ocorre porque os custos de construção do reservatório afetam diretamente o tempo de retorno do investimento, ou seja, o período necessário para que os

benefícios financeiros do sistema compensem os custos iniciais (SALLA *et al*, 2013). De acordo com Severis *et al* (2019), um dos maiores desafios para viabilizar um sistema de aproveitamento de água de chuva é a determinação do volume do reservatório de armazenamento, pois geralmente é o componente mais caro, o que influencia consideravelmente o período necessário para recuperar o investimento.

Cavalcante (2017) analisou a demanda de água total versus o volume de água captado da chuva, bem como a capacidade do reservatório a ser utilizado. Durante as análises, percebeu-se que o sistema de aproveitamento de águas pluviais, pelo método de Rippl, tornou-se extremamente oneroso devido à alta demanda de reservação. Uma vez que, não seria viável atender completamente toda a demanda de água gerada pelo complexo residencial, dado que a diferença entre essa demanda e a quantidade total anual de água captada é insuficiente. Além disso, um reservatório de tamanho suficiente para cobrir essa demanda resultaria em um volume excessivamente grande, aumentando significativamente os custos de implantação do sistema.

Luna (2020) ressalta também que a viabilidade econômica pode ser influenciada ao longo do tempo devido a mudanças nos parâmetros financeiros locais, podendo uma situação inicialmente viável ser tornar inviável, e vice-versa. Portanto, é crucial realizar um dimensionamento preciso do sistema de captação de águas pluviais para evitar desperdícios se o reservatório for excessivamente grande, ou uma baixa eficiência se for muito pequeno.

Ferraz (2022), estudou a relação entre o coeficiente de eficiência volumétrica (CEV) e indicadores de viabilidade econômica em sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais em 6 cidades brasileiras para que houvesse uma melhor distribuição em todo o território nacional. Foi realizada uma análise financeira da instalação do sistema de coleta de águas da chuva em residências nas cidades, considerando distintos tamanhos de reservatório, áreas de captação, condições socioeconômicas, custos da água e taxas de juros, visando uma posterior avaliação econômica por meio de indicadores. A viabilidade é mais comum em situações em que as tarifas de água são mais elevadas, o padrão socioeconômico das residências (e, por conseguinte, o consumo de água) é mais alto, as taxas de juros são mais baixas e os reservatórios são de menor capacidade. Além disso, o regime de chuvas local também influencia na viabilidade econômica dos sistemas analisados, sendo que cidades com precipitação menor e/ou mais irregular apresentaram uma redução na proporção de cenários economicamente viáveis.

Diante do que foi exposto, é possível concluir que, um aspecto de extrema importância em um sistema de captação de água pluvial é o estudo da viabilidade econômica. Essa

viabilidade é influenciada pelo clima e regime de chuvas local, pela demanda de água da chuva, pela finalidade do uso da água captada, pela confiabilidade do sistema, pelos custos iniciais e de manutenção, pela tarifa de água potável, pela taxa de juros aplicada e por outros fatores. Portanto, a viabilidade econômica do sistema depende de um dimensionamento equilibrado que leve em consideração tanto a eficiência operacional quanto os custos associados (MARINOSKI et al., 2004; CHAIB et al., 2015; JING et al., 2017).

Esses estudos visam encontrar soluções que permitam determinar o volume necessário e o tipo de material mais adequado, de forma a minimizar os custos de investimento e maximizar o retorno econômico. O objetivo é tornar os sistemas de captação de água de chuva mais atrativos para os investidores, tornando-os uma opção viável do ponto de vista financeiro.

Sampaio e Alves (2017) observam que diversos estudos se destacam pela avaliação da viabilidade econômica, pelos métodos de cálculo do volume do reservatório, pelas finalidades do sistema de aproveitamento (se para usos potáveis ou não potáveis) e pela confiabilidade do próprio sistema.

3.2.ÁGUA CINZA EM EDIFICAÇÕES

De acordo com Jefferson *et al.* (1999); Eriksson *et al.* (2002) e Ottoson & Stenström (2003) as águas cinzas são águas servidas residenciais que não há contribuição de efluentes de vasos sanitários. É a água residual proveniente da utilização de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquinas de lavar roupa e tanques. Alguns autores, desconsideram da água cinza os efluentes oriundos de cozinha, como pia de cozinha e máquina de lavar pratos, por possuir compostos indesejáveis como óleos e gorduras que podem ser altamente poluidores (GELT, 2001 *apud* ZABROCKI & SANTOS, 2005).

Entretanto, Henze & Ledin (2001) classificam as águas cinzas em duas categorias: águas cinzas claras e águas cinzas escuras. As águas cinzas claras referem-se as águas residuárias provenientes do chuveiro, do lavatório e da máquina de lavar roupas. Por outro lado, as águas cinzas escuras incluem em sua mistura as águas provenientes da pia da cozinha e da máquina de lavar pratos.

A água cinza é geralmente originada pelo uso de sabão ou de outros produtos para lavagem do corpo, de roupas ou de limpeza em geral (JEFFERSON *et al.*, 1999). Sua

qualidade varia de acordo com a localização, o nível de ocupação da residência, a faixa etária, o estilo de vida, a classe social e os hábitos dos residentes (NSWHEALTH, 2002), bem como o tipo de fonte de água cinza em uso, como lavatórios, chuveiros, máquinas de lavar, entre outros (NOLDE, 1999). De acordo com Eriksson et al. (2002), outros fatores que também influenciam as características da água cinza são: a qualidade da água de abastecimento e o tipo de rede de distribuição, tanto da água de abastecimento quanto da água de reúso.

Segundo May (2009) as águas cinzas, quando tratadas adequadamente, têm um grande potencial para serem reutilizadas para fins não potáveis. Ao contrário das águas pluviais, cujos volumes produzidos dependem diretamente dos índices pluviométricos da região, as águas cinzas geram fluxos provenientes do uso de água potável nas instalações, tornando sua coleta relativamente simples.

A NBR 13969/1997, no item 5.6, aborda o reúso local, que consiste na utilização de esgoto de origem predominantemente doméstica ou similar, desde que tratado, para fins que demandam qualidade de água não potável, porém sanitariamente segura. Esses fins incluem a irrigação de jardins, a lavagem de pisos e veículos automotivos, a descarga de vasos sanitários, a manutenção de lagos e canais com água, a irrigação agrícola, entre outros. A norma também trata de aspectos como o planejamento do sistema de reúso, os usos previstos para o esgoto tratado, o volume a ser reutilizado, o nível de tratamento necessário, o sistema de reservação e distribuição, e o treinamento dos responsáveis.

O aproveitamento das águas cinzas envolve considerações sobre diversos aspectos, como a qualidade da água inicial, os métodos de tratamento empregados, a qualidade do efluente resultante e, especialmente, os usos finais pretendidos para a água tratada. Além dos benefícios ambientais, o reúso das águas cinzas proporciona vantagens econômicas e sociais. Ao reduzir a quantidade de efluentes gerados e minimizar o impacto ambiental, há uma diminuição nos custos associados ao tratamento da água e à disposição de resíduos. Adicionalmente, o tratamento adequado dos efluentes evita que estes se tornem fontes de contaminação do solo e dos corpos d'água, contribuindo para a saúde ambiental e para a preservação dos recursos naturais (CAVALCANTE, 2017).

Os esgotos domésticos convencionais possuem mais organismos patogênicos (bactérias, vírus e parasitas) do que normalmente as águas cinzas, porém ainda assim é elevada o suficiente para apresentar riscos à saúde humana (GONÇALVES, 2009). Ademais, Rêbello (2011) reforça a importância do tratamento e desinfecção das águas cinzas, apesar de sua concentração orgânica ser relativamente baixa em comparação com as águas negras. Ele

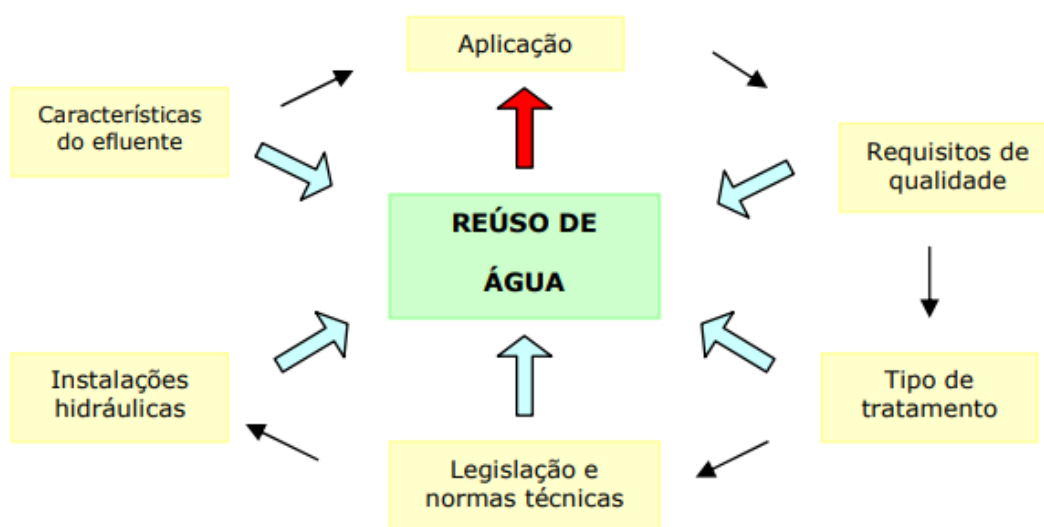
ressalta que esse processo é crucial para assegurar a utilização segura e esteticamente adequada da água de reúso.

Devido à falta de conhecimento sobre os potenciais poluentes e contaminantes presentes na água, juntamente com os desafios no controle da qualidade e os altos custos dos processos disponíveis, há uma incerteza associada ao uso de água residuária (FURTADO & KONIG, 2008).

De acordo com as pesquisas de May (2009), encontrar um equilíbrio adequado entre o volume de água gerado e a demanda a ser suprida é essencial para garantir o sucesso de um sistema de reúso de água. Isso significa que o sistema deve ser dimensionado de forma a atender às necessidades específicas de uso, sem gerar excesso de água tratada ou deixar a demanda insatisfeita. Se o sistema for superdimensionado em relação à demanda real, pode ocorrer um desperdício de recursos, incluindo água, energia e custos operacionais associados ao tratamento. Por outro lado, se o sistema for subdimensionado, a demanda não será totalmente atendida, o que pode resultar em problemas de suprimento e insatisfação por parte dos usuários.

Mendonça (2004) explica que, para garantir a sustentabilidade e a eficiência ambiental dos sistemas de reúso de águas cinzas, é necessário considerar uma série de fatores, conforme ilustrado na figura 6. Geralmente, esses fatores são avaliados por meio de análises socioeconômicas e ambientais durante a fase de implantação do sistema de reúso, garantindo que o projeto seja desenvolvido de forma a atender esses requisitos com segurança.

Figura 6 - Fatores determinantes para implantação de um sistema de reúso de águas cinzas



Fonte: Mendonça (2004)

Observa-se que no processo de reuso de águas cinzas, além do destino que será dado à água, deve-se levar em conta também todos os fatores associados à sua produção, distribuição, acondicionamento, reutilização e tratamento após o uso.

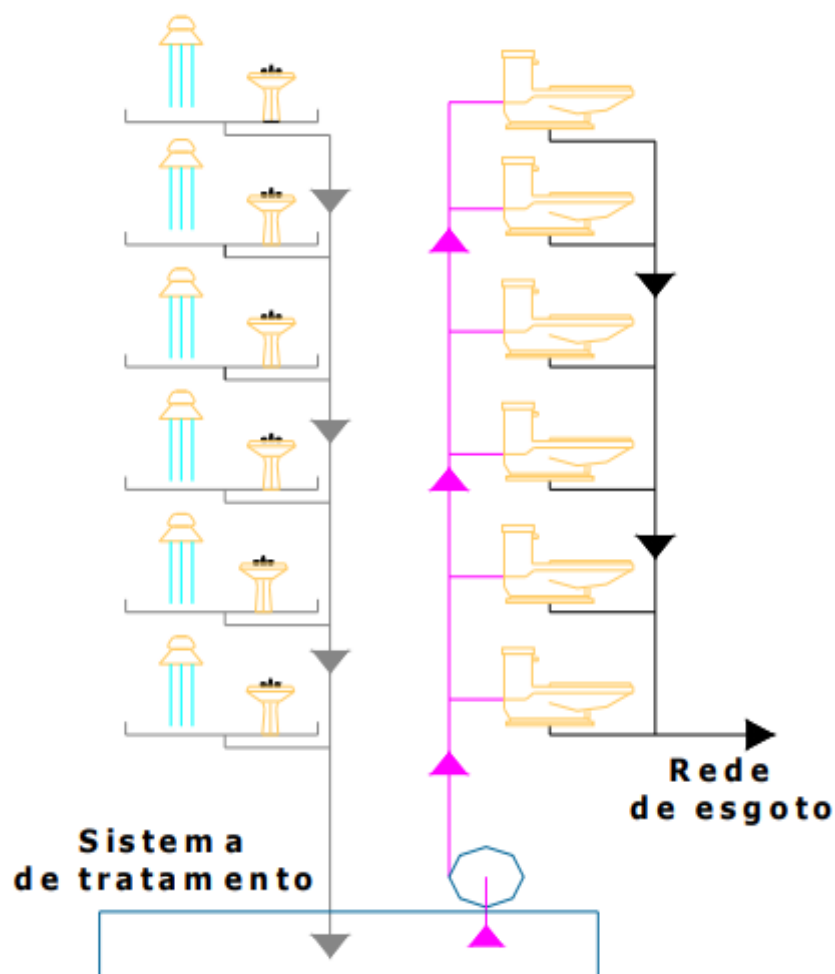
3.2.1. Componentes de um sistema de reúso de águas cinzas

De acordo com May (2009), o sistema de reuso de águas cinzas em edificações é formado pelos seguintes componentes:

- Coletores: sistema de condutores horizontais e condutores verticais que transportam o efluente proveniente do chuveiro, do lavatório e da máquina de lavar roupas ao sistema de armazenamento, onde posteriormente é devidamente tratado.
- Armazenamento: sistema composto por reservatório(s) de acumulação com objetivo de armazenar as águas cinzas provenientes dos pontos de coleta.
- Tratamento: o sistema de tratamento das águas cinzas depende da qualidade da água coletada e do seu uso final. A escolha do processo de tratamento das águas cinzas a ser utilizado é de fundamental importância para o sucesso do empreendimento e, por isso, a decisão deve ser criteriosa e fundamentada nas características do efluente a ser tratado.

Na figura 7, é apresentado o esquema do sistema de reúso de águas cinzas, destacando alguns pontos de coletas de efluentes.

Figura 7- Esquema do sistema de reúso de águas cinzas em edificações



Fonte: Jefferson *et al.*, (1999)

3.2.2. Tratamento da água cinza

A variação das características do efluente, juntamente com os padrões de qualidade necessários para a aplicação desejada de reúso, geralmente determina o tipo de tratamento a ser implementado. No caso do reúso de água, devido à considerável variação tanto na origem quanto no propósito final do efluente tratado, assim como no tipo de reúso pretendido, existe uma variedade de sistemas ou sequências de processos que podem ser desenvolvidos (MANCUSO e SANTOS, 2003). Os métodos desenvolvidos variam desde sistemas simples em residências até séries de tratamentos avançados para reúso em larga escala (JEFFERSON *et al.*, 1999).

Ainda de acordo com Jefferson (1999), é comum a utilização da água cinza sem tratamento, o que não é o correto. Pois, de acordo com Christova *et al.* (1996), a utilização das águas cinzas não tratadas a longo prazo na irrigação podem resultar na acumulação de sais e outros contaminantes que danificam as propriedades dos solos e plantas e podem contaminar as águas subterrâneas. Da mesma forma, o uso de águas cinzas não tratadas nas descargas dos vasos sanitários também podem manchá-los.

O tratamento de águas residuais tem como metas a eliminação de sólidos presentes (grosseiros, areia, óleos, graxas e sedimentos), a remoção da matéria orgânica presente nos sólidos finamente dispersos e desintegrados, a remoção de agentes patogênicos, nutrientes e fósforos (TELLES & COSTA, 2010).

O esgoto doméstico abriga uma grande variedade de microrganismos patogênicos, incluindo bactérias, vírus e parasitas, conhecidos como microrganismos entéricos, que habitam o trato intestinal e podem causar doenças. Esses microrganismos representam um risco para a saúde humana e ambiental quando o esgoto não é tratado adequadamente. Portanto, o tratamento eficaz do esgoto é crucial para prevenir tais doenças (STRENTROM, 2011).

O Quadro 1 mostra os possíveis riscos relacionados a utilização de águas cinzas sem tratamento.

No contexto do reúso da água, devido à ampla diversidade tanto das fontes de água quanto das finalidades para as quais o efluente tratado é destinado, bem como os tipos de reúso planejados, é possível conceber uma variedade de sistemas ou sequências de processos (MANCUSO E SANTOS, 2003). Os métodos desenvolvidos podem variar desde abordagens simples em residências até séries de tratamentos sofisticados para reúso em grande escala, conforme descrito por Jefferson *et al.* (1999).

Com isso, é necessário seguir requisitos de qualidade requeridos para a aplicação de reúso desejado como mostra no Quadro 2.

Quadro 1 – Riscos da utilização de águas cinzas sem tratamento

Fonte	Poluentes típicos	Riscos associados
Banheiros	Contaminação fecal e urina; Produtos químicos provenientes de sabões utilizados; Cabelo, células, óleo; Produtos farmacêuticos; Água quente.	Bactérias e vírus que causam doenças podem sobreviver por longo período no meio ambiente. Urina é geralmente estéril a não ser em caso de infecções urinárias. Amônia pode ser benéfica para algumas plantas. Água quente pode matar os microrganismos do solo que são fundamentais para a vida das plantas.
Máquinas de lavar	Detergentes; Desinfetantes.	Detergentes são prejudiciais a plantas e solo melhor utilizar com baixos níveis de salinidade e alcalinidade e que não aumentem o pH. Desinfetantes que eliminam microrganismos podem acabar com a microflora do solo.
Cozinha	Partículas de alimentos; Óleos e graxas; Detergentes,	As águas da cozinha não devem ser utilizadas no reuso porque detém alta concentração de contaminantes. Gorduras não são digeridas rapidamente pelos microrganismos do solo e repelem a água.

Fonte: EPA Victória (2004) *apud* Queiroz (2022).

Quadro 2 – Sistema de tratamento em função dos usos potenciais e fontes alternativas de água

Usos potenciais	Fontes alternativas de águas			
	Pluvial	Lavatório e chuveiro	Máquina de lavar roupas	Drenagem
Lavagem de roupas	A + B + F + G		(D ou E) + B + F + G	(C ou D) + F
Descarga em bacias sanitárias				
Limpeza de pisos				
Irrigação, rega de jardins				C + F + G
Lavagem de veículos				(C ou D) + F + G
Uso ornamental				

Fonte: SINDUSCON-SP (2005) *apud* Queiroz (2022).

Onde, os tratamentos convencionais são:

- A = Sistema físico: gradeamento;
- B = Sistema físico: sedimentação e filtração simples através de decantador e filtro de areia;
- C = Sistema físico: filtração através de um filtro de camada dupla (areia + antracito);
- D = Sistema físico-químico: coagulação, floculação, decantação ou flotação;
- E = Sistema aeróbio de tratamento biológico de lodos ativados;
- F = Desinfecção;
- G = Correção de pH.

Assim, é apresentada uma combinação de processos de tratamento de águas cinzas para sua reutilização em limpeza de pisos:

- 1) Gradeamento;
- 2) Sedimentação e filtração simples através de decantador e filtro de areia;

- 3) Desinfecção;
- 4) Correção do pH, caso necessário.

3.2.3. Caracterização qualitativa da água cinza

As características físicas, químicas e microbiológicas são parâmetros fundamentais para controle da qualidade da água objetivando-se atender as funções desejadas e são influenciadas pela qualidade da água de abastecimento, pelo material que compõe a rede de distribuição onde podem ocorrer lixiviação, transporte de substâncias químicas e processos biológicos, como formação de biofilme nas paredes da tubulação e pelas atividades exercidas na residência (MAY, 2009). A Tabela 5 mostra características físico-químicas e microbiológicas de águas cinza originadas de várias fontes dentro de uma residência.

Tabela 5 - Características físicas, químicas e bacteriológicas das águas cinzas originadas em banheiros no Sul do Brasil.

Parâmetros	Edifício Residencial
Cor (UH)	52,3
Turbidez (UT)	37,35
pH	7,2
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	4,63
Fósforo Total (mg/L)	6,24
DBO (mg/L)	96,54
Coliforme Total (MPN/100 mL)	11 x 10 ⁶
Coliforme Fecal (MPN/100 mL)	1 x 10 ⁶

Fonte: ANA; FIESP; SINDUSCON-SP (2005) *apud* Queiroz (2022).

3.2.3.1. Características físicas

Conforme May (2009), a turbidez e os sólidos suspensos são indicadores do teor de partículas na água, cuja presença pode resultar no entupimento dos sistemas de coleta, tratamento e distribuição de águas cinzas. A utilização de grades finas ou peneiras permite a remoção dos sólidos maiores, reduzindo assim o risco de obstrução. Geralmente, o uso desses

equipamentos não está associado a uma etapa de sedimentação, como uma caixa retentora de areia.

3.2.3.2.Características químicas

De acordo com May (2009), os parâmetros químicos das águas cinzas são agrupados em quatro categorias: compostos nitrogenados, compostos fosforados, compostos orgânicos e outros parâmetros, como pH, OD, condutividade, alcalinidade, dureza, cloreto e óleos e graxas. May (2009) também observa que a matéria orgânica presente nas águas cinzas é proveniente de resíduos corporais, cabelo, sabão, óleos e graxas, enquanto a matéria inorgânica é principalmente derivada de produtos químicos e detergentes utilizados na limpeza.

3.2.3.3.Características biológicas

Os micro-organismos patogênicos, como protozoários, bactérias, vírus e helmintos, representam um risco de contaminação para os usuários expostos a águas residuais não tratadas. Embora não se espere encontrar urina nas águas cinzas, é comum sua presença em águas provenientes do chuveiro. Conforme observado por May (2009), a urina geralmente é estéril e inofensiva, mas a presença de patógenos na urina pode causar infecções.

3.2.4. Qualidade das águas cinzas obtidas em algumas pesquisas

A composição das águas cinzas também é diretamente influenciada pelo comportamento dos usuários. As características físicas, químicas e bacteriológicas dessas águas podem variar de local para local, sendo os estilos de vida, hábitos, infraestrutura e uso de produtos químicos fatores determinantes para sua qualidade (MAY, 2009).

Fiori, Fernandes e Pizzo (2006) conduziram uma avaliação qualitativa das águas cinzas provenientes de residências, tanto com crianças e animais como sem, abrangendo análises de diversos parâmetros, incluindo coliformes totais, fecais, óleos e graxas, pH, DBO, DQO, sólidos suspensos e sedimentáveis, OD, surfactantes, contagem de bactérias, cloretos, turbidez, dureza total e condutividade. Observou-se que a maioria desses parâmetros

apresentou variações significativas, exceto os coliformes totais e o pH. Em suma, os pesquisadores concluíram que se trata de um efluente de baixa qualidade, caracterizado por altos valores de coliformes fecais, com uma média de $2,4 \times 10^5$ NMP/100 mL. Além disso, a turbidez também se destacou, apresentando valores elevados na faixa de 98,2 a 383,3 UNT. Esses resultados destacam a necessidade de implementação de tratamentos adequados para reduzir esses parâmetros a níveis aceitáveis. Ao analisar a qualidade do efluente proveniente de chuveiros em três categorias distintas de apartamentos - aqueles com crianças, com animais e sem crianças/animais - Fiori, Fernandes e Pizzo (2006) registraram os valores característicos médios conforme detalhado na Tabela 6.

O estudo conduzido por Santasmasas et al. (2013) em uma planta industrial na Síria investigou as características físico-químicas e biológicas das águas cinzas provenientes de chuveiros e pias dos banheiros da indústria. Os pesquisadores implementaram um sistema de tratamento MBR (biorreator de membranas) e compararam os resultados do tratamento com os padrões estabelecidos pela legislação espanhola. Os dados das análises de 50 amostras coletadas antes do tratamento estão apresentados na Tabela 6. Os resultados da pesquisa indicaram que o tratamento por biorreator de membranas (MBR) foi eficaz em atender aos requisitos do Decreto Real (RD) 1620 para os usos mais restritos, como o uso urbano residencial.

Samayamanthula, Sabarathinam e Bhandary (2019) conduziram um experimento piloto visando o tratamento de efluentes originários de uma combinação de águas cinzas da cozinha, chuveiro e máquina de lavar roupas. Eles realizaram a caracterização do afluente e do efluente da estação de tratamento em três regiões diferentes do Kuwait. Os resultados médios para o afluente estão apresentados na Tabela 6.

Na tabela 6, mostra a caracterização das águas cinzas não tratadas, conforme descrito nos estudos mencionados anteriormente.

Tabela 6 - Caracterização de águas cinzas não tratadas

Parâmetros	Unidade de Medida	Fonte		
		Chuveiro ¹	Chuveiro lavatório ²	Pia de cozinha, chuveiro e máquina de lavar
pH	-	7,04	7,70	10,29
DBO _{5,20}	mg/L	273	138	-
Turbidez	UNT	333,3	68	199
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	-	-	3140
Coliforme termo tolerante	NMP/100mL	1,6 x 10 ⁵	3,3 x 10 ⁴	2,42 x 10 ³
Ovos helmintos	Ovos/L	-	<0,1	-
Condutividade elétrica	S/cm	125,7 – 195,67	1267	4910
Fósforo total	mg/L	0,84	3	-
Nitrogênio total	mg/L	-	3,23	-
Cloreto	mg/L	33,01 – 71,43	-	-
Óleos e graxas	mg/L	13,53 – 17,93	-	-

¹ Fiori, Fernandes e Pizzo (2006)
² Santasmasas *et al.* (2013)
³ Samayamanthula, Sabarathinam e Bhandary (2019)

Fonte: Adaptado de Costa (2020).

Costa (2020) realizou uma caracterização do efluente proveniente dos lavatórios e do banho de 544 apartamentos de um condomínio em Fortaleza, Ceará. O estudo propôs limites para vários parâmetros de qualidade a serem considerados ao utilizar águas cinzas. Após tratamento, houve uma redução significativa de 87,26% na turbidez e quase 75% nos sólidos suspensos totais do efluente, indicando a eficiência do sistema de tratamento na redução dos principais parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Essa redução atende aos requisitos mínimos de qualidade necessários para garantir a segurança dos usuários. Para as águas cinzas tratadas, observou-se uma redução em praticamente todos os parâmetros avaliados. Em média, foram registrados valores de pH de 6,51, DQO de 39 mg/L, e concentrações de nitrogênio amoniacal, ortofosfato e sulfato de 1,16 mg/L, 0,10 mg/L e 48,4 mg/L, respectivamente. É importante destacar que o efluente bruto apresentou diferenças em relação a outros estudos semelhantes, sugerindo que as condições ambientais locais e os hábitos da população influenciam nos resultados obtidos.

3.2.5. Quantidade de águas cinzas: produção e demanda

A quantidade de água cinza produzida e demandada está estreitamente ligado ao consumo de água dentro das residências, sendo influenciados por uma variedade de fatores regionais, climáticos e culturais (BAZZARELLA, 2005).

A origem das águas cinzas, como aquelas provenientes de banhos, lavatórios e máquinas de lavar roupa, é uma variável lógica na sua produção. Conforme definido pela NBR 7229 (ABNT, 1997a), a contribuição de esgotos em ambientes residenciais varia dependendo do padrão de habitação, indo de 100 litros por habitante por dia em residências de baixo padrão a 160 litros por habitante por dia em residências de alto padrão. Essa estimativa abrange tanto águas cinzas quanto águas negras e é utilizada para o dimensionamento de tanques sépticos. Como alternativa, a produção de esgotos pode ser estimada como sendo 80% do consumo local de água (COSTA, 2020).

Ghisi e Ferreira (2007) observaram uma redução na necessidade de água potável em torno de 29% a 35% ao utilizar apenas águas cinzas e pluviais para a descarga de vasos sanitários em edifício residencial situado em Florianópolis/SC.

Um estudo conduzido por Zhu et al. (2018) identificou que a produção de águas cinzas para uso em lavatórios, banhos e lavanderias é de aproximadamente 27% a 30%, 24% a 33% e 9% a 17%, respectivamente. Esses números representam médias obtidas em pesquisas realizadas em países como China, Alemanha, Inglaterra, Israel e Japão. Apesar das semelhanças nos resultados, os consumos de água potável variam significativamente, indo de 120 litros per capita por dia na Alemanha a 314 litros per capita por dia no Japão.

Os regulamentos britânicos (BSI, 2010) fornecem valores de referência para projetistas de sistemas de reúso de água, tanto em sua produção quanto em seu consumo. De acordo com o trabalho, a produção de águas cinzas é estimada em 50 litros per capita por dia (Lpcd), considerando apenas as provenientes do banho, enquanto o consumo varia conforme o uso: descarga em vasos sanitários, 25 Lpcd; máquina de lavar roupa, 15 Lpcd; outros usos, como irrigação de jardins, 10 Lpcd. Para simplificar esses dados, o BSI (2010) apresenta uma tabela com os valores de produção e demanda de águas cinzas, dependendo da ocupação da residência, que pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores de referência para produção e demanda de sistemas de reúso de águas cinzas na Grã-Bretanha

Ocupação	Produção ¹	Demanda		
		Banheiro	Lavanderia	Outros usos ²
1 habitante	50	25	15	10
2 habitantes	100	50	30	20
3 habitantes	150	75	45	30

¹ Produção proveniente apenas do banho.

² por exemplo, irrigação de jardins.

Fonte: Adaptado de BSI (2010).

3.2.6. Viabilidade econômica

Para qualquer investimento planejado, é essencial conduzir uma avaliação econômica para determinar sua viabilidade. Uma revisão da literatura foi realizada sobre os trabalhos já publicados a respeito da viabilidade econômica a se adotar um sistema de reúso de águas cinzas, indicando qual o tempo de retorno do investimento da sua implantação em algumas cidades brasileiras, a fim de permitir comparações entre os resultados obtidos.

Santos (2008) realizou uma análise da viabilidade técnica e econômica da implementação de um sistema de reúso de águas cinzas para descargas em 30 unidades de vasos sanitários distribuídas em 15 pavimentos de um edifício em Vitória (ES). Os impactos financeiros foram demonstrados através da comparação entre os valores do projeto original e os de um projeto com reúso de águas cinzas. A adoção do projeto com reúso de águas cinzas resultou em um acréscimo de 64% no valor do projeto original, sendo a estação de tratamento de águas cinzas o item mais oneroso. O período de retorno do investimento foi de 4,5 anos, sem considerar a aplicação da taxa de Bonificação e Despesas Indiretas (BDI).

Sella (2011) apresentou um estudo sobre a viabilidade de implantação de um sistema para a reutilização das águas cinzas em uma edificação unifamiliar de dois pavimentos com ocupação de 10 pessoas em Porto Alegre (RS). O trabalho foi delimitado no uso exclusivo de água não potável para descargas de vasos sanitários, irrigação de jardins e lavagem de calçadas. Verificou-se uma economia de consumo de água potável de 29% em comparação com uma casa sem o sistema de reutilização de águas. O período de retorno do investimento foi calculado em 11,9 anos. Além disso, o autor comparou o cenário com uma residência similar na cidade de São Paulo (SP), onde o tempo de retorno seria de 9,95 anos, devido a uma tarifa diferenciada.

Leite e Medeiros (2015) estudaram a viabilidade econômica no sistema de reúso de águas cinzas para fins menos nobres em uma edificação residencial com 36 pavimentos em Recife (PE). Com base nos resultados obtidos foi possível comprovar a grande redução no consumo de água que seria utilizada para um consumo menos nobre e que não necessita de uma boa qualidade (que são a descarga em bacias sanitárias e a rega de jardins). A análise dos resultados revelou que o tempo necessário para recuperar o investimento na implementação desse sistema foi de aproximadamente 11 meses.

Vilela (2019) realizou um trabalho visando determinar o período de retorno do investimento em um sistema de reutilização de águas cinzas para fins não potáveis em um edifício residencial multifamiliar habitado por 126 pessoas em Uberlândia (MG), utilizando uma ferramenta BIM. A análise dos resultados revelou que o tempo necessário para recuperar o investimento na implementação desse sistema foi de aproximadamente 7,7 anos. O fornecimento de água de reúso foi restrito às descargas de bacias sanitárias e torneiras.

Masala e Coelho (2021) averiguou a viabilidade econômica das águas cinzas geradas nos lavatórios das instalações sanitárias do prédio 20 do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Os resultados desta pesquisa indicam que as águas cinzas possuem características favoráveis para reutilização, mesmo quando o volume demandado é significativamente maior que o gerado. Além disso, o investimento necessário para a implementação do sistema descrito seria recuperado em 38 meses.

Queiroz (2022) realizou um estudo de caso de uma unidade habitacional unifamiliar incluindo a análise dos custos associados à instalação de um sistema de reutilização de águas cinzas, compreendendo um tanque séptico, uma vala de filtração, dois reservatórios e uma bomba. O sistema mostrou-se economicamente viável devido ao benefício custo, no final do horizonte do projeto, ter apresentado um valor de 1,06. O período de retorno estabelecido foi em 20 anos.

Ao analisar os estudos de Santos (2008), Sella (2011), Leite e Medeiros (2015) e Vilela (2019), nota-se que os períodos de retorno do investimento foram de 4,5 anos; 11,9 anos, 11 meses e 7,7 anos, respectivamente. Isso sugere que o retorno financeiro está relacionado à altura do edifício. Em outras palavras, quanto mais alto o prédio, menor o tempo necessário para recuperar o investimento. Isso pode ser explicado pelo fato de que, ao aumentar a altura do edifício, em um mesmo padrão, mais apartamentos, com consequente maior quantidade de aparelhos sanitários possíveis de serem alimentados pelo sistema de reúso de águas cinzas (Vilela, 2019).

3.3. ÁGUA DE CONDENSAÇÃO EM EDIFICAÇÕES

Antes de explorar estratégias para aproveitar a água oriunda dos aparelhos condicionadores de ar, é fundamental compreender como esses aparelhos operam e por que a água gerada, muitas vezes, é descartada.

Os aparelhos de ar condicionado regulam a temperatura dos ambientes para proporcionar conforto térmico, tanto aquecendo quanto refrigerando. Eles realizam a troca de temperatura do ar ao passá-lo pela serpentina do evaporador, onde ocorre uma queda ou aumento de temperatura, dependendo do ciclo utilizado, além de reduzir a umidade relativa do ar. Um sensor no evaporador monitora a temperatura, desligando o compressor quando a temperatura desejada é alcançada, mantendo assim a temperatura ambiente. Qualquer variação na temperatura desejada aciona novamente o compressor, que é responsável pela circulação do gás refrigerante no sistema. Os aparelhos de ar condicionado consistem em quatro componentes básicos: compressor, condensador, evaporador e motor ventilador (FORTES *et al.*, 2015).

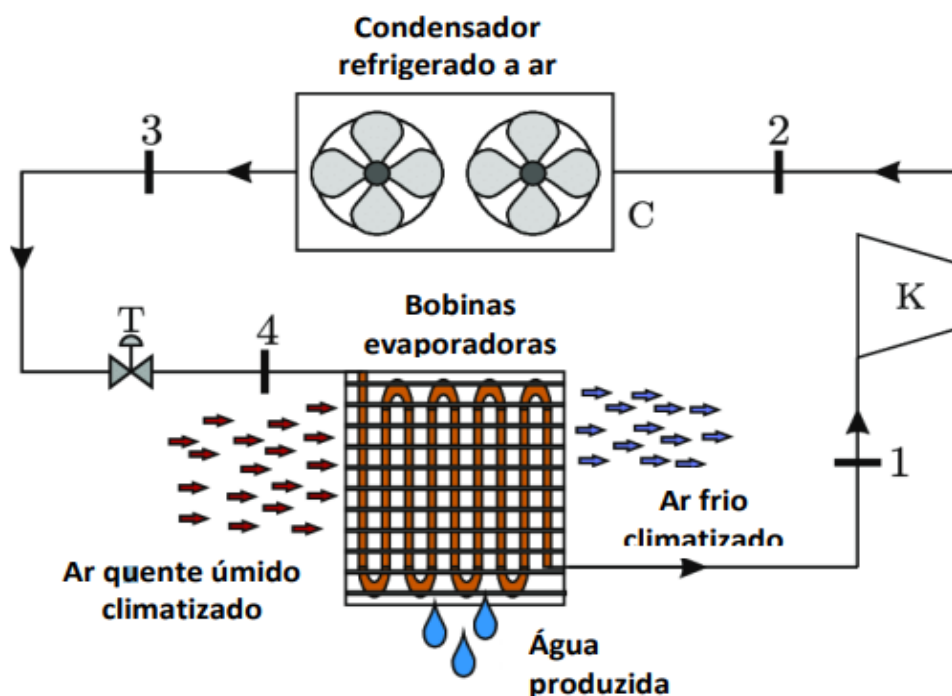
De acordo com Dossat (2004), um sistema de refrigeração é qualquer processo destinado a retirar calor, enquanto a refrigeração é o campo da ciência responsável por reduzir e manter a temperatura de um espaço ou material abaixo da temperatura ambiente circundante. Com a capacidade de controlar tanto a temperatura quanto a umidade do ambiente, os condicionadores de ar viabilizaram o armazenamento de certos alimentos mantendo sua qualidade, uma vez que é possível conservá-los a temperaturas muito próximas do ponto de congelamento.

A água é produzida dentro dos aparelhos por meio do processo de condensação. Esse processo envolve a conversão do vapor de água quente em água líquida e acontece quando o vapor entra em contato com uma superfície mais fria nas bobinas do equipamento, mudando do estado gasoso para o líquido através da condensação (MARINHO, 2018).

O sistema de refrigeração mais comum é basicamente formado por 4 componente principais, como mostra na Figura 8. O compressor (K) é responsável por aumentar a pressão do fluido refrigerante. Em seguida, o fluido (2) passa para o condensador (C), onde é transformado em estado líquido. Depois, entra na válvula de expansão (T), onde ocorre a expansão através de um processo de estrangulamento, resultando em resfriamento. O fluido refrigerado é então direcionado para as serpentinas dentro do evaporador (4), onde o ar quente e úmido passa e entra em contato com a superfície fria das serpentinas. O calor é transferido

das serpentinas para o fluido refrigerante, reiniciando o ciclo (HABEEBULLAH *et al.*, 2009 *apud* RODRIGUES, 2020).

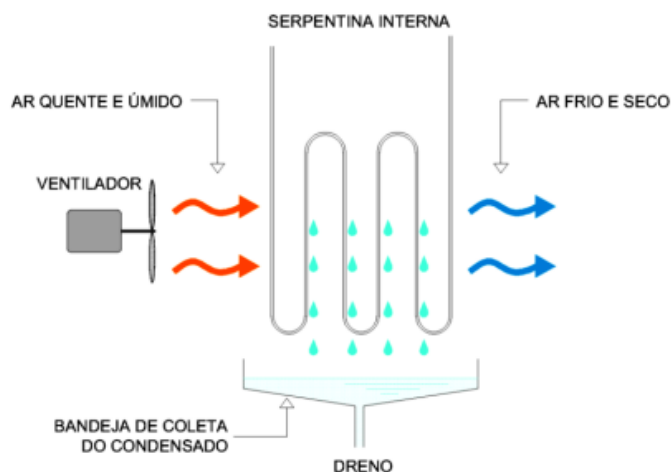
Figura 8 - Funcionamento de um aparelho de ar condicionado



Fonte: Solís-Chaves *et al.* (2017) *apud* Rodrigues (2020).

No decorrer desse processo, uma determinada quantidade de água é liberada devido à condensação que ocorre. Essa água é direcionada para um dreno e é então liberada no ambiente externo, de acordo com Rodrigues *et al.* (2019). A Figura 9 mostra como essa água condensada é encaminhada para o dreno.

Figura 9 - Sistema de condensação de água na serpentina do condicionador de ar



Fonte: Bastos (2012) *apud* Rodrigues (2018).

Conforme Bastos *et al.* (2015), o processo de condensação dos aparelhos de ar condicionado gera uma água que não possui a finalidade de ser limpa ou própria para o consumo humano. Isso levanta a importância de avaliar a qualidade dessa água captada para determinar se há potenciais riscos à saúde humana associados ao seu uso e, caso não haja, identificar suas possíveis aplicações. Além disso, é necessário quantificar essa água e analisar sua viabilidade para diferentes fins.

3.3.1. Qualidade da água oriunda de aparelhos de ar condicionado

De acordo com Glawe (2013), microrganismos como bactérias e vírus presentes no ar, tanto no ambiente interno quanto no ambiente externo podem se acumular nas serpentinas dos aparelhos de ar condicionado. As reações químicas e físicas entre o metal das serpentinas, geralmente feitas de cobre, e a água condensada podem resultar na captura de diversas moléculas ou partículas durante a formação ou transporte do condensado. Isso, por sua vez, pode levar à contaminação da água condensada.

Carvalho (2012), caracterizou a qualidade da água condensada de aparelhos de ar condicionado no campus do IFMT em seis unidades administrativas com 20 aparelhos de ar condicionado ao total, em funcionamento por no mínimo 12 (doze) horas diárias. Os valores identificados para os parâmetros de dureza, alcalinidade e cloretos foram significativamente inferiores aos limites estabelecidos pela Portaria MS Nº 518/2005 (vigente na época do estudo). A autora concluiu que não houve variações significativas nos parâmetros físico-químicos ao longo das análises. Isso sugere que a água normalmente descartada pelos aparelhos condensadores possui um potencial considerável para fornecer à sociedade em geral uma alternativa viável de aproveitamento.

Fortes *et al.* (2015) estudaram a qualidade e a viabilidade do reaproveitamento da água de condensação em instituições, como universidades. Os resultados indicaram que a água não apresentou variações significativas em relação aos padrões normativos, sugerindo ser uma alternativa promissora para o reaproveitamento. Além disso, a instalação do projeto de captação foi considerada viável em termos de custos, especialmente quando comparada aos gastos de uma instituição de grande porte, como uma universidade.

Segundo Cunha *et al.* (2015), a água condensada é considerada uma alternativa viável e segura, com qualidade adequada conforme os requisitos da Portaria de potabilidade MS Nº

2.914/2011 (vigente na época), a norma NBR 15.527:2007 e os padrões estabelecidos no Manual de Conservação e Reúso de Água em Edificações (ANA, 2005).

3.3.2. Quantificação da água oriunda de aparelhos de ar condicionado

O aproveitamento da água produzida pelos aparelhos condicionadores de ar requer uma coleta eficaz de cada sistema de drenagem dos aparelhos, que pode ser canalizada para um sistema de coleta e armazenamento adequado.

Silva *et al.* (2023), examinou a quantidade de volume condensado gerado no evaporador de um sistema de refrigeração, sua relação com o desempenho energético do sistema (COP) e com a umidade relativa do ar circundante. Eles observaram uma forte correlação entre o volume de condensado e a umidade relativa do ar, indicando que os ganhos são mais expressivos à medida que a quantidade de vapor de água na atmosfera se aproxima do ponto de saturação. Com base nos dados coletados, os autores concluíram que um ar condicionado de modelo split de 18000 BTU, operando por 12 horas diárias, em uma umidade relativa do ar de aproximadamente 77%, pode gerar até 396,2 litros de água por mês. Em termos econômicos, isso resulta em uma redução de R\$ 0,72 na conta de água, nessas condições específicas.

Marinho *et al.* (2021), está a análise quantitativa da vazão da água gerada pela condensação nos aparelhos de ar condicionado na cidade de João Pessoa (PB). Foram estudadas as vazões da água condensada em 13 condicionadores de ar distintos. A partir dos resultados obtidos, foi possível delinear um modelo matemático que estimasse a vazão da água condensada em condicionadores de ar por meio da umidade e da potência dos aparelhos. Esse modelo permite avaliar se essa água é viável para usos não potáveis, como limpeza de pisos, descarga em vasos sanitários e irrigação, em uma determinada área. Os resultados geraram dois modelos matemáticos. O primeiro modelo foi desenvolvido para dispositivos com potência de até 30.000 BTUs/h, no entanto, este revelou uma margem de erro considerável, atingindo 28,7%. O segundo modelo foi elaborado para aparelhos de até 24.000 BTUs/h e demonstrou uma margem de erro aceitável de 17,2%. O segundo modelo é descrito pela Equação 1 abaixo, onde Q é a vazão esperada (l/h), P é a potência do equipamento (BTUs/h) e H é a umidade relativa do ar (%).

$$Q = P * 4,10 * 10^{-5} + H * 1,25 * 10^{-2} - 0,215$$

Equação 1

Silva e Vasconcelos (2021), estudaram a viabilidade de utilizar a água condensada, provenientes de sistemas de ar condicionado, para fins não potáveis no 3º Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA III), localizado em Recife (PE). Após quantificarem as 39 unidades de aparelhos condicionadores de ar, foi possível determinar a vazão da água condensada oriundas desses equipamentos. A partir dos resultados encontrados, foi verificado uma produção de 2,53 m³ mensais de água condensada, resultando em 45% da demanda da atividade de irrigação de áreas de jardins do local, economia muito favorável no consumo da água potável.

3.3.3. Viabilidade econômica

A viabilidade econômica é um aspecto muito importante para a realização de um projeto, isso é, saber se o investimento terá o retorno esperado dentro do prazo determinado atendendo as expectativas.

Silva e Vasconcelos (2021), além de verificarem a economia da água potável, também estudaram a viabilidade econômica da implementação da coleta e reaproveitamento de água gerado pelos condicionadores de ar. A alternativa mostrou-se viável trazendo uma economia financeira de R\$ 64,17 mensais ao órgão onde foi realizado a pesquisa. Além disso, obtiveram um período de retorno de aproximadamente 10 meses, com um investimento de R\$ 630,99 para a implementação do sistema de coleta e armazenamento de água.

Fortes *et al.* (2015), analisou a viabilidade da instalação de um sistema de aproveitamento da água drenada de 12 aparelhos de ar condicionado instalados em 12 salas de uma universidade. Para a quantidade de vazão de água calculada, foi previsto a necessidade de dois reservatórios para o armazenamento, sendo essa vazão 45,5 litros por dia útil. O período de retorno calculado para o investimento foi alto, 6,76 anos. Os autores ressaltaram que apesar do período de retorno ter sido alto, o valor do custo de implantação do projeto foi estimado em R\$ 818,10, considerado baixos relacionado ao investimento em instituições de grande porte.

Silva (2023), realizou o estudo da viabilidade econômica para o reaproveitamento de água proveniente de aparelhos condicionadores de ar de uma residência padrão, com dois aparelhos de ar condicionado de 9000 BTUs. A análise do estudo foi feita por meio da razão benefício/custo, utilizando o método do Valor Presente Líquido. O valor do custo de implantação do projeto foi estimado em R\$ 171,10, configurando como de baixo custo. A

autora fez a análise para vários cenários e constatou que a viabilidade do projeto nem sempre ocorre, pois depende de muitos fatores como: a umidade do ar do local em que está instalado o equipamento, assim como da tarifa de água vigente na região, do período em que o equipamento ficará em funcionamento no interstício de 1 ano e da taxa de juros vigente no mercado. Assim, concluiu que há maior probabilidade de sucesso em cenários com taxa de juros de 2%, níveis de umidade de 70% e 80%, taxas máximas e médias e utilização do equipamento o ano todo. Isso porque esses fatores contribuem para uma maior vazão gerada pelo equipamento e maior economia.

Assim, podemos observar que, apesar do baixo custo de implementação, para se tornar viável a implantação de um sistema de aproveitamento de água oriunda de aparelhos condicionadores de ar depende de fatores como a umidade do ar, a vazão proveniente dos aparelhos, as taxas da tarifa da água.

4. COMPARAÇÃO ENTRE AS FONTES ALTERNATIVAS

Qualitativo

A qualidade da água de chuva é considerada relativamente limpa, mas pode conter poluentes atmosféricos e materiais particulados do telhado. Quando comparada ao sistema de reutilização de águas cinzas, apresenta a vantagem de necessitar de tratamento mais simples (MAY, 2009). Essa última modalidade requer uma atenção maior no tratamento, por existir contaminantes domésticos, como sabão e outros produtos químicos. Por outro lado, a água de condensação do ar condicionado é geralmente limpa, requerendo poucos processos de purificação.

Quantitativo

A quantidade de água de chuva coletada depende da precipitação e da área de captação, enquanto as águas cinzas são geradas diariamente em proporção ao consumo. A água cinza se mostra com vantagens por não depender dos índices pluviométricos, sua vazão depende exclusivamente do uso de água potável na edificação (OLIVEIRA e ALVES, 2020). A quantidade de água de condensação produzida depende do uso e eficiência do sistema de ar condicionado, bem como das condições ambientais, fatores como a umidade do ar, a vazão proveniente dos aparelhos. Em climas quentes e úmidos, a quantidade pode ser considerável.

Viabilidade Econômica

Os custos iniciais para instalação de um sistema de captação de água de chuva são mais elevados, incluindo o reservatório de armazenamento, que dependendo do seu volume dimensionado e o baixo índice pluviométrico pode tornar o projeto oneroso (CAVALCANTE, 2017). Um sistema de reúso de águas cinzas também pode apresentar-se oneroso, dependendo da estação de tratamento (SANTOS, 2008). Por outro lado, a água de condensação de ar condicionado, como anteriormente citados nas pesquisas, apresenta baixíssimos custo de implementação, entretanto sua viabilidade pode variar dependendo de fatores como a umidade do ar, a vazão proveniente dos aparelhos, as taxas da tarifa da água.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar e comparar as fontes alternativas é possível observar a complexidade e a diversidade para mitigar a escassez hídrica. Cada uma dessas fontes apresenta, vantagens e desafios, destacando a importância de uma abordagem abrangente e contextualizada na busca por soluções eficazes.

A escolha entre as fontes alternativas de água necessita de uma análise abrangente, considerando não só apenas fatores técnicos, econômicos e ambientais, mas também os contextos sociais e específicos de cada região. A integração dessas fontes dentro de uma estratégia global sustentável dos recursos hídricos pode contribuir significativamente para fortalecer a capacidade das comunidades em enfrentar os desafios atuais e futuros relacionados à oferta de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, NBR. 13969. **Tanques sépticos-Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos-Projeto, construção e operação**, 1997.

ABNT, NBR. 15527. **Aproveitamento de água de chuva de cobertas para fins não potáveis – Requisitos**, 2019.

ABNT, NBR. 7229. **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**, 1997a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. (2005) **Conservação e reuso da água em edificações**. MMA/ANA/SINDUSCON/COMASP/FIESP/SESI/SENAI/IRS. São Paulo, Volume único. 152 p.

ANA, FIESP & AMP; SINDUSCON-SP. **Conservação e reuso de água nas edificações**. São Paulo: junho de 2005. Prol Editora Gráfica. 151 p.

BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações**. 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 8525-1: greywater systems – part 1: code of practice**. London: BSI, 2010.

CALDAS, J.; CAMBOIM, W. L. L. Aproveitamento da água dos aparelhos condicionadores de ar para fins não potáveis: avaliação da viabilidade de implantação em um bloco do Unipê. **Interscientia**, v. 5, n. 1, p. 166-188, 2017.

CARDOSO, R. N. C. **Viabilidade econômica de sistemas de captação de água da chuva para fins não potáveis em dois prédios da universidade federal do Pará**. 2018. 133 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém.

CARVALHO, M. T. C. **Caracterização quali-quantitativa da água da condensadora de aparelhos de ar condicionado**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBINETAL, 3., 2012, Goiânia. Anais. 2012. 1-4.

CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITTKKE, Bruno Hartmut. **Análise de Investimentos**. 9. Ed. São Paulo: Atlas, 2000. 458 p.

CAVALCANTE, Geórgia Fernanda F. **Implantação De Sistemas De Uso De Águas Cinzas E Aproveitamento De Águas Pluviais Em Um Residencial Multifamiliar De Pequeno Porte**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017, 87 p.

CHAIB, E. B.; RODRIGUES, F. C.; MAIA, B. H.; NASCIMENTO, N. O. Avaliação do potencial de redução do consumo de água potável por meio da implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações unifamiliares. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 3, p. 605-614, 2015.

CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MACFARLANE, S. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. **Desalination**. V.106, n. 1-3, p. 391- 397, 1996.

COSTA, T. H. S. **Avaliação quali-quantitativa de águas cinza para uso em um condomínio residencial**. 2020. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

CUNHA, J. A. O.; OZÓRIO, C. V. de L.; PIRES, R. B.; ALMEIDA, J. V.; MELO, I. E.; WILLIAN, P. Quantificação e caracterização das águas de aparelhos de ar condicionados para uma proposta de reúso direto no IFCE-campus Quixadá (Ceará). In: ENCONTRO INTERCONTINENTAL SOBRE A NATUREZA, 7, 2015, Fortaleza, CE. Anais... Fortaleza: Instituto Hidroambiental Águas do Brasil, 2015. Disponível em: https://www.ihab.org.br/o2015/trabalhos_completos/22.pdf. Acesso em: 20 abril 2024.

IBGE (Brasil). De 2010 a 2022, população brasileira cresce 6,5% e chega a 203,1 milhões. [S. l.]: IBGE/Umberlândia Cabral, 28 jun. 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37237-de-2010-a-2022-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes>. Acesso em: 22 abr. 2023.

DALSENTER, M. E. V. **Estudo de potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial em um condomínio residencial multifamiliar localizado em Florianópolis-SC**. 2016. 74p. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

DOSSAT, ROY J. **Princípios de Refrigeração**. Hemus, 2004.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; MOGENS, H.; LEDIN, A. A characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, v. 4, n. 1, p. 58 – 104, 2002.

FERRAZ, E. K. V. **Relação entre o coeficiente de eficiência volumétrica e indicadores de viabilidade econômica em sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais**. 2022. 161 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil e ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

FILHO, A. O. N., *et al.* Potencial de aproveitamento de água pluvial em áreas urbanas na bacia do rio verde. **Semioses**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2. abr./jun. 2019. Disponível em: <https://revistas.unisum.edu.br/index.php/semioses/article/view/319/137>. Acesso em: 02 abr. 2024.

FIORI, Simone; FERNANDES, Vera Maria Cartana; PIZZO, Henrique. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinza em edificações. **Ambiente Construído: Sistemas Prediais**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p.19-30, jan./mar. 2006. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13563/2/MD_COGEA_2011_2_13.pdf. Acesso em: 08 mar. 2024.

FORTES, P. D.; JARDIM, PATRICK W. C. F. P. M. G.; FERNANDES, J. G. **Aproveitamento de água proveniente de aparelhos de ar condicionado**. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 12., 2015, Resende. Anais. Resende: AEDB, 2015. 1-16.

FURTADO, D. A.; KONIG, A. **Gestão Integrada de Recursos Hídricos**. Campina Grande: Gráfica Agenda, 2008.

GHISI, E.; FERREIRA, D. F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 7, p. 2512-2522, 2007.

GLAWE, D. **San Antonio Condensate Collection and Use Manual for Commercial Buildings**. San Antonio Water System, 2013.

GOMES, Heber Pimentel. **Abastecimento de Água**. João Pessoa: LENHS/UFPB, 2019. 464p.

GONÇALVES, R. F. (coordenador). **Conservação de Água e Energia em Sistemas Prediais e Públicos de Abastecimento de Água**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

GUANAYEM, M. Environmental considerations with respect to Rainwater harvesting. Palestine, Applied Research Institute-Jerusalem. In: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS. Manhein, 2001. Proceedings, Germany, 2001. P11.

HENZE, M.; LEDIN, A. Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewaters. New York: IWA Published, 2001.

ICHIHARA, Jorge de Araujo; DUARTE André Montenegro. Viabilidade Econômica in RENDEIRO, Gonçalo (Coord). **COMBUSTÃO E GASIFICAÇÃO DE BIOMASSA SÓLIDA Soluções Energéticas para a Amazônia**. MME-PUD-UFPA-Fadesp. Brasília. 2008.

ILHA, M. S. O.; CAMPOS, M. A. S. Qualidade de investimentos no uso de água pluvial: Particles Swarm Optimization para a maximização do valor presente líquido. **Eng Sanit Ambient**, v. 19, n.4, p. 373-382, 2014.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico no brasil**. São Paulo, 2022. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Relatorio_Completo.pdf. Acesso em: 10 mar. 2024.

JEFFERSON, *et al.* Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water*. 1, p. 258-292, 1999.

JING, X.; ZHANG, S.; ZHANG, J.; WANG, Y.; WANG, Y.; Assessing efficiency and economic viability of rainwater harvesting systems for meeting non-potable water demands in four climatic zones of China. *Resources, Conservation and Recycling*, v.126, p. 74-85, 2017.

JULIANA, I. C. *et al.* Performance of rainwater harvesting system based on roof 98 catchment area and storage tank capacity. **MATEC Web of Conferences**, v. 101, p. 1–6, 2017.

LEAL, U. Ciclo da água na edificação. *Téchne*, v.9, n. 48, p. 45-6, set/out, 2000.

LUNA, Ysa Helena Diniz Moraes de. **Eficiência Volumétrica de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva em Edificações Residenciais**. Qualificação de doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba, 2020.

LUNA, Y. H. D. M., *et al.* Qualidade da água de chuva em João Pessoa: estudo comparativo com diversos padrões de qualidade conforme os usos pretendidos para água em edificações residenciais. **Gesta**, v. 2, n. 1, p. 53-68, 2014.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. Barueri-SP: Manole, 2003.

MARINHO, D. S. **Análise quantitativa da vazão da água condensada em aparelhos condicionadores de ar para fins não potáveis**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018, 58 p.

MARINHO, D.S.; ATHAYDE JÚNIOR, G.B.; QUARESMA, I.N. **Estimativa da vazão de água condensada proveniente de aparelhos condicionadores de ar**. Research, Society and Development. V 10, Nº 13, e104101321100. 2021.

MARINOSKI, Ana Kelly. **Método para a avaliação de viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial**. 2010. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

MARINOSKI, Deivis Luis; GHISI, Enedir; GÓMEZ, Luis Alberto. Aproveitamento de água pluvial e dimensionamento de reservatório para fins não potáveis: Estudo de caso em 99 um conjunto residencial localizado em Florianópolis–SC. In: **I Conferência Latinoamericana de Construção Sustentável, X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. 2004.

MASALA, A. Y; COELHO, L. M. G. Avaliação de implantação de sistema de reúso de águas cinzas para fins não potáveis em uma edificação de ensino. **Gesta**, v. 9, n. 2, p. 158-174, 2021.

MAY, Simone. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2009. 222p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MENDONÇA, P. A. O. Reúso de água em edifícios públicos. O caso da escola politécnica. Salvador, 2004. 162 p. Dissertação (Mestrado em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2004.

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C. De. Aplicação de programa computacional no dimensionamento de volume de reservatório para sistema de aproveitamento de água pluvial na cidade de Ponta Grossa, PR. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. D, p. 36–48, 2010.

NAKADA, L. Y. K; MORUZZI, R. B. Variabilidade qualitativa de águas pluviais coletadas em telhado e sua importância na concepção do sistema de tratamento. **Eng Sanit Ambient**, v. 19, n.1, p. 1-9, 2014.

NOLDE, E. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-story buildings – over ten years experience in Berlin. **Urban Water**. v. 1, n. 4, p. 275-284, 1999.

NSW HEALTH. Greywater reuse in Sewered single domestic premises, Sidney, 2002. Disponível em: <https://www.health.nsw.gov.au/environment/domesticwastewater/Documents/greywater-reuse-policy.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2004.

DE OLIVEIRA, Leandro Menezes; ALVES, Lais Amaral. Estudo sobre modalidades de reaproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas para uso residencial. **Boletim do Gerenciamento**, [S.l.], v. 13, n. 13, p. 10-20, abr. 2020. ISSN 2595-6531. Disponível em: <<https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/348>>. Acesso em: 23 abr. 2024.

OTTOSON, J.; STENSTROM, T. A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Water Research*. V. 37, n. 3, p. 645 – 655, 2003.

OWEIS, T.; HACHUM, A. Water harvesting for improved rainfed agriculture in the dry environments. **Rainfed Agriculture: Unlocking the Potential**, n. January 1999, p. 164– 181, 2009.

QUEIROZ, R. Q. **Sistema de reúso de águas cinzas para fins não potáveis: viabilidade econômica e aceitação social**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2022, 59 p.

REBÊLO, Marcelle M. P. S. **Características de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2011.

ROCHA, D. P. B. **Sistema de reúso de água proveniente de aparelhos de ar condicionados para fins não potáveis: estudo de caso aplicado ao Centro de Tecnologia da UFRN**. 2017. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

RODRIGUES, J. O. N. **Avaliação da viabilidade e aceitação social do uso da água clara oriunda de aparelhos de ar-condicionado**. 2020. Dissertação (Mestrado em

Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba, Joao Pessoa, 2021.

RODRIGUES, J. O. N.; CABRAL DA SILVA, T.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B. **Análise qualitativa da água condensada gerada por aparelhos de ar-condicionado**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 160–174, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/30779>. Acesso em: 20 abril 2024.

RODRIGUES, L. C. S. **Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória-ES**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

SALLA, M. R. et al. Viabilidade técnica de implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em universidade. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 2, p. 167–181, 2013.

SAMAYAMANTHULA, D. R.; SABARATHINAM, C.; BHANDARY, H. Treatment and effective utilization of greywater. *Applied Water Science*, v. 9, n. 4, p. 1-12, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-019-0966-0>. Acesso em: 15 abr. 2024.

SAMPAIO, F. E. DE O. V.; ALVES, C. DE M. A. A procedure to analyze the viability of rainwater harvesting systems in urban areas based on pre-defined diagrams. **Rbrh**, v. 22, n. 100 0, 2017.

SANTASMASAS, C.; ROVIRA, M.; CLARENS, F.; VALDERRAMA, C. Grey water reclamation by decentralized MBR prototype. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 72, p. 102-107, 2013.

SANTOS, D. C. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 7-18, 2002. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3429/1847>. Acesso em: 08 mar. 2024.

SANTOS, Wendel P. **Avaliação da viabilidade econômica do reúso de águas cinzas em edificações domiciliares**. 2008. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

SELLA, M. B. **Reúso de águas cinzas: avaliação da viabilidade de implantação do sistema em residências**. 201. 72 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SEVERIS, R. M., SILVA, S. A., WAHRLICH, J., SKORONSKI, E., SIMIONI, F. J., Economic analysis and risk-based assessment of the financial losses of domestic rainwater harvesting systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 146, p. 206-217, 2019.

SILVA, C.V. **Qualidade da água de chuva para consumo humano armazenado em cisternas de placa. Estudo de caso: Araçuaí, MG**. 115p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SILVA, *et al.* Reaproveitamento de condensado em evaporador de um sistema refrigeração. **Brazilian Journal of Development**, v.9, n.10, p. 27882-27899, 2023. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/63677/45982>. Acesso em: 21 abril 2024.

SILVA, L. M., VASCONCELOS, E. C. **Aproveitamento da água de condensação de aparelhos condicionadores de ar no quartel da aeronáutica, em Recife-PE**. In: Sustentare – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas, 3., – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade, 6., 2021. 1-14.

SILVA, J. K.; NUNES, L. G. C. F.; SILVA, S. R. Conservação de águas nas cidades. In: SILVA, Simone Rosa. **Conservação de água em prédios públicos no município do Recife**. Recife: Edupe, 2018. p. 29-46.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnósticos dos serviços de água e esgoto: visão geral (2022)**. Brasília: MCIDADES. SNSA. 2023.

TAVARES, A.C. **Aspectos físicos, químicos e microbiológicos da água armazenada em cisternas de comunidades rurais do semi-árido paraibano**. 169p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

TELLES, D. D'. A.; COSTA, R. H. P. C. (Coordenadores). **Reúso de água: Conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Blucher, 2010.

TOÉ, L. S. D.; BACK, A. J.; DELLA, J. P. **Estudo da viabilidade de um sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em um supermercado**. Criciúma: UNESC, 2015.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água da chuva**. 2 ed. São Paulo: Navegar, 2005.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar, 2003.

TOMAZ, P. **Conservação de água**. 1 ed. São Paulo: Parma, 1998.

TOMAZ, P. **Previsão do consumo de água**. São Paulo: Navegar, 2000.

VILELA, Letícia Rezende. **Análise da Viabilidade econômica de um sistema de reaproveitamento de água cinza, em edificação residencial, através do uso do BIM**. 2019. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

WATERFALL, P. H. Harvesting Rainwater for Landscape Use. University of Arizona Cooperative. Disponível em: <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1344.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2024.

XAVIER, R.P. **Influência de barreiras sanitárias na qualidade da água de chuva armazenada em cisternas no semiárido paraibano**. 114p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

ZABROCKI, Luciana; SANTOS, Daniel Costa Dos. **CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA CINZA EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. Saneamento ambiental Brasileiro: Utopia ou realidade? Abes - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. p. 1 –14.

ZHU, J.; WAGNER, M.; CORNEL, P.; CHEN, H.; DAI, X. Feasibility of on-site greywater reuse for toilet flushing in China. **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2018.