

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS A. C. SIMÕES
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC
ENGENHARIA CIVIL

SAMIRA NASCIMENTO DOS SANTOS

**POTENCIAL DE REÚSO DE EFLUENTES TRATADOS DE UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTOS EM MACEIÓ – AL**

MACEIÓ – AL
2024

SAMIRA NASCIMENTO DOS SANTOS

**POTENCIAL DE REÚSO DE EFLUENTES TRATADOS DE UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTOS EM MACEIÓ – AL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Alagoas, como requisito à obtenção
do título de Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dr^a Ivete Vasconcelos Lopes
Ferreira

Coorientador: Prof. Dr. Marcio Gomes Barboza.

MACEIÓ – AL

2024

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Cláudio Albuquerque Reis – CRB-4 – 1753

S237p Santos, Samira Nascimento dos.
Potencial de reúso de efluentes tratados de uma estação de tratamento de esgotos em Maceió / Samira Nascimento dos Santos. – 2024.
79 f. : il.

Orientador: Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira.
Coorientador: Márcio Gomes Barboza.

Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2024.

Bibliografia. f. 62-67.
Anexos. f. 68-79.

1. Engenharia Civil. 2. Água - reúso. 3. Água - qualidade. 4. Tratamento de esgoto sanitário. I. Título.


CDU: 627:628.16

Folha de Aprovação


SAMIRA NASCIMENTO DOS SANTOS

POTENCIAL DE REÚSO DE EFLUENTES TRATADOS DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS EM MACEIÓ – AL

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal de Alagoas e
aprovada em 19 de novembro de 2024.


Documento assinado digitalmente
 **IVETE VASCONCELOS LOPES FERREIRA**
Data: 06/01/2025 16:22:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientadora: Prof. Dr. Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira – Universidade Federal de
Alagoas


Documento assinado digitalmente
 **MARCIO GOMES BARBOZA**
Data: 06/01/2025 19:35:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Coorientador: Prof. Dr. Marcio Gomes Barboza – Universidade Federal de Alagoas

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **EDUARDO LUCENA CAVALCANTE DE AMORIM**
Data: 06/01/2025 19:49:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador Interno – Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim – Universidade
Federal de Alagoas

Documento assinado digitalmente
 **KARINA RIBEIRO SALOMON**
Data: 06/01/2025 23:35:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador Interno – Prof. Dr^a. Karina Ribeiro Salomon – Universidade Federal de
Alagoas

Aos meus amados pais, José Bispo e Silvaneide, que nunca me abandonaram, nem nos momentos mais desafiadores. Esta conquista é dedicada a vocês, que são minha maior motivação e fonte de força.

AGRADECIMENTOS

É clichê, eu sei, mas, primeiramente, agradeço a Deus e a Seu filho Jesus Cristo, por me sustentar em todos os momentos da minha jornada, especialmente nos mais difíceis. Sem Ele eu não teria chegado tão longe. Não fui forte e corajosa o tempo todo, mas Ele sempre me amparou.

Aos meus amados pais, José Bispo e Silvaneide, sou eternamente grata. Vocês são minha base, sempre me apoiaram e acreditaram em mim, mesmo quando eu não merecia. Não mereço o amor e o sacrifício de vocês, mas é graças a isso que cheguei até aqui. Conseguimos, pai e mãe!

Aos meus irmãos, Sabrina e Lucas, reconheço que não fui a irmã que vocês mereciam, mas vocês sempre foram os irmãos que eu precisava. Vocês completaram a minha vida e tornaram a minha jornada muito mais leve.

A minha princesa Laura, ser sua mãe foi a melhor coisa que me aconteceu. Você ilumina os meus dias e me inspira a ser uma pessoa melhor. Você é a razão pela qual eu lutei todos esses anos, e por você, eu vou buscar sempre o melhor.

À minha orientadora, Prof^a Dr^a Ivete Vasconcelos, expresso minha profunda gratidão. Sua orientação, disponibilidade, conhecimento e apoio foram fundamentais para a realização deste estudo. Ao meu coorientador, Prof. Dr. Marcio Barboza, sou grata por sua valiosa contribuição e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho. Seu apoio foi essencial para o aprimoramento do projeto.

À minha agora colega de profissão, Jéssica, que de chefe se transformou em amiga e me deu total apoio durante os últimos anos de faculdade. Sua amizade e incentivo foram fundamentais nessa reta final, e sou eternamente grata em ter a mãe do Miguelito ao meu lado.

A SANAMA e a sua equipe, especialmente ao Carlos, que se dispôs a me ajudar no meu trabalho, compartilhando os dados necessários e seu conhecimento sobre o assunto. Agradeço imensamente pelo apoio e pela colaboração. Estagiar numa empresa de saneamento foi uma experiência transformadora que aumentou o meu apreço pelo saneamento básico e a importância da gestão de recursos hídricos. Conviver com profissionais dedicados me ajudou a aplicar as práticas dos conhecimentos adquiridos na faculdade, enriquecendo a minha formação.

Aos meus colegas de faculdade, agradeço pela troca de experiência e pelo apoio mútuo durante os infinitos desafios que enfrentamos juntos. Sofremos, mas conseguimos! Obrigada por fazerem parte desta etapa da minha vida.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram na minha formação e na realização deste trabalho. Cada apoio e incentivo foram fundamentais para que eu pudesse completar essa jornada. Espero poder retribuir vocês de alguma forma.

“A água é a força motriz da natureza.”

(Leonardo da Vinci)

RESUMO

A implementação do Saneamento Focado em Recursos surge como uma solução eficaz para preservar o meio ambiente e proteger a saúde pública, ao prevenir os impactos negativos do descarte inadequado de resíduos, fezes, urina e águas servidas. Essa abordagem vai além do tratamento de efluentes, promovendo também a reutilização de subprodutos como lodo, biogás e efluentes tratados, desempenhando papel essencial na gestão responsável dos recursos hídricos. A reutilização da água, por meio da aplicação de águas residuárias tratadas em diversas finalidades, busca maximizar o aproveitamento da água de reúso, tornando-a segura para usos específicos e contribuindo para a conservação dos recursos hídricos. A adoção de práticas de reúso de água representa um passo significativo em direção à economia circular. Neste contexto, o presente trabalho analisou o potencial de reúso de efluentes tratados provenientes da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Benedito Bentes, em Maceió-AL. A análise foi conduzida por meio de uma abordagem integrada, quantitativa e qualitativa, com o objetivo de avaliar a viabilidade e os benefícios do reúso sustentável desses efluentes, contribuindo para a gestão eficiente dos recursos hídricos da região. A metodologia incluiu a descrição detalhada da área de estudo, levantamento de dados qualitativos e quantitativos sobre o efluente, além da análise comparativa com a legislação e normas vigentes sobre reúso. Os resultados obtidos destacaram um potencial significativo para o reúso não potável do efluente tratado na ETE Benedito Bentes, com diversas aplicações, embora alguns parâmetros exijam ajustes para atender plenamente aos padrões normativos. O estudo considerou o uso da água de reúso para atividades como agricultura e irrigação de áreas públicas. Além disso, a construção civil e as indústrias foram identificadas como potenciais consumidores para estudos futuros, ampliando a compreensão e as oportunidades para a implementação do reúso na região. A integração das informações qualitativas e quantitativas proporcionou uma visão abrangente da qualidade do efluente e sua adequação para diferentes finalidades, possibilitando decisões mais assertivas sobre o uso de água de reúso na região. Em relação às informações quantitativas, a produção de água de reúso na ETE atualmente é de 25 m³/hora. A demanda total dos potenciais consumidores identificados no estudo soma 17.440 m³ mensais, o que demonstra que a produção atual de água de reúso é suficiente para atender a essa demanda, evidenciando a viabilidade do uso do efluente tratado para irrigação e manutenção de áreas verdes. Na esfera qualitativa, a média anual da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) para o ano de 2023 foi de 20,45 mg/L, e o Cloro Residual apresentou média de 1,35 mg/L. Também foram analisados parâmetros como Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo. Por fim, ressalta-se a necessidade de uma legislação federal específica sobre o reúso de efluentes tratados. A criação de um marco

regulatório abrangente e bem definido pode fornecer diretrizes claras e consistentes, auxiliando na harmonização das normas existentes em diferentes estados e municípios, e assegurando a segurança e a qualidade do uso da água de reúso em todo o país.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes; Água de reúso; Legislação; Qualidade da água.

ABSTRACT/RÉSUMÉ/RESUMEN

The implementation of Resource-Focused Sanitation emerges as an effective solution to preserve the environment and protect public health by preventing the negative impacts of improper disposal of waste, feces, urine, and wastewater. This approach goes beyond effluent treatment, also promoting the reuse of by-products such as sludge, biogas, and treated effluent, playing a crucial role in the responsible management of water resources. Water reuse, through the application of treated wastewater for various purposes, aims to maximize the utilization of reclaimed water, making it safe for specific uses and contributing to the conservation of water resources. The adoption of water reuse practices represents a significant step toward a circular economy. In this context, this study analyzed the potential for the reuse of treated effluents from the Benedito Bentes Wastewater Treatment Plant (ETE) in Maceió-AL. The analysis was conducted through an integrated approach, both quantitative and qualitative, with the objective of assessing the feasibility and benefits of sustainable reuse of these effluents, contributing to the efficient management of the region's water resources. The methodology included a detailed description of the study area, the collection of qualitative and quantitative data on the effluent, and a comparative analysis of these data with existing legislation and standards regarding reuse. The results obtained highlighted a significant potential for non-potable reuse of the treated effluent from ETE Benedito Bentes, with various applications, although some parameters require adjustments to fully meet regulatory standards. The study considered the use of reclaimed water for activities such as agriculture and public area irrigation. Furthermore, the construction sector and industries were identified as potential consumers for future studies, expanding the understanding and opportunities for the implementation of reuse in the region. The integration of qualitative and quantitative data provided a comprehensive view of the effluent quality and its suitability for different purposes, enabling more assertive decisions regarding the use of reclaimed water in the region. Regarding the quantitative information, the current production of reclaimed water at ETE is 25 m³/hour. The total demand of the potential consumers identified in the study adds up to 17,440 m³ per month, which demonstrates that the current production of reclaimed water is sufficient to meet this demand, evidencing the feasibility of using treated effluent for irrigation and maintenance of green areas. On the qualitative side, the annual average Biochemical Oxygen Demand (BOD) for 2023 was 20.45 mg/L, and the average Residual Chlorine was 1.35 mg/L. Other parameters such as Thermotolerant Coliforms, Ammoniacal Nitrogen, and Phosphorus were also analyzed. Finally, there is a highlighted need for specific federal legislation on the reuse of treated effluents. The creation of a comprehensive and well-defined regulatory framework can provide clear and

consistent guidelines, aiding in the harmonization of existing standards in different states and municipalities, and ensuring the safety and quality of reclaimed water use throughout the country.

4o mini

Keywords: Wastewater treatment; Reused water; Legislation; Water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estágios de Tratamento de Esgoto	21
Figura 2 - Matriz de processos alternativos de tratamento aplicados na recuperação e reúso de efluentes.....	24
Figura 3 - Classificação dos tipos de reúso segundo Westerhoff (1984).....	28
Figura 4 – Localização Estação de Tratamento de Esgoto Benedito Bentes.....	44
Figura 5 – Fotografia Aérea da ETE Benedito Bentes	45
Figura 6 - Peneira Rotoscreen Meva, modelo RS 14-110-3	45
Figura 7 – Rosca transportadora de resíduos das peneiras	46
Figura 8 – Caixas de Areia (Planta e Corte)	46
Figura 9 – Operação do CFIC ® Estágio Único.....	47
Figura 10 - Biomedia Miowater com biofilme, BWT X ®	47
Figura 11 – Detalhes internos do reator CFIC ®	48
Figura 12 – Cultivo de Cana-de-Açúcar.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de Engenharia para estimativas da demanda residencial de água.....	30
Tabela 2 – Parâmetros de engenharia estimativas da demanda residencial de água potável para uso externo.....	31
Tabela 3 – Média de consumo residencial de água potável para o Brasil conforme USP, 1999 programa PURA	31
Tabela 4 – Equações que fornecem o volume médio mensal de água.....	32
Tabela 5 – Principais parâmetros de qualidade de águas de reúso no Brasil.....	42
Tabela 6 – Identificação de Áreas Verdes.....	54
Tabela 7 – Potenciais Clientes (Construção Civil)	55
Tabela 8– Avaliação Quantitativa dos Efluentes Tratados.....	56
Tabela 9– DBO's – 2023	57
Tabela 10 – Cloro Residual Total - 2023	58
Tabela 11 - Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) - 2023	58
Tabela 12 – Nitrogênio Amoniacal - 2023.....	59
Tabela 13 – Fósforo Total - 2023.....	59
Tabela 14A - Vazão: janeiro/2023.....	70
Tabela 14B - Análise Físico-Química: janeiro/2023	70
Tabela 15A - Vazão: fevereiro/2023	71
Tabela 15B - Análise Físico-Química: fevereiro/2023	71
Tabela 16A - Vazão: março/2023.....	72
Tabela 16B - Análise Físico-Química: março/2023	72
Tabela 17A - Vazão: abril/2023	73
Tabela 17B - Análise Físico-Química: abril/2023	73
Tabela 18A - Vazão: maio/2023.....	74
Tabela 18B - Análise Físico-Química: maio/2023	74
Tabela 19A - Vazão: junho/2023.....	75
Tabela 19B - Análise Físico-Química: junho/2023	75
Tabela 20A – Vazão: julho/2023.....	76
Tabela 20B – Análise Físico-Química: julho/2023.....	76
Tabela 21A– Vazão: agosto/2023	77
Tabela 21B - Análise Físico-Química: agosto/2023	77
Tabela 22A – Vazão: setembro/2023	78
Tabela 22B - Análise Físico-Química: setembro/2023.....	78
Tabela 23A – Vazão: outubro/2023.....	79
Tabela 23B – Análise Físico-Química: outubro/2023	79
Tabela 24A – Vazão: novembro/2023.....	80
Tabela 24B– Análise Físico-Química: novembro/2023.....	80
Tabela 25A – Vazão: dezembro/2023	81
Tabela 25B – Análise Físico-Química: dezembro/2023	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
CASAL	Companhia de Saneamento Básico de Alagoas
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EPAR	Estações Produtoras de Água de Reúso
FWC	Fluxo de Água de Lavagem Contínua
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ONU	Organização das Nações Unidas
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANASA	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A
UFAL	Universidade Federal de Alagoas

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.	OBJETIVOS.....	18
1.1.	OBJETIVO GERAL.....	18
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1.	ESCASSEZ HÍDRICA.....	19
2.2.	ÁGUA DE REÚSO	20
2.3.	TRATAMENTO DE EFLUENTES COM VISTAS AO REÚSO	20
2.4.	FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA	25
2.5.	MODALIDADES DE REÚSO	26
2.7.	DEMANDAS DE ÁGUA DE REÚSO DA POPULAÇÃO DO ENTORNO	33
2.7.1.	Agricultura.....	33
2.7.2.	Irrigação de Áreas Públicas	34
2.7.3.	Potenciais Consumidores de Água de Reúso	34
2.8.	LEGISLAÇÃO E DIRETRIZES DE REÚSO	36
2.9.	CASOS DE SUCESSO NO REÚSO DE EFLUENTES.....	43
3.	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	44
4.	MÉTODO DE PESQUISA.....	50
4.1.	LEVANTAMENTO DAS DEMANDAS DE ÁGUA NA ÁREA DE ESTUDO	50
4.2.	LEVANTAMENTO DE DADOS QUALIQUANTITATIVOS DO EFLUENTE... 50	
4.3.	ANÁLISE DOS DADOS	51
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
6.1	LEVANTAMENTO DAS DEMANDAS DE ÁGUA DE REÚSO DA POPULAÇÃO DO ENTORNO	53
6.1.1	Agricultura.....	53
6.1.2	Irrigação de Áreas Públicas	54
6.1.3	Potenciais Consumidores de Água de Reúso	55
6.2	AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS EFLUENTES TRATADOS.....	56
6.3	AVALIAÇÃO QUALITATIVA DOS EFLUENTES TRATADOS.....	56
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
7.	CONCLUSÃO.....	63
	REFERÊNCIAS	64
	ANEXOS.....	70

1. INTRODUÇÃO

O acesso à água potável e ao saneamento básico é explicitamente reconhecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) como um direito humano fundamental (United Nations, 2010). Entretanto, a água doce é um recurso escasso e, com o crescimento demográfico, a demanda hídrica vêm aumentando. Além do crescimento econômico e demográfico, a demanda hídrica é afetada por mudanças climáticas e pelo desperdício de água. Atualmente, no Brasil, há a perda de quase 40% da água produzida. Com base nesses dados, a demanda hídrica pode chegar a 17,6 bilhões de m³ em 2040, um aumento de 76% comparado ao ano de 2017 (Instituto Trata Brasil, 2020). Estudos como o de Costa *et al.* (2021) apontam que o desperdício de água, especialmente no processo de distribuição, contribui de forma significativa para o agravamento dessa crise hídrica.

Simultaneamente, o problema do lançamento inadequado de esgotos nos corpos hídricos emerge como uma preocupação séria. O despejo inadequado de esgoto compromete a qualidade da água, impactando negativamente os ecossistemas aquáticos e representando riscos para a saúde da população. Para Lima *et al.* (2019), o lançamento de efluentes não tratados em rios e lagos é uma das principais causas da degradação da qualidade da água em várias regiões urbanas do Brasil, afetando tanto a fauna e flora aquática quanto os seres humanos que dependem dessas fontes para abastecimento. Essa prática inadequada pode tornar inviável o atendimento de usos a jusante, especialmente o abastecimento humano. Neste sentido, a Agência Nacional de Águas (ANA, 2017) destaca a importância de lidar com o desafio do tratamento inadequado de esgotos para garantir a segurança hídrica e a saúde pública. A contaminação dos corpos d'água por poluentes presentes nos esgotos pode afetar diretamente a qualidade da água destinada ao abastecimento.

Neste contexto, a aplicação do Saneamento Focado em Recursos surge como uma solução inovadora e sustentável que tem como objetivo manter o ambiente saudável para a natureza e para as pessoas, prevenindo os impactos adversos resultante do despejo inadequado de resíduos, fezes, urina e águas servidas (BRASIL, 2018). Essa abordagem utiliza sistemas naturais que neutralizam o potencial contaminante e poluidor dos efluentes, fazendo uso dos recursos (água e nutrientes) disponíveis. De acordo com Simha e Ganesapillai (2017), dentro desse sistema, os subprodutos resultantes do tratamento de esgoto, como lodo, biogás e efluente tratado, são destinados ao reaproveitamento, mudando a percepção dos conceitos de “resíduo” e “recursos”.

Segundo Maricato *et al.*, (2018) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBGE, (2020), nas últimas décadas, ocorreram profundas transformações socioeconômicas e geoambientais nas cidades brasileiras com população superior a 500 mil habitantes. Essas alterações se devem ao crescimento populacional, desenvolvimento econômico, mudança nas dinâmicas sociais e a implantação de políticas públicas federais. Maceió, a capital do estado de Alagoas, também tem experimentado um processo contínuo de expansão urbana, porém, assim como em outras cidades, o crescimento populacional deste município não tem sido acompanhado pelo desenvolvimento adequado da infraestrutura urbana o que resulta em desafios significativos relacionados à mobilidade e ao saneamento básico da cidade.

Conforme o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), em 2021, o Brasil possuía 54,1% do esgoto coletado e apenas 49,1% desse esgoto recebe tratamento adequado. Em Alagoas, no mesmo ano, essa porcentagem era ainda menor, 22,35% da população tinha acesso à coleta de esgoto, e desse percentual, apenas 20% recebiam o tratamento. Esses números indicam uma deficiência significativa nas infraestruturas de saneamento básico, impactando negativamente a saúde pública e o meio ambiente. Já a capital Maceió, apresentou nível de infraestrutura de saneamento mais elevado em comparação com o estado como um todo, possuindo um percentual de 47,1% de esgotamento sanitário adequado, todavia, é evidente que há a necessidade premente de investimentos e esforços na melhoria da infraestrutura de saneamento na região, principalmente, na destinação dos efluentes tratados. De acordo com a Companhia de Saneamento do Estado de Alagoas (Casal), Maceió possui três bacias de esgotamento: Bacia Sudoeste Lagunar, Bacia do Reginaldo/Salgadinho e Bacia Sudeste (da Pajuçara). Já o bairro do Benedito Bentes possui um sistema próprio de esgotamento sanitário que abrange rede coletora, sete estações elevatórias de esgoto e tratamento e disposição final no vale da bacia Remanescente do Riacho Doce.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o potencial de reúso de efluentes tratados provenientes da Estação de Tratamento de Esgoto Benedito Bentes através de uma abordagem integrada quantitativa e qualitativa cujo propósito será de apresentar análises substanciais sobre a possibilidade e os benefícios do reúso sustentável desses efluentes, de modo a contribuir com a gestão eficiente dos recursos hídricos da região. A importância social deste estudo é evidenciada pela possibilidade de diminuir a pressão sobre os recursos hídricos locais, reduzindo a dependência de fontes convencionais e, conseqüentemente, contribuindo na construção de uma comunidade ciente dos desafios associados à disponibilidade de água. Além do conhecimento técnico-científico, esta pesquisa visa apresentar soluções reais em questões que afetam diretamente a qualidade de vida da população local. Estudos de Souza *et al.* (2019) já demonstraram que o reúso de efluentes pode ser uma alternativa eficiente para mitigar os

problemas de escassez de água em áreas urbanas, ao mesmo tempo em que promove a conservação dos recursos hídricos e contribui para a sustentabilidade. Considera-se, assim, que este trabalho pode contribuir no atendimento aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, especialmente aos de nº 06 (Água Potável e Saneamento) e nº 11 (Cidades Sustentáveis).

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GERAL

Analisar o potencial de reúso não potável de efluentes tratados provenientes da Estação de Tratamento de Esgoto Benedito Bentes, em Maceió, AL.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer um levantamento de dados qualiquantitativos dos efluentes tratados da Estação de Tratamento de Esgoto Benedito Bentes;
- Avaliar a conformidade com os padrões de reúso comparando os resultados das análises com os padrões estabelecidos para reúso não potável de efluentes, identificando quais parâmetros atendem às diretrizes normativas;
- Avaliar a disponibilidade quantitativa do efluente tratado, considerando as demandas locais e regionais para diversos usos potenciais, como irrigação ou uso industrial;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ESCASSEZ HÍDRICA

A água é um recurso natural finito e essencial para a nossa sobrevivência. Em 2010, a Assembleia Geral da ONU, por meio da resolução A/RES/64/292, reconheceu explicitamente o direito humano à água e ao saneamento. Para Ban Ki-moon, secretário-geral da ONU, garantir água potável segura e saneamento adequado são cruciais para diminuição da pobreza, desenvolvimento sustentável e consecução de cada um dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio.

O direito humano à água assegura que todas as pessoas tenham acesso a uma quantidade suficiente, segura, aceitável e fisicamente acessível e disponível deste recurso natural para uso pessoal e doméstico (United Nations, 2003).

Em diversas regiões do planeta, a população excedeu a capacidade de abastecimento pelos recursos hídricos disponíveis. Estudos feitos pelo *World Resource Institute* (2023) estimam que, atualmente, cerca de dois bilhões de pessoas não tenham acesso à água potável. Ademais, hoje, 25 países sofrem com a escassez hídrica, de forma que um período mínimo de seca pode significar a suspensão do abastecimento hídrico doméstico, deixando a população carente não somente de um recurso natural essencial, mas, também, da fruição de um direito fundamental (Kuzma; Saccoccia; Chertock, 2023). As estimativas indicam que mais de 40% da população mundial vive em áreas com escassez de água e que um quarto do BIP mundial (Produto Interno Bruto) está exposto a esse desafio (WRM, 2022).

Em termos mundiais, a escassez de água resulta em uma série de crises, tais como escassez de alimentos, conflitos regionais pela água, dificuldades econômicas com desenvolvimento limitado e degradação ambiental (Postel, 2000 *apud* Metcal; Eddy, 2007).

O Brasil concentra 12% do volume total de água doce do planeta, sendo uma condição privilegiada em relação ao cenário mundial. Entretanto, 70% desse volume encontra-se na região hidrográfica amazônica, que concentra apenas 5% da população do país (Castro, 2022). À exceção do semiárido brasileiro, que apresenta escassez hídrica permanente, as demais regiões não conviviam com esse problema. Assim, o Brasil se desenvolveu ao longo da sua história, com a falsa abundância de água, sendo o desperdício uma prática comum (Mejia; Melo; Santos, 2020).

2.2. ÁGUA DE REÚSO

A água de reúso tem se mostrado uma alternativa crucial frente à crescente escassez hídrica e às altas demandas de consumo em várias partes do mundo. Essa prática envolve a reutilização de águas que já foram empregadas em diversas atividades humanas, passando por tratamentos que garantem sua segurança e qualidade para novos usos. Lavrador Filho (1987 *apud* Moura *et al.*, 2020) define a água de reúso como o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para atender a outras necessidades benéficas. De acordo com Barros *et al.* (2015 *apud* Moura *et al.*, 2020), a água de reúso é a reutilização de águas provenientes de efluentes tratados.

Atualmente, o reúso da água possui duas modalidades: água de reúso e água reciclada. O termo água de reúso muitas vezes é confundido com o aproveitamento de águas pluviais, ou seja, água reciclada. Embora o aproveitamento das águas pluviais seja um instrumento importante na gestão dos recursos hídricos, não deve ser considerada água de reúso. Após passar pelo ciclo hidrológico natural, a água pluvial captada é utilizada pela primeira vez (Fernandes, 2006 *apud* Moura *et al.*, 2020).

Para Cunha *et al.* (2011), a prática de reutilização, reúso de água ou uso de águas residuárias não é um conceito novo e tem sido adotada globalmente por muitos anos. Há relatos da sua utilização na Grécia Antiga, onde esgotos eram dispostos e utilizados para irrigação. Entretanto, a crescente demanda por água tem elevado a importância do reúso planejado da água como um tema contemporâneo relevante (CETESB, 2024). O reúso de água deve ser considerado como parte de uma estratégia abrangente para o uso racional e eficiente dos recursos hídricos, englobando o controle de perdas e desperdícios, além da redução na produção de efluentes e no consumo de água.

2.3. TRATAMENTO DE EFLUENTES COM VISTAS AO REÚSO

O tratamento de efluentes com foco no reúso aparece como uma abordagem para otimizar a gestão da água, facilitando o enfrentamento de desafios de escassez e promovendo a sustentabilidade ambiental. Esse processo envolve uma série de etapas no tratamento de água, tornando-as adequadas para usos específicos.

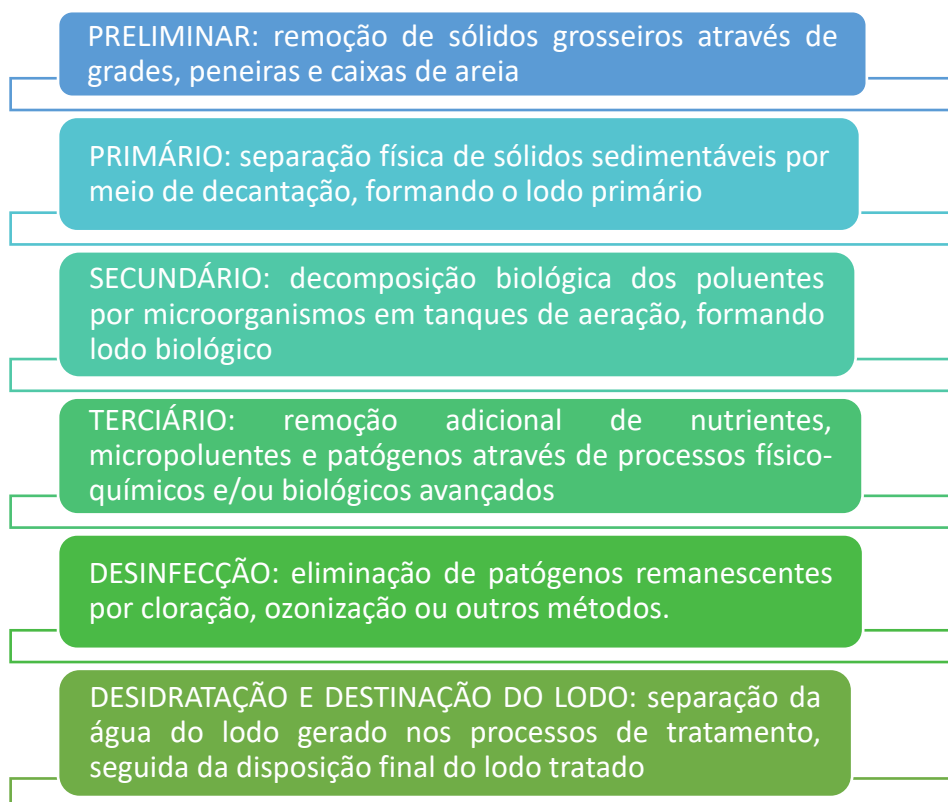
Para Metcalf & Eddy (2005), o tratamento de efluentes tem como objetivo acelerar o processo de autodepuração da matéria orgânica, através de sistemas de tratamento submetidos

a condições controladas, visando a redução da matéria orgânica, dos microrganismos patogênicos, dos sólidos em suspensão, e em casos especiais, dos nutrientes presentes nos esgotos.

A escolha dos métodos de tratamento e descarte de esgoto depende das condições definidas para o efluente, assim como pela qualidade dos corpos receptores considerando suas características físico-químicas e biológicas. Adicionalmente, consideram-se fatores econômicos, sociais, operacionais, disponibilidade de área e até as preferências da comunidade local (Von Sperling, 2005).

Von Sperling (2005) destaca que a remoção de poluentes do efluente durante o tratamento, com o objetivo de alcançar uma qualidade desejada ou atender aos padrões de qualidade vigentes, está intimamente ligada ao nível de tratamento e a sua eficácia. Dessa forma, os estágios no tratamento de esgotos domésticos são categorizados como: preliminar, primário, secundário e terciário além da desinfecção. Além do tratamento do efluente, deve-se considerar a desidratação, tratamento e destinação do lodo, conforme fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Estágios de Tratamento de Esgoto



O tratamento de esgoto pode ser concebido com vistas a sua disposição no solo ou corpo hídrico, ou para a recuperação de subprodutos como água de reúso, nutrientes presentes nos biossólidos e biogás. O reúso de água pode exigir um sistema de tratamento em nível terciário (Kato *et al.*, 2019).

Em comparação com os sistemas convencionais de tratamento de águas residuárias que produzem um efluente normalmente de uma única qualidade para eliminação no ambiente, o desafio para os sistemas de recuperação de água é maior pois: (i) os padrões de qualidade da água serão mais rigorosos, (ii) para atender a uma variedade de usos, podem ser necessários diferentes níveis de qualidade da água (Metcalf; Eddy, 2007).

No Quadro 1 são apresentadas as operações unitárias e processos de tratamento utilizados para remoção de diversos constituintes dos esgotos, para obtenção de água de reúso.

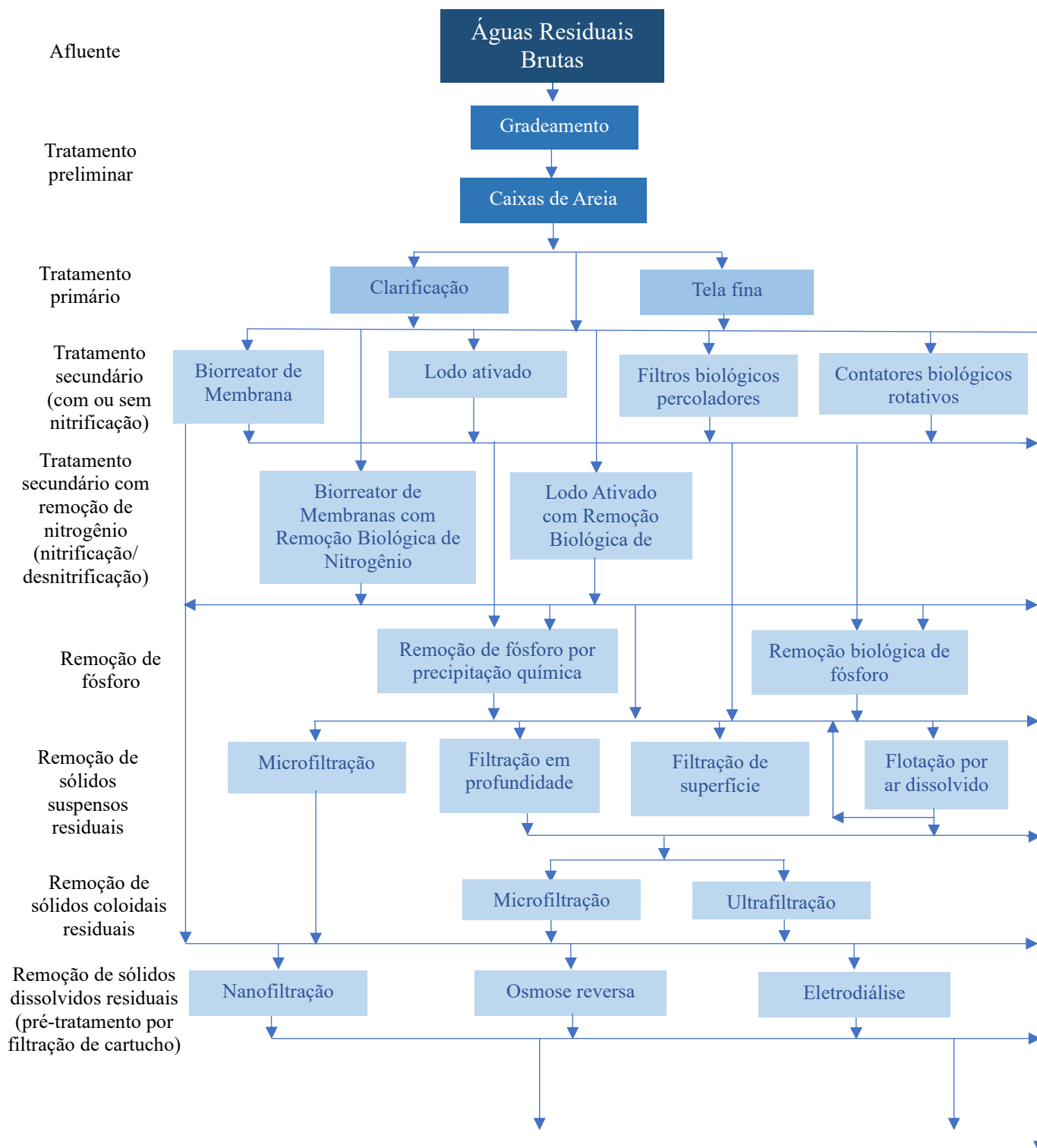
Quadro 1 - Operações unitárias e processos de tratamento utilizados para remoção de classes de constituintes encontrados nos esgotos, para aplicações de reúso

Operações ou processos unitários	Classes de constituintes										
	Sólidos Suspensos	Sólidos coloidais	Matéria orgânica particuladas	Matéria orgânica dissolvida	Nitrogênio	Fósforo	Traços constituintes	Sólidos totais dissolvidos	Bactérias	Cistos e oocistos de protozoários	Vírus
Tratamento secundário	x			x							
Tratamento secundário com remoção de nutrientes				x	x	x					
Filtração em profundidade	x								x	x	
Filtração superficial	x		x						x	x	
Microfiltração	x	x	x						x	x	
Ultrafiltração	x	x	x						x	x	x
Flotação por ar dissolvido	x	x	x							x	x
Nanofiltração			x	x			x	x	x	x	x
Osmose reversa				x	x	x	x	x	x	x	x
Eletrodialise		x						x			
Adsorção com carvão ativado				x			x				
Troca iônica					x		x	x			
Processos Oxidativos Avançados			x	x			x		x	x	x
Desinfecção				x					x	x	x

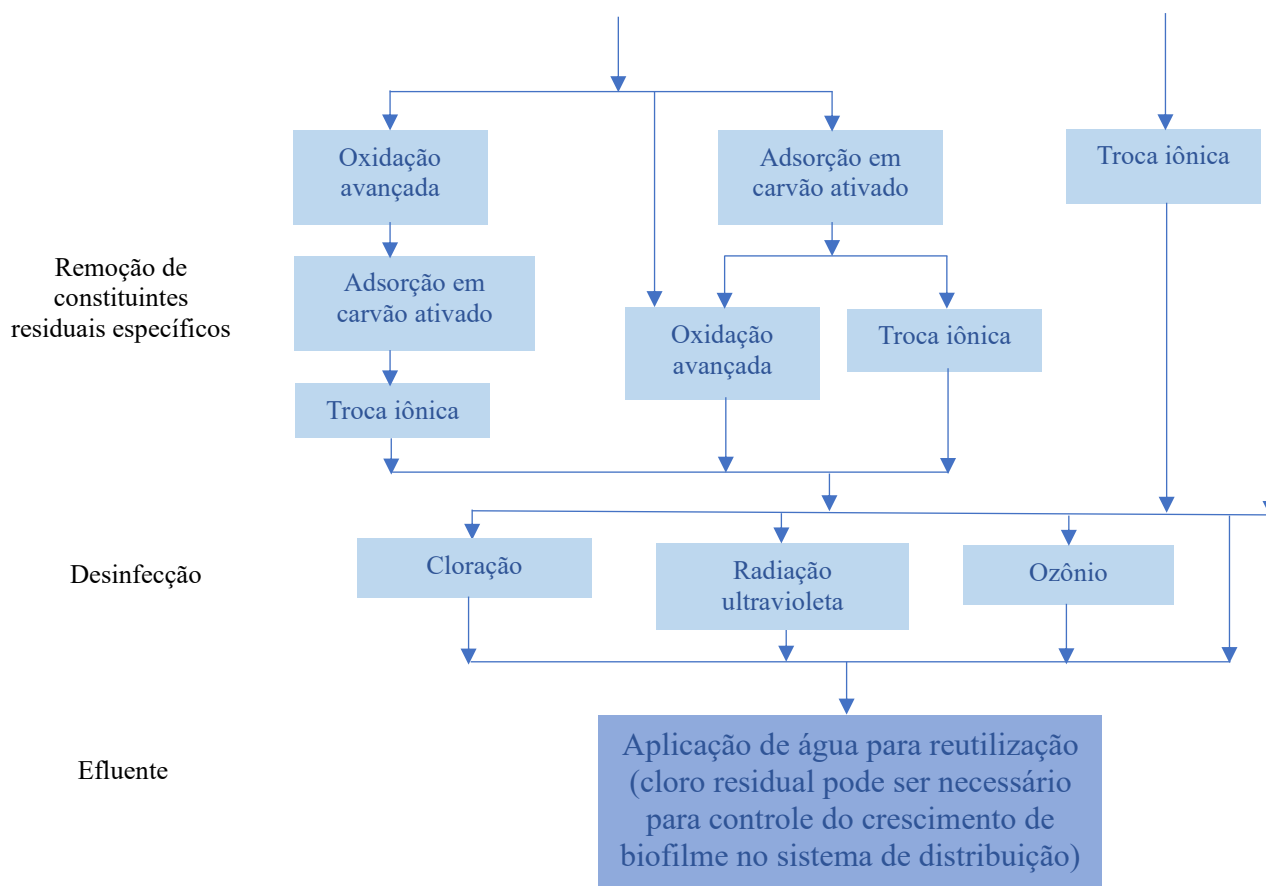
Fonte: Metcalf & Eddy, 2007.

A Figura 2 apresenta a matriz de processos alternativos de tratamento aplicados na recuperação e reúso de efluentes.

Figura 2 - Matriz de processos alternativos de tratamento aplicados na recuperação e reúso de efluentes



Continua...



Fonte: Adaptação de Metcalf & Eddy, 2007.

É importante notar que a combinação de diferentes tecnologias e práticas de tratamento muitas vezes é necessária para atender aos requisitos específicos de qualidade da água e às regulamentações ambientais.

2.4. FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA

Como maneira de minimizar o efeito da escassez e assegurar a segurança hídrica, as águas servidas tratadas podem ser utilizadas em diversas atividades que não exijam qualidade de potabilidade.

Atualmente, apenas cerca de 20% das águas residuárias tratadas produzidas no mundo são reutilizadas, sendo essa prática particularmente importante no Oriente Médio e Norte da África (15 %), e na Europa Ocidental (16 %), embora compreenda apenas 5,8 % e 5,7 % da população global, respetivamente (Jones *et al.*, 2021). Em Israel, por exemplo, 90% do esgoto tratado é destinado à agricultura (Mejia; Melo; Santos, 2020).

No Brasil, por conta da equivocada visão de abundância de recursos hídricos, torna-se um grande desafio conscientizar a sociedade sobre a necessidade de incluir água de reúso na

matriz hídrica como forma de atenuar a escassez (Mejia; Melo; Santos, 2020). Entretanto, de forma ainda tímida, estima-se uma vazão de reúso de águas no país, em torno de 2 m³/s, com um potencial de alcançar, no médio prazo (em 2030), 10 a 15 m³/s, e 175 m³/s em longo prazo (ANA, 2018 *apud* Mejia; Melo; Santos, 2020).

Para que o reúso seja apropriado enquanto um instrumento de gestão dos recursos hídricos no país, devem ser vencidos obstáculos como: lacunas normativas, definição da competência institucional, inexistência ou precariedade da infraestrutura de distribuição e resistência da população (Mejia; Melo; Santos, 2020).

2.5. MODALIDADES DE REÚSO

O conceito de reutilização da água consiste na utilização de águas residuárias tratadas para qualquer finalidade que constitua um benefício socioeconômico também entendido como utilização de águas residuais (tratadas) (Monte; Albuquerque, 2010).

Lavrador Filho (1987) define o reúso da água como o aproveitamento de água residuárias provenientes de atividades domésticas e industriais. Essas águas, após serem utilizadas inicialmente, são submetidas a um processo de tratamento que permite sua reutilização, seja para o mesmo fim para o qual foram originalmente destinados ou para outros (Lavrador Filho, 1987 *apud* Moura *et al.*, 2020).

O reúso de água completa o ciclo do abastecimento de água e esgotamento sanitário, proporcionando uma fonte alternativa de água. Quando as águas residuárias são tratadas e atingem os padrões de qualidade apropriados, elas podem ser reintroduzidas no suprimento de água, contribuindo para a reposição e redução da demanda hídrica. A adoção de práticas de reúso de água representa uma importante transição em direção a uma economia circular, tendo o potencial de superar as barreiras existentes associadas ao reúso da água, conforme destacado por Giakoumis *et al.* (2020).

O reúso pode ser resultado de ações intencionais, ocorrendo quando efluentes tratados são conscientemente reutilizados, tanto diretamente quanto indiretamente. Mas também pode ocorrer de maneira não planejada, quando a reutilização ocorre indiretamente, sem que seja essa a intenção inicial (Lavrador Filho, 1987 *apud* Brega Filho; Mancuso, 2003).

Moura *et al.* (2020) informam sobre a classificação da água de reúso, conforme a NBR 13.969, de 1997 (ABNT, 1997):

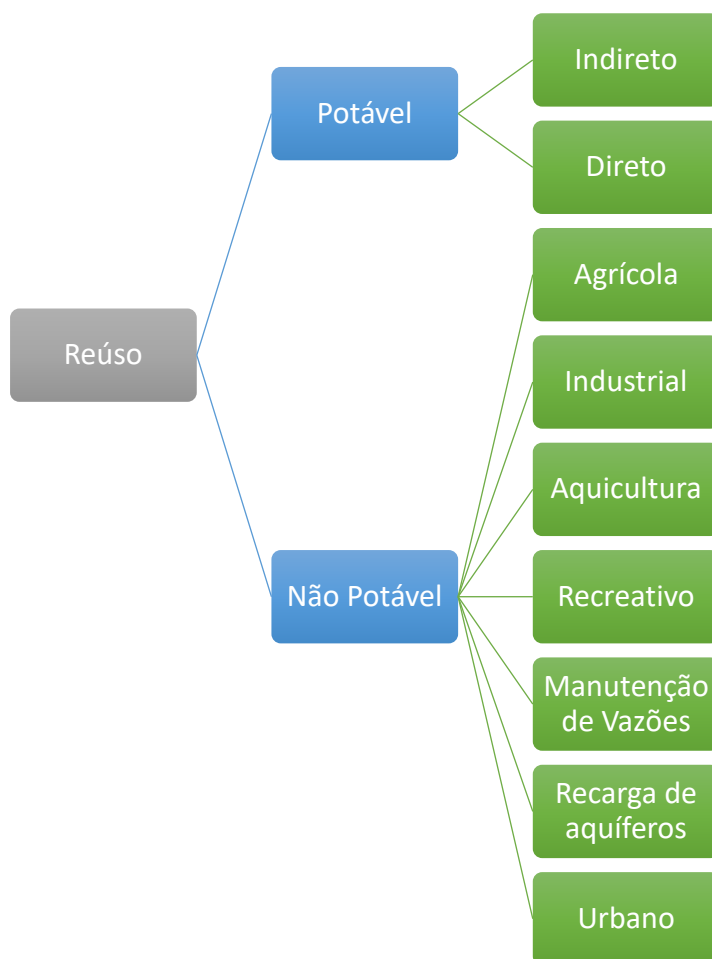
- Reúso local: esgoto de origem doméstica ou com características semelhantes que envolve a reciclagem dessas águas tratadas para atividades que requerem uma qualidade de água não potável, mas que seja sanitariamente segura. Essas aplicações abrangem uma variedade de usos práticos, como irrigação, lavagem de pisos e veículos automotivos, descargas de vasos sanitários, manutenção paisagística de lagos e canais, pastagens, entre outros;
- Reúso direto: refere-se ao encaminhamento de efluentes, após passarem por tratamento, diretamente para o local de reúso de maneira planejada. Nesse contexto, os efluentes tratados são direcionados intencionalmente para atividades específicas que demandam água não potável, mas que atenda a critérios de qualidade adequados para a aplicação planejada;
- Reúso indireto: os efluentes, tratados ou não, são lançados nos corpos d'água superficiais ou subterrâneos. Esses efluentes podem ser descarregados de forma planejada ou não planejada e estão sujeitos às ações naturais do ciclo hidrológico, incluindo processos de depuração e autodepuração.

A legislação estadual do Ceará nº 16.033, de 2016 (CEARÁ, 2016), que representa a regulamentação regional mais específica, categoriza a água de reúso da seguinte forma:

- Reúso interno: utilização interna de água de reúso originária de atividades realizadas nas próprias instalações;
- Reúso externo: envolve o aproveitamento de efluentes tratados provenientes de estações gerenciadas por provedores de serviços de saneamento básico ou terceiros, desde que esses efluentes apresentem características adequadas para sua utilização.

A classificação adotada pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), conforme divulgada nos "Cadernos de Engenharia Sanitária e Ambiental" em 1992 e proposta por Westerhoff (1984), divide o reúso de água em duas categorias principais: potável e não potável. Essas categorias podem ser subdivididas em reúso direto ou indireto, dependendo do processo pelo qual a água é tratada e reaproveitada. A Figura 3 apresenta a classificação dos tipos de reúso segundo Westerhoff (1984) *apud* Brega Filho e Mancuso (2003).

Figura 3 - Classificação dos tipos de reúso segundo Westerhoff (1984)



Fonte: Autora, 2024.

No reúso potável indireto, as águas residuais tratadas são dispostas em coleções de águas superficiais e subterrâneas. Essas águas residuais tratadas, são diluídas e submetidas a processos de purificação natural ao longo do tempo, como a filtração no solo e a autodepuração em corpos d'água. Posteriormente, a água é captada, tratada novamente e utilizada como água potável.

Por outro lado, no reúso potável direto, as águas residuais são recuperadas e submetidas a um tratamento avançado para remover impurezas, contaminantes e patógenos, de modo a atender aos padrões de qualidade exigidos para o consumo humano. Após esse tratamento, a água é reintroduzida diretamente no sistema de água potável, sem a necessidade de diluição adicional ou purificação natural em corpos d'água.

O reúso não potável pode ser destinado para:

- Fins agrícolas: fertirrigação de plantas alimentícias e planas não alimentícias;

- Fins industriais: usos em refrigeração, águas de processo, utilização em caldeiras etc.;
- Fins urbanos: rega de jardins, plantas ornamentais, campos de esportes e parques, descargas sanitárias, lavagem de pavimento e veículos etc.;
- Manutenção de vazões: utilização de efluentes tratados com o objetivo principal a diluição adequada de eventuais cargas poluidoras em cursos de água. Isso envolve a liberação controlada de efluentes tratados, provenientes de diversas fontes, de forma a garantir que não causem impactos negativos significativos no meio ambiente;
- Aquicultura: produção de peixes e plantas aquáticas para obter alimentos e/ou energia, utilizando os nutrientes presentes nos efluentes tratados;
- Recarga de aquíferos subterrâneos: pode ser direto, com a injeção de efluente tratado sob pressão, ou indireto, utilizando águas superficiais que tenham recebido descargas de efluentes tratados a montante.

O reúso potável direto, apesar de apresentar exemplos bem-sucedidos de aplicação prática, não tem sido amplamente recomendado. Isso se deve a dificuldade de realizar uma caracterização detalhada das águas residuais, representando um potencial risco à saúde humana. Como mencionado por Florencio, Bastos e Aisse (2006), a falta de uma análise minuciosa das águas residuais tratadas pode resultar na presença de contaminantes ou patógenos que não foram completamente removidos durante o tratamento, colocando em risco a saúde da população que consumir essa água.

2.6. PREVISÃO DE CONSUMO URBANO DE ÁGUA NÃO POTÁVEL

A previsão de consumo urbano de água não potável envolve estimar a quantidade de água que será utilizada para fins que não requerem água potável, como irrigação de áreas verdes, lavagem de ruas e veículos, descarga de vasos sanitários, e outros usos industriais e comerciais. Este processo de previsão é essencial na gestão sustentável dos recursos hídricos urbanos e pode ser influenciado por vários fatores. Tomaz (2010) descreve certa dificuldade nesse processo, tanto para fins domésticos quanto para fins comerciais ou industriais. Essa dificuldade se deve à falta de conhecimento e a distinção entre o que é água potável e água não potável.

O aproveitamento da água de chuva é comumente destinado a usos não potáveis, como irrigação de jardins, limpeza de pátios, descargas em bacias sanitárias, lavagem de veículos, aplicações industriais, reservatórios de incêndio e outros fins que não exigem água potável.

Estimar o consumo de água potável residencial através de parâmetros de engenharia é viável, mas enfrenta desafios significativos devido à necessidade de um grande volume de informações, que nem sempre estão disponíveis (Tomaz, 2010).

As Tabelas 1 e 2 apresentam os parâmetros de engenharia usados nos Estados Unidos para consumo residencial de água.

Tabela 1 – Parâmetros de Engenharia para estimativas da demanda residencial de água

<i>Uso Interno</i>	<i>Unidades</i>	<i>Parâmetros</i>		
		Inferior	Superior	Mais provável
<i>Gasto mensal</i>	<i>m³/pessoa/mês</i>	3	5	4
<i>Nº de pessoas da casa</i>	<i>Pessoa</i>	2	5	3,5
<i>Descarga na bacia</i>	<i>Descarga/pessoa/dia</i>	4	6	5
<i>Volume de descarga</i>	<i>Litros/descarga</i>	6,8	18	9
<i>Vazamento bacias sanitárias</i>	<i>Porcentagem</i>	0	30	9
<i>Frequência de banho</i>	<i>Banho/pessoa/dia</i>	0	1	1
<i>Duração do banho</i>	<i>Minutos</i>	5	15	7,3
<i>Vazão dos chuveiros</i>	<i>Litros/segundo</i>	0,08	0,30	0,15
<i>Uso da banheira</i>	<i>Banho/pessoa/dia</i>	0	0,2	0,1
<i>Volume de água</i>	<i>Litros/banho</i>	113	189	113
<i>Máquina de lavar pratos</i>	<i>Carga/pessoa/dia</i>	0,1	0,3	0,1
<i>Volume de água</i>	<i>Litro/ciclo</i>	18	70	18
<i>Máquina de lavar roupa</i>	<i>Carga/pessoa/dia</i>	0,2	0,37	0,37
<i>Volume de água</i>	<i>Litro/ciclo</i>	108	189	108
<i>Torneira da cozinha</i>	<i>Minuto/pessoa/dia</i>	0,5	4	4
<i>Vazão da torneira</i>	<i>Litros/segundo</i>	0,126	0,189	0,15
<i>Torneira de banheiro</i>	<i>Minuto/pessoa/dia</i>	0,5	4	4
<i>Vazão da torneira</i>	<i>Litros/segundo</i>	0,126	0,189	0,15

Fonte: Tomaz, 2010.

Tabela 2 – Parâmetros de engenharia estimativas da demanda residencial de água potável para uso externo

<i>Uso externo</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valores</i>
<i>Casas com piscina</i>	Porcentagem	0,1
<i>Gramado ou jardim</i>	Litros/dia/m ²	2
<i>Lavagem de carros</i>	Litros/lavagem/carro	150
<i>Lavagem de carros: frequência</i>	Lavagem/mês	4
<i>Mangueira de jardim ½"x20m</i>	Litros/dia	50
<i>Manutenção de piscina</i>	Litros/dia/m ²	3
<i>Perdas para evaporação em piscina</i>	Litros/dia/m ²	5,75
<i>Reenchimento de piscinas</i>	Anos	10
<i>Tamanho de casa</i>	m ²	30 a 450
<i>Tamanho do lote</i>	m ²	125 a 750

Fonte: Tomaz, 2010.

No Brasil, os dados apresentados são estimados de acordo com informações gerais e características locais, como o tamanho médio das residências, o número de moradores por domicílio, hábitos de consumo de água, padrões de uso doméstico e tecnologias de conservação de água adotadas. Essas estimativas são fundamentais para entender e prever o consumo de água potável no contexto brasileiro, considerando variações regionais significativas devido a diferentes climas, culturas e condições socioeconômicas. No que se refere à estimativa de consumo de água por mangueira em jardins, a Tabela 3 (Amy Vickers, 2001 *apud* Tomaz, 2010), apresenta a média de consumo residencial de água potável adaptada para unidades de medida utilizadas no Brasil.

Tabela 3 – Média de consumo residencial de água potável para o Brasil conforme USP, 1999 programa PURA

<i>Tipos de usos de água</i>	<i>Porcentagem</i>
<i>Descargas na bacia sanitária</i>	29%
<i>Chuveiros</i>	28%
<i>Lavatório</i>	6%
<i>Pia de cozinha</i>	17%
<i>Tanque</i>	6%
<i>Máquina de lavar roupas</i>	5%
<i>Máquina de lavar louças</i>	9%
<i>Total</i>	100%

Fonte: Tomaz, 2010.

A Tabela 4 apresenta as Equações que estimam o volume médio mensal de água.

Tabela 4 – Equações que fornecem o volume médio mensal de água

<i>Tipo de Consumidor</i>	<i>Consumo m³/mês</i>	<i>Origem</i>
<i>Clubes Esportivos (1)</i>	$(26 * n^{\circ} \text{ de chuveiros})$	SABESP
<i>Creches</i>	$(3,8 * n^{\circ} \text{ de funcionários}) + 10$	SABESP
<i>Edifícios Comerciais (2)</i>	$(0,8 * \text{área construída})$	SABESP
<i>Escolas de Nível Superior</i>	$(0,03 * \text{área construída}) + (0,7 * n^{\circ} \text{ de funcionários}) + (0,8 * n^{\circ} \text{ de bacias}) + 50$	SABESP
<i>Escolar Pré, 1° e 2° Graus</i>	$(0,05 * \text{área construída}) + (0,1 * n^{\circ} \text{ de funcionários}) + (0,7 * n^{\circ} \text{ de bacias}) + 20$	SABESP
<i>Hospitais</i>	$(2,9 * n^{\circ} \text{ de funcionários}) + (11,8 * n^{\circ} \text{ de bacias}) + (02,5 * n^{\circ} \text{ de leitos}) + 280$	SABESP
<i>Hotéis de 1ª categoria (4)</i>	$(6,4 * n^{\circ} \text{ de banheiros}) + (2,6 * n^{\circ} \text{ de leitos}) + 400$	SABESP
<i>Hotéis de 2ª categoria (5)</i>	$(3,1 * n^{\circ} \text{ de banheiros}) + (3,1 * n^{\circ} \text{ de leitos}) - 40$	SABESP
<i>Lavanderias Industriais</i>	$(0,2 * \text{kg de roupa/mês})$	SABESP
<i>Lava-Rápidos</i>	$(9,85 * n^{\circ} \text{ de funcionários})$	PLÍNIO
<i>Motéis</i>	$(0,35 * \text{área construída})$	SABESP
<i>Postos de Gasolina</i>	$(60 * n^{\circ} \text{ de lavadores}) + 8 * (n^{\circ} \text{ de funcionários})$	TOMAZ
<i>Prédio de Apartamentos</i>	$(6 * n^{\circ} \text{ de banheiros}) + (3 * n^{\circ} \text{ de dormitórios}) + (0,01 * \text{área construída}) + 30$	SABESP
<i>Prontos-socorros (3)</i>	$(10 * n^{\circ} \text{ de funcionários}) - 70$	SABESP
<i>Residência Unifamiliar</i>	$(3,7 * n^{\circ} \text{ de habitantes})$	TOMAZ
<i>Restaurantes</i>	$(60 * n^{\circ} \text{ de funcionários}) + 8,4 * (n^{\circ} \text{ de bacias})$	SABESP

Fonte: Tomaz, 2010.

Dentre as taxas e frequências mais utilizadas na prática estão:

- **Descarga em bacias sanitárias:** taxa de 9,0 L/descarga e a frequência em uma indústria é 5 vezes/dia. Em escolas fundamentais ou superior ou prédio de escritório a frequência é de 2 vezes/dia em que uma pessoa dá a descarga na bacia sanitária;
- **Escola fundamental:** consumo de 25 L/dia × aluno que inclui a água potável e não potável;

- **Rega de jardim comum:** taxa é de $2 \text{ L/m}^2 \times \text{dia}$. Sua frequência geralmente é 2 vezes/semana, 1 vez/semana ou 1 vez a cada 15 dias;
- **Rega de jardim tipo campo de golfe:** para este tipo de rega a taxa é de $4 \text{ L/m}^2 \times \text{dia}$;
- **Limpeza de pátios comuns:** usualmente é de $2 \text{ L/m}^2 \times \text{dia}$ e a frequência é 1 vez/semana ou 2 vezes/semana ou 1 vez a cada 15 dias. Em pátios de refeitórios a frequência é diária.

2.7. DEMANDAS DE ÁGUA DE REÚSO DA POPULAÇÃO DO ENTORNO

As atividades de uso não potável consideradas para o presente estudo foram agricultura e irrigação de áreas públicas.

2.7.1. Agricultura

O setor agrícola é responsável por uma parte significativa do consumo global de água doce, com estimativas indicando que cerca de 70% a 80% da demanda total de água é atribuída a práticas agrícolas. Dada a alta demanda hídrica associada à produção agrícola, pesquisas recentes têm se concentrado em estratégias para otimizar o uso eficiente da água e em explorar fontes alternativas. Uma abordagem promissora é a utilização de água residual tratada, proveniente de estações de tratamento de água e esgoto, para suprir as necessidades hídricas de culturas como a cana-de-açúcar. Para garantir a viabilidade desta prática, é crucial que a água residual seja submetida a tratamentos que a tornem adequada para a irrigação, atendendo a padrões de qualidade específicos para evitar impactos adversos nas culturas e no meio ambiente. Esta abordagem pode ser particularmente eficaz em regiões com recursos hídricos limitados, permitindo a continuidade da produção agrícola sem comprometer a disponibilidade de água potável (Bernadi, 2023).

O estudo do reúso da água no cultivo de cana-de-açúcar foi escolhido devido a várias razões interrelacionadas que destacam a relevância dessa cultura para a pesquisa em sustentabilidade hídrica. A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas com maior demanda hídrica, consumindo uma quantidade significativa de água na sua produção (Silva; Souza, 2020; Braga; Moreira, 2018). Além disso, o cultivo de cana-de-açúcar é amplamente praticado no Nordeste do Brasil, onde a disponibilidade de água é frequentemente limitada (Farias; Ribeiro,

2017). Nesse contexto, a implementação de práticas de reúso da água se torna ainda mais pertinente, pois pode ajudar a enfrentar os desafios associados à escassez hídrica e assegurar a continuidade da produção agrícola em áreas com recursos hídricos escassos (Barros; Melo, 2019).

2.7.2. Irrigação de Áreas Públicas

Irrigação de áreas públicas com água de reúso está se tornando cada vez mais relevante na busca por sustentabilidade e otimização dos recursos hídricos. Em um cenário global marcado pela crescente preocupação com a escassez de água, a reutilização de água emerge como uma solução eficaz para a manutenção de espaços verdes urbanos, como parques e jardins. Ao empregar água de reúso, é possível aliviar a pressão sobre os recursos hídricos naturais e reduzir a demanda por água potável, que é cada vez mais valorizada e limitada (Drewes, 2015).

Além dos benefícios ambientais, a irrigação com água de reúso pode proporcionar economia financeira significativa. O uso de água de reúso para irrigação reduz os custos associados ao abastecimento de água potável, permitindo que os recursos financeiros sejam direcionados para outras necessidades e projetos. Este aspecto econômico é particularmente relevante em contextos urbanos onde a gestão eficiente dos recursos é crucial para a sustentabilidade das cidades (Metcalf & Eddy, 2003).

2.7.3. Potenciais Consumidores de Água de Reúso

Além de sua aplicação na agricultura e na irrigação de áreas públicas, a água de reúso proveniente da Estação de Tratamento do Benedito Bentes tem o potencial de atrair diversos outros consumidores, como o setor da Construção Civil e a indústria.

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) aponta que o setor da construção civil é responsável por uma significativa parte do consumo global de água potável, com cerca de 50% da água fornecida a áreas urbanizadas sendo utilizada por esse setor. A adoção de fontes alternativas de água, como a água de reúso, pode reduzir esse consumo para uma faixa entre 30% e 40%, conforme indicado pelo CBCS (Costa Filho, 2016). A implementação de práticas como o reúso de água no canteiro de obras não só contribui para a redução do consumo de água potável, mas também gera economia significativa nos custos operacionais.

A aplicação de água de reúso na construção civil tem demonstrado ser uma estratégia

eficaz para promover a sustentabilidade e reduzir o consumo de água potável. Estudos e práticas recentes evidenciam que a água de reúso pode ser utilizada em diversas etapas do processo construtivo, trazendo benefícios econômicos e ambientais substanciais.

Uma das principais utilizações da água de reúso é na mistura de concreto. Segundo Costa Filho (2016), a água tratada adequadamente pode ser incorporada à mistura sem comprometer as propriedades mecânicas do concreto, como resistência e durabilidade.

Além disso, a água de reúso é amplamente empregada na limpeza de equipamentos e áreas de trabalho no canteiro de obras. A utilização dessa água para a lavagem de caminhões, betoneiras e outras ferramentas contribui para a manutenção da limpeza do local sem recorrer ao uso de água potável. A água de reúso também pode ser aplicada no resfriamento de equipamentos pesados, como geradores e torres de resfriamento, que são cruciais em grandes projetos de construção.

Além dessas aplicações, a água de reúso pode ser incorporada na preparação de soluções e misturas, como gesso e outros materiais de construção. Também é empregada no enchimento e compactação de terrenos, facilitando a preparação do solo para a construção. Em projetos de grande escala, a água de reúso pode ainda ser utilizada em sistemas de arrefecimento e climatização de edifícios.

No âmbito industrial, o uso de efluente tratados pode resultar em economias significativas. O estudo de Zander *et al.* (2017) examina os aspectos econômicos e ambientais da água de reúso, demonstrando que o uso eficiente desse recurso pode reduzir custos operacionais e melhorar a gestão dos recursos hídricos nas indústrias. A pesquisa destaca que, ao implementar sistemas de reúso, as empresas podem reduzir a demanda por água potável e minimizar os custos associados ao tratamento e descarte de água residual.

Na indústria de papel e celulose, a reutilização da água desempenha um papel crucial. A água é utilizada em várias etapas do processo produtivo, desde a preparação da polpa até a lavagem do papel. O reúso da água em processos como o tratamento de efluentes permite economizar água que poderia ser utilizada para abastecimento público e reduzir a geração de resíduos (Zander *et al.*, 2017).

No setor alimentício e de bebidas, a água de reúso é aplicada principalmente na limpeza e sanitização de equipamentos e instalações. Embora existam regulamentações rigorosas para garantir a segurança alimentar, a reutilização de água pode ser uma solução eficiente em

processos não críticos. Além disso, o uso de água reciclada em processos de resfriamento e preparação pode reduzir significativamente os custos com água e tratamento de efluentes, promovendo práticas mais sustentáveis (Organização Mundial da Saúde, 2020).

A indústria farmacêutica e química também se beneficia da reutilização de água. Em processos não críticos, como o resfriamento e a lavagem de equipamentos, a água de reúso pode ser utilizada, desde que seja tratada adequadamente para evitar contaminações. (Smith *et al.*, 2018).

No setor têxtil, a água de reúso é utilizada principalmente nos processos de lavagem e tingimento de tecidos. A reutilização da água em sistemas de resfriamento e em processos de preparação reduz o consumo de água potável e os custos associados ao tratamento e descarte de efluentes. Esta prática não apenas promove a eficiência dos processos produtivos, mas também minimiza o impacto ambiental das operações têxteis (Brown, 2019).

2.8. LEGISLAÇÃO E DIRETRIZES DE REÚSO

Como mencionado anteriormente, um dos principais obstáculos ao reúso de efluentes no Brasil é a ausência de uma legislação federal abrangente que estabeleça padrões e condições claras para essa prática, dificultando a implementação consistente do reúso de água em todo o país. No entanto, é importante ressaltar que alguns estados brasileiros têm legislação própria que regula o reúso de água e estabelece padrões de qualidade específicos para os efluentes, levando em conta as atividades envolvidas. Essas legislações estaduais, embora bem parecidas, variam em termos de rigor e abrangência, resultando em uma heterogeneidade de regulamentações em diferentes regiões do país.

A Resolução CONSEMA nº419/2020 estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reúso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais no Estado do Rio Grande do Sul. Ela indica que na distribuição e na aplicação de água de reúso deverá ser utilizado sistema devidamente sinalizado como “não potável”, sendo vedada a mistura de água de reúso de diferentes geradores, com a finalidade de evitar a contaminação cruzada e garantir sua rastreabilidade. Ainda, segundo a Resolução, a água de reúso urbano divide-se em duas classes de qualidade: Classe A (destinada à irrigação paisagística em locais de acesso restrito, lavagem de logradouros e veículos) e Classe B (destinada à irrigação paisagística em locais de acesso limitado ou restrito, ao abatimento de poeira, aos usos na construção civil em ETEs e à desobstrução de redes esgoto pluvial e/ou cloacal) (RIO GRANDE DO SUL, 2020).

A Resolução Conjunta SES/SIMA nº01, de 13 de fevereiro de 2020, disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas no Estado de São Paulo. A água de reúso para fins urbanos, para efeito desta Resolução, abrange exclusivamente as seguintes modalidades (SÃO PAULO, 2020):

- I. irrigação paisagística;
- II. lavagem de logradouros e outros espaços públicos e privados;
- III. construção civil;
- IV. desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgotos;
- V. lavagem de veículos;
- VI. combate a incêndio.

A Resolução CERH Nº 122, de 19 de junho de 2023, estabelece diretrizes e critérios gerais para reúso de água no Estado do Paraná. Para fins desta Resolução, a água de reúso pode ser utilizada nas modalidades:

- I. Fins urbanos não potáveis:
 - a) irrigação paisagística: praças, jardins, áreas verdes, cemitérios, campos de golfe e áreas esportivas;
 - b) lavagem de veículos;
 - c) lavagem de pisos e logradouros públicos, incluindo controle de emissão de partículas em vias;
 - d) ornamentação, fontes, cachoeiras artificiais e espelhos d'água;
 - e) construção civil: produção de concreto e controle de emissão de partículas;
 - f) combate a incêndios;
 - g) uso predial: lavagem de piso, equipamentos, roupas e superfícies, irrigação paisagística, descarga de bacias sanitárias e outros usos similares em condomínios, estabelecimentos comerciais e industriais;
 - h) desobstrução de galerias de águas pluviais e rede coletora de esgoto.
- II. Fins agrícolas e florestais: aplicação para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

- III. Fins ambientais: regularização de vazão a partir de seu lançamento em corpo hídrico com o objetivo de aumentar a disponibilidade hídrica para abastecimento público e demais demandas, exceto para diluição de efluentes;
- IV. Fins industriais: aplicação em procedimentos industriais originários de processos ou efluentes tratados da própria indústria, de outras indústrias e/ou de companhias de saneamento, a serem utilizados em equipamentos, máquinas e acessórios relevantes para o funcionamento de toda a linha de produção.

Em Minas Gerais, a Deliberação Normativa CERH-MH nº65, de 18 de junho de 2020, estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. A água para reúso, para efeito desta Deliberação, é passível de utilização nas seguintes modalidades (MINAS GERAIS, 2020):

- I. Usos em atividades agrossilvipastoris: fertirrigação de culturas não ingeridas cruas, incluindo culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores, de acordo com as seguintes formas de aplicação:
 - a) no uso amplo é permitido fertirrigação superficial, localizada ou por aspersão;
 - b) no uso limitado é permitido apenas fertirrigação superficial ou localizada, evitando-se qualquer contato da água de reúso com o produto alimentício.
- II. Usos urbanos:
 - a) no uso amplo é permitido lavagem de praças, pátios, ruas e avenidas, estacionamentos e outros usos similares em áreas de acesso amplo ao público, além de lavagem de veículos comuns e uso predial comercial ou industrial (restrito a descargas sanitárias);
 - b) no uso limitado é permitido lavagem de veículos especiais (caminhões de coleta e transporte de resíduos sólidos domésticos, coleta seletiva, construção civil, mineração, trens e aviões), controle de poeira, combate a incêndio, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgoto;
- III. Usos para fins ambientais: aplicação de água para reúso em projetos de recuperação florística ou de áreas degradadas, para fertirrigação superficial, localizada ou aspersão, desde que o acesso a estas áreas seja controlado;

- IV. Usos industriais: reúso de água em operações e processos industriais, uso na construção civil, mineração, processos de produção e demais atividades em suas expertises.

No Nordeste, a Lei nº 11.322, de 30 de dezembro de 2022, dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do Estado do Rio Grande do Norte. A utilização de sistemas de reúso abrange as seguintes modalidades (RIO GRANDE DO NORTE, 2022):

- I. reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins não potáveis, tais como irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate a incêndio, em área urbana e recarga artificial de aquíferos não potáveis;
- II. reúso doméstico não potável: utilização de água de reúso para fins domésticos, exceto o potável, em área urbana ou rural;
- III. reúso para fins agrícolas: aplicação de água de reúso para produção agropecuária;
- IV. reúso para fins florestais: aplicação de água de reúso para o cultivo de espécies florestais;
- V. reúso para fins industriais e outros setores econômicos: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais e outros setores econômicos;
- VI. reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente.

A Resolução COEMA nº 02, de 02 de fevereiro de 2017 considerando a Lei Estadual nº 16.033, de 20 de junho de 2016, dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do estado do Ceará. O reúso da água não potável, para efeito desta Lei, abrange as seguintes modalidades (CEARÁ, 2017):

- I. reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil e combate ao incêndio;
- II. reúso para fins agrícolas e florestais: utilização de água de reúso para irrigação na produção agrícola e cultivo de florestas plantadas, tendo ainda como subproduto a recarga de lençol subterrâneo;
- III. reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação ambiental;

- IV. reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais;
- V. reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou para o cultivo de vegetais aquáticos.

Além das legislações estaduais, é importante destacar a Resolução CONAMA nº 503, de 14 de dezembro de 2021, que estabelece critérios e procedimentos específicos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias. De acordo com essa resolução, o reúso em sistemas de fertirrigação só pode ser realizado mediante autorização emitida pelo órgão ambiental competente. Além disso, o titular da autorização deve apresentar um projeto agrônomo, conforme estabelecido no artigo 18 da resolução, o qual deve ser elaborado por um profissional habilitado e acompanhado da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica (ART). Essa resolução exemplifica os esforços em nível federal para regulamentar o reúso da água visando garantir a segurança ambiental e a proteção saúde pública (BRASIL, 2021).

No entanto, é notável que ainda existe uma lacuna legislativa em nível federal para regulamentar de forma abrangente o reúso da água em diferentes contextos, ressaltando a necessidade contínua de desenvolvimento de políticas públicas mais amplas e integradas nesse sentido. Em 2020, foi apresentado o projeto de lei nº 2.451/2020 que dispõe sobre o reúso de água para fins não potáveis em novas edificações públicas federais e privadas residenciais, comerciais e industriais, e dá outras providências. A utilização de água de reúso para fins não potáveis tem os seguintes objetivos:

1. viabilizar o acesso equitativo e seguro à água potável por meio de seu uso eficiente e prioritário para consumo humano, destinando-se a água de reúso para atividades que tolerem usos menos exigentes;
2. melhorar a qualidade da água nos corpos hídricos mediante o controle de despejos de produtos químicos e materiais perigosos, aumentando-se o tratamento e o reúso da água e reduzindo-se a poluição;
3. aumentar a eficiência do uso da água em todos os setores, assegurando-se retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para reduzir o número de pessoas que sofrem com a sua escassez;
4. promover o crescimento econômico sustentável mediante a garantia de acesso continuado à água, em conformidade com a sua finalidade e a qualidade necessária para tal;

5. promover economia de água para toda a sociedade e prevenir a escassez hídrica mediante a redução do consumo de água potável e das decorrentes interrupções de oferta do recurso; e,
6. assegurar a continuidade da produção industrial e da atividade comercial pelo fornecimento contínuo de água de reúso para fins não potáveis, a não ser nos casos de grande disponibilidade hídrica.

É o que pretende o projeto de lei apresentado, ao prever o reúso de água para fins não potáveis em novas edificações públicas federais e privadas residenciais, comerciais e industriais, sendo obrigatório para as cidades para as quais se exija plano diretor e optativo para as demais. Essas edificações deverão utilizar água de reúso proveniente, alternativa ou cumulativamente, do polimento do efluente final das estações de tratamento de esgoto, do tratamento de efluentes líquidos do processo industrial ou da recuperação de água de chuva para aplicações que não requeiram água potável (BRASIL, 2020).

Este projeto de lei visa evitar que nenhuma água de boa qualidade, a menos que se tenha grande disponibilidade local, seja utilizada em atividades que aceitem água de qualidade inferior, tendo em vista a escassez desse recurso em determinadas regiões do país e do aumento dos custos de tratamento de água em função da deterioração dos mananciais de abastecimento. (BRASIL, 2020).

Em relação às normas e recomendações de qualidade de água de reúso, em 2019, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a NBR 16783:2019 acerca do uso de fontes alternativas de água não potável em edificações onde estabelece novos padrões de qualidade de águas de reúso. Os potenciais usos não potáveis abrangidos pela referida norma são: descarga de bacias sanitárias e mictórios, lavagem de ruas, pátios, garagens e áreas externas; lavagem de veículos; irrigação para fins paisagísticos; uso ornamental (fontes, chafarizes e lagos); sistemas de resfriamento de água; e arrefecimento de telhados (ABNT, 2019).

A Tabela 5 apresenta uma síntese do arcabouço legal e normas sobre reúso de águas no Brasil.

Tabela 5 – Principais parâmetros de qualidade de águas de reúso no Brasil

Legislação Estadual e Norma Brasileira (ABNT)	Restrição de uso (urbano)	Principais indicadores de qualidade					
		Condutividade elétrica (dS/m)	DBO ₅ (mg/L)	Cloro Residual Total (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	Ovo de helminto/L	pH
CONSEMA n°419/2020 - Rio Grande do Sul	Classe A ^(a)	< 3 dS/m	-	< 1	< 200	< 1	6 a 9
	Classe B ^(b)	-	-	-	< 1.000	N.A.	6 a 9
Resolução Conjunta SES/SIMA n°01/2020 – São Paulo	Classe A ^(a)	≤ 0,7 dS/m	≤ 10	≥ 1 e ≥ 0,5 para sistema de filtração por membrana	Não detectável	< 1	6 a 9
	Classe B ^(b)	≤ 3,0 dS/m	≤ 30	≥ 1	≤ 200	1	6 a 9
CERH N° 122, de 19 de junho de 2023 - Paraná	Classe A ^(a)	3.200 mS/cm	-	0,5 – 2,0	200	< 1	6 a 9
	Classe B ^(b)		-	0,5–2,0	1000	-	6 a 9
Deliberação Normativa CERH-MH n°65/2020 – Minas Gerais	Ampla ^(c)	-	-	-	≤ 1000	≤ 1	6 a 9
	Limitado ^(d)	-	-	-	≤ 10.000	≤ 1	6 a 9
Resolução COEMA n°2/2017 - Ceará	Reúso urbano ^(e)	≤ 3.000 S/cm	-	-	≤ 5.000	≤ 1	6 a 8,5
	Irrigação paisagística		-	-	≤ 1.000	≤ 1	6 a 8
Norma da ABNT							
NBR 16783/2019	Reúso urbano ^(f)	≤ 3.200 µS/cm	≤ 20	0,5–2,0 ^(g)	≤ 200 (<i>E. coli</i>)	-	6 a 9

(a) Uso irrestrito não potável (irrigação paisagística em locais de acesso irrestrito, lavagem de piso, logradouros públicos, lavagem de veículos, ornamentação, combate a incêndio e uso predial); (b) irrigação paisagística em locais de acesso limitado ou restrito, controle de emissão de partículas, aos usos na construção civil e na desobstrução de redes de esgoto, pluvial e/ou cloacal; (c) Lavagem de pátios, ruas e avenidas, estacionamentos ou outros com exposição similar; lavagem de veículos comuns; uso predial comercial ou industrial (restrito a descargas sanitárias). (d) Lavagem de veículos especiais (tais como aqueles utilizados em coleta e transporte de resíduos sólidos domésticos, coleta seletiva, construção civil, mineração), lavagem externa de trens e aviões, controle de poeira, combate a incêndio, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgoto; (e) irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate de incêndio dentro da área urbana; (f) descarga de bacias sanitárias e mictórios; lavagem de ruas, pátios, garagens e áreas externas; lavagem de veículos; irrigação para fins paisagísticos; uso ornamental (fontes, chafarizes e lagos); sistemas de resfriamento de água; e arrefecimento de telhados; (g) Cloro Residual Livre.

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

2.9. CASOS DE SUCESSO NO REÚSO DE EFLUENTES

O tratamento eficaz das águas residuárias é fundamental para garantir a segurança e a qualidade da água de reúso.

No Brasil, a água de reúso está sendo utilizada em atividade não potáveis, como na agricultura, na irrigação paisagística, na limpeza urbana, na lavagem de veículos e em sanitários nos shopping centers (Moura *et al.*, 2020). Alguns casos de sucessos são relatados pela SABESP (2020) e SANASA (2023).

Segundo informações disponíveis, a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) iniciou a prática de produção de água de reúso em 1998, na ETE Jesus Netto que foi transformada em uma estação para produção de água de reúso. Atualmente, além desta estação as ETEs de Barueri, Parque Novo Mundo, São Miguel e ABC, por meio da Aquapolo Ambiental, produzem cerca de 0,502 m³/s para fornecimento externo ou uso interno da SABESP. A ETE ABC fornece água de reúso ao Polo Petroquímico da Região do Grande ABC (SABESP, 2024).

A SANASA (Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A), que atua na Cidade de Campinas, por sua vez, opera as Estações Produtoras de Água de Reúso (EPAR) Capivari II e Boa Vista, e está em vias de modernização da ETE Anhumas para produção de água de reúso, com vazão de 0,63 m³/s (SANASA, 2022).

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A ETE Benedito Bentes está localizada na parte alta da cidade de Maceió na R. Boa Esperança, n° 58, no bairro do Benedito Bentes sob as coordenadas -9.54099, -35.71511 (Figura 4). Atende à população dos bairros: Cidade Universitária, Benedito Bentes, Salvador Lyra, Tabuleiro dos Martins, Santa Lúcia, Conjunto Mainá, Clima Bom, Santos Dumont e Antares. Suas operações iniciaram em setembro de 2019 com uma capacidade de 180 L/s e dois reatores em série. Atualmente, apresenta uma capacidade de 360L/s e quatro reatores sendo dois em série e dois em paralelo. A malha da rede coletora conta com onze linhas de recalque, onze elevatórias de esgoto e 30 mil ligações de domicílios à rede (SANAMA, 2024). A configuração da ETE (Figura 5) consta das seguintes operações unitárias: tratamento preliminar com gradeamento e caixas de areia, tratamento primário onde o esgoto é direcionado para tanques de decantação, tratamento secundário através dos reatores biológicos CFIC ® e tratamento terciário com a desinfecção final do efluente com hipoclorito de sódio (NaClO).

Figura 4 – Localização Estação de Tratamento de Esgoto Benedito Bentes



Fonte: Google Earth, 2024.

Figura 5 – Fotografia Aérea da ETE Benedito Bentes



1.a) Gradeamento b) Caixas de areia; 2. Reatores Biológicos; 3. Adensador de Lodo; 4. Tratamento de lodo; 5. Câmara de cloração; 6. Captação do efluente tratado para reaproveitamento do esgoto (reúso).

Fonte: Sanama, 2024.

No tratamento preliminar ou pré-tratamento, ocorre a remoção de partículas sólidas utilizando o gradeamento fino (3mm) de limpeza automática através da Peneira Rotoscreen (Figura 6), formando o resíduo de gradeamento sendo transportado pela rosca transportadora de resíduos das peneiras (Figura 7). Em seguida, por gravidade, a areia se acumula no fundo das caixas de areia (Figura 8) formando o resíduo de areia.

Figura 6 - Peneira Rotoscreen Meva, modelo RS 14-110-3



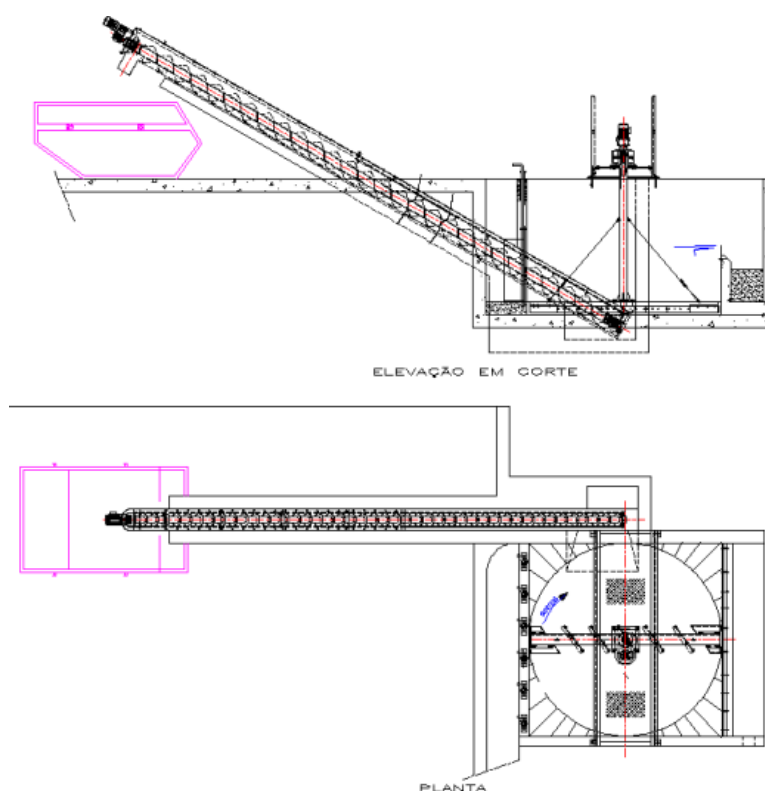
Fonte: Memphis, 2018.

Figura 7 – Rosca transportadora de resíduos das peneiras



Fonte: Memphis, 2018.

Figura 8 – Caixas de Areia (Planta e Corte)

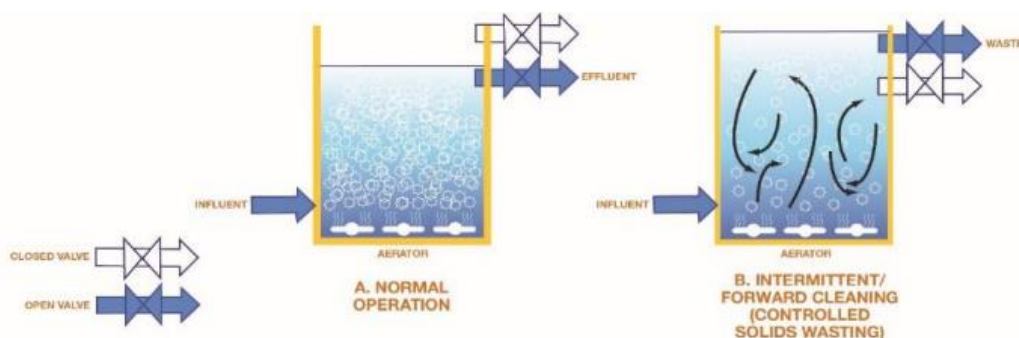


Fonte: Memphis, 2018.

A Etapa 2, mostrada na Figura 5, envolve a remoção da matéria orgânica presente no efluente (tratamento secundário) e é feita por meio dos reatores biológicos CFIC®. A tecnologia CFIC® (*Continuous Flow Intermittent Cleaning* ou Fluxo Contínuo com Limpeza Intermitente (Figura 9) é um processo biológico de tratamento de efluentes que utiliza biofilmes (Figura 10) para remover poluentes. O sistema CFIC® inclui *carriers* altamente compactados,

que são estruturas projetadas para promover o movimento de deslizamento e acomodação da biomedina, uma sobre as outras, dentro do reator.

Figura 9 – Operação do CFIC ® Estágio Único



Fonte: Manual de Operação e Manutenção do Processo Memphis, 2019.

Figura 10 - Biomedina Miowater com biofilme, BWT X ®



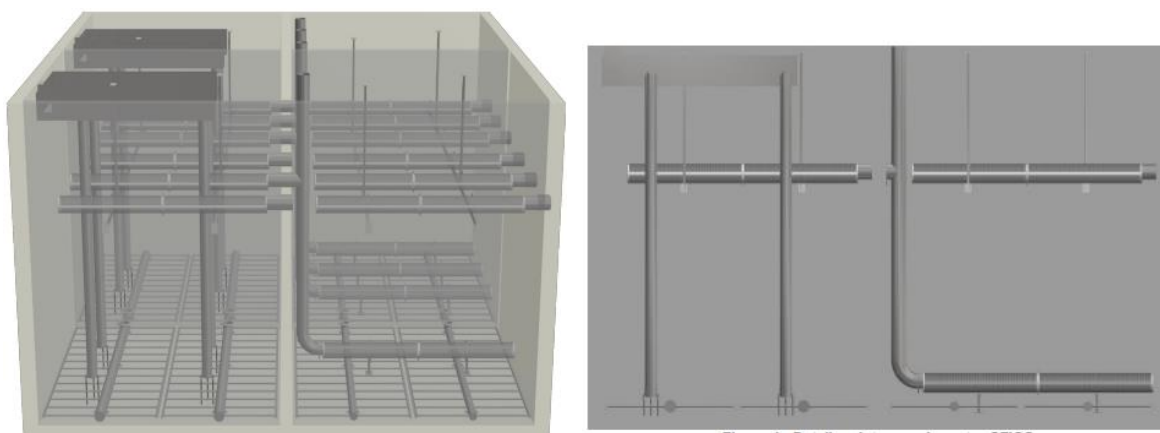
Fonte: Manual de Operação e Manutenção do Processo Memphis, 2019.

A biomassa produzida e retida no reator é removida periodicamente por meio de um processo de lavagem. Esse processo envolve o aumento do nível de água no reator, permitindo que o efluente bruto passe continuamente enquanto ocorre uma mistura turbulenta. A lavagem é realizada utilizando o próprio efluente que alimenta o reator, em um ciclo periódico chamado de FWC (Fluxo de Água de Lavagem Contínua). Não é necessário nenhum procedimento de retro-lavagem. Importante ressaltar que o processo CFIC® continua a tratar o efluente mesmo durante a lavagem, garantindo uma operação contínua e eficiente do sistema.

O efluente que entra no reator CFIC ® (Figura 11) é alimentado pelo fundo dele através de tubos perfurados, para obter uma excelente distribuição em toda a superfície. O fluxo através do reator, do fundo para o topo, é conduzido num regime tipo “Plug flow”. As telas de retenção

da biomedica são instaladas no topo do reator (no nível de operação CFIC) para não deixar a biomedica escape do biorreator. Reatores aeróbios utilizam um Sistema de difusão de ar de fundo de bolhas grossas, que fornecem o oxigênio necessário para as reações biológicas, e energia suficiente para misturar os *carriers* de biofilme durante a fase de lavagem do reator (FWC). O movimento de deslizamento e acomodação da biomedica no processo CFIC® é importante para o transporte do substrato (oxigênio e carbono) através do biofilme. Durante o ciclo de lavagem “FWC” o movimento do leito de biofilme é importante para lavar o excesso de biomassa acumulada na biomedica, mantendo uma camada mais fina de biofilme, e para limpar as telas de retenção.

Figura 11 – Detalhes internos do reator CFIC ®



Fonte: Manual de Operação e Manutenção do Processo Memphis, 2019.

Na ETE Benedito Bentes, os reatores biológicos têm 90% do seu espaço preenchido com as biomédias, onde são fornecidos oxigênio e alimento (efluente) para desenvolvimento dos microrganismos e degradação da matéria orgânica, formando o Biossólido (lodo ativado).

Após formação do biossólido, há a retenção desse produto por meio de adensamento (tratamento primário). Com o auxílio de um defletor, o lodo é direcionado por gravidade para o fundo do adensador, formando o lodo adensado (Etapa 3). Esse lodo é transportado por meio de bombas de deslocamento positivo, para as centrifugas e sofre um processo de desidratação, formando o lodo desidratado. Nesse processo de centrifugação (Etapa 4), adiciona-se um polímero catiônico (polímero + água de reúso), e, ocorre o processo de separação. O produto sólido é retirado, armazenado em silos e encaminhados para o aterro sanitário enquanto o produto líquido retorna para o início do processo de tratamento da ETE.

Na Etapa 5, ocorre o processo de desinfecção (tratamento terciário), e, consiste no processo de eliminação dos microrganismos patogênicos por dosagem de hipoclorito de sódio

(NaClO). O hipoclorito de sódio é adicionado ao efluente tratado em concentrações específicas para garantir a eliminação completa de bactérias, vírus e outros microrganismos que possam representar riscos à saúde pública.

A última etapa (Etapa 6) consiste no processo de reaproveitamento do esgoto tratado. Após a desinfecção, parte desse efluente é captado, passando por um sistema de filtração a disco e armazenado para consumo interno.

4. MÉTODO DE PESQUISA

Utilizar uma metodologia adequada é necessário para alcance dos objetivos da presente pesquisa e para garantir a confiabilidade dela. Segundo Gil (2010), metodologia de pesquisa é conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos adotados para se atingir o conhecimento. Para alcançar os objetivos desta pesquisa, a metodologia se baseia em três etapas: levantamento das demandas na área de estudo, levantamento de dados quali-quantitativos do efluente e análise de dados.

4.1. LEVANTAMENTO DAS DEMANDAS DE ÁGUA NA ÁREA DE ESTUDO

Para levantamento dos potenciais consumidores de água de reúso foi realizada levando em consideração o contexto cultural da cidade, onde o uso doméstico de água de reúso ainda não é amplamente adotado. Assim, foi realizada uma análise das Áreas Verdes de Lazer (AVL), que foram consideradas como possíveis locais para a aplicação de água de reúso na irrigação. Durante esse processo, foram identificadas as principais áreas, com registro de suas dimensões e localização por bairros, utilizando a plataforma Google Earth para o mapeamento e análise. Após a identificação das unidades consumidoras estimou-se os usos urbanos não potáveis da água. As estimativas foram baseadas em revisões bibliográficas, que forneceram informações sobre as demandas de água para diversos usos e os percentuais de consumo associados a diferentes tipos de unidades consumidoras.

4.2. LEVANTAMENTO DE DADOS QUALIQUANTITATIVOS DO EFLUENTE

A coleta de dados primários refere-se à obtenção de informações diretamente da fonte, ou seja, são dados que são coletados especificamente para o propósito da pesquisa em questão. Para analisar o potencial de reúso de efluentes tratados da Estação de Tratamento de Esgoto Benedito Bentes foram empregados instrumentos específicos tanto para coleta de dados quantitativos quanto qualitativos.

No contexto deste trabalho, optou-se por empregar a amostragem não probabilística por conveniência. Essa técnica envolve a seleção de uma amostra da população que seja facilmente acessível, ou seja, a escolha da amostra é feita com base na disponibilidade dos elementos. Neste tipo de amostragem, não são aplicadas fórmulas estatísticas; a seleção depende exclusivamente do discernimento e julgamento do pesquisador, priorizando a praticidade e a acessibilidade dos elementos escolhidos para compor a amostra.

Para avaliação qualitativa, foram utilizados os dados de vazão e de qualidade do efluente foram levantados a partir dos registros da ETE Benedito Bentes, cobrindo todo o ciclo hidrológico.

Na esfera quantitativa, a pesquisa aborda a demanda de água destinada a usos urbanos não potáveis, analisando concomitantemente a disponibilidade de esgoto tratado. Foi realizada uma avaliação da capacidade de tratamento instalada na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e uma análise da potencialidade de reúso da água, isto é, a porcentagem da demanda de água que pode ser atendida utilizando o esgoto tratado.

4.3. ANÁLISE DOS DADOS

O objetivo desta etapa foi organizar e sintetizar os dados coletados de maneira estruturada, segmentando as informações quantitativas e qualitativas.

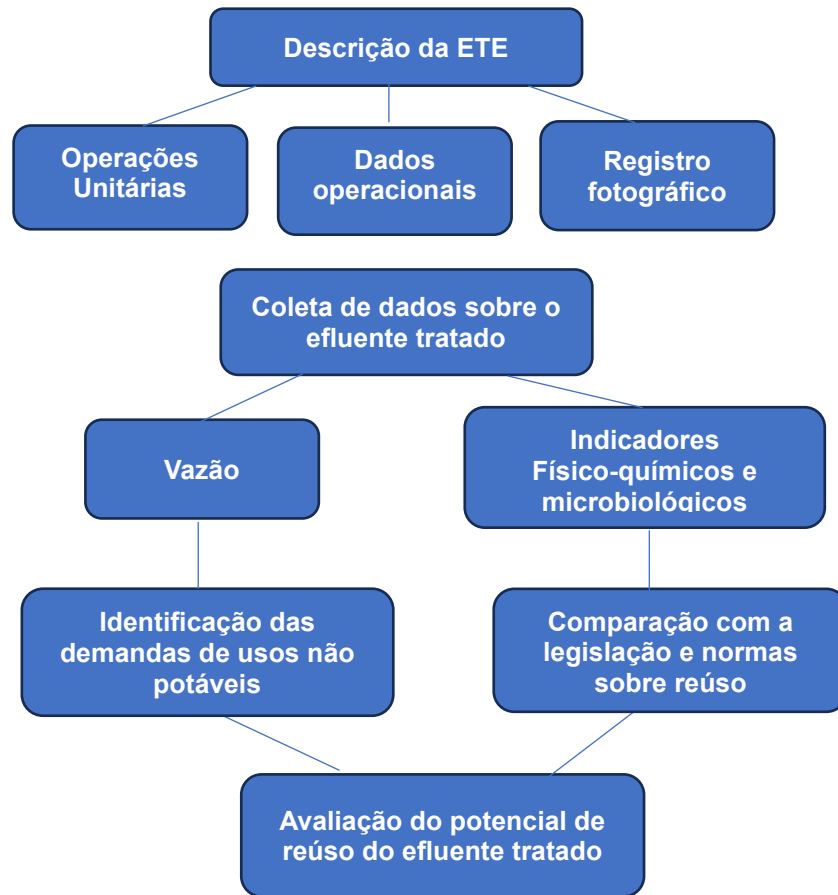
Quanto à avaliação qualitativa, foi examinada a qualidade do esgoto tratado produzido em relação às características físico-químicas e microbiológicas necessárias para os usos identificados. Além disso, haverá uma comparação entre a qualidade do efluente tratado e as diretrizes recomendadas para o reúso urbano.

Foi realizado um estudo comparativo sobre a produção de efluente tratado e a demanda identificada para usos não potáveis, na própria ETE e população do entorno.

Os dados qualitativos serão confrontados com os valores de referências disponíveis em legislação nacional e norma da ABNT sobre reúso de água.

A seguir, apresenta-se o fluxograma da metodologia a ser seguida para alcançar os objetivos do TCC (Figura 12).

Figure 12 – Fluxograma da metodologia adotada



Fonte: Autora, 2024.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo propõe-se apresentar e discutir os resultados obtidos, a partir da avaliação do potencial de reúso de efluentes tratados da Estação de Tratamento de Esgoto Benedito Bentes.

6.1 LEVANTAMENTO DAS DEMANDAS DE ÁGUA DE REÚSO DA POPULAÇÃO DO ENTORNO

As atividades de uso não potável consideradas foram agricultura e irrigação de áreas públicas. Os índices de consumo de água de reúso em atividades não potáveis foram adotados, conforme Tomaz (2010) e FUNASA (2019), descritos nos itens 3.6 e 3.7 do referencial teórico.

6.1.1 Agricultura

A área considerada para quantificar a demanda de água de reúso é apresentada na Figura 13. Esta área possui um perímetro de 1.269 metros e uma superfície total de 93.398 metros quadrados (m²). Considerou-se a irrigação de salvação, onde planeja-se irrigar somente num período relativamente curto ou em um estágio do cultivo. No caso da cana-de-açúcar, a irrigação é feita em duas ou três irrigações de 60 milímetros por mês, após o plantio, para cana-planta, ou após os cortes, para cana-soca (Rezende; Junior, 2023).

Figura 12 – Cultivo de Cana-de-Açúcar



Fonte: Google Earth, 2024.

A demanda de água para a cultura de cana-de-açúcar é de 60 mm por irrigação. Para encontrar o volume de água necessário, utiliza-se a Equação 1:

$$Volume\ de\ água = Área\ (m^2) \times Demanda\ de\ água\ (m) \quad (1)$$

Assim, considerando as informações fornecidas, tem-se que a demanda de água para uma área de 93.398 m² de cana-de-açúcar é de aproximadamente 5.604 metros cúbicos por irrigação. Como a irrigação de salvação para o cultivo de cana-de-açúcar deve ser feita de 2 a 3 vezes por mês, então a demanda mensal de água para o cultivo de cana-de-açúcar nessa área é de aproximadamente 16.812 metros cúbicos.

O ciclo de crescimento da cana-de-açúcar é extenso, variando de 12 a 18 meses até a colheita. O tempo exato para a maturação da planta depende da variedade específica e das condições de cultivo. Durante esse período, excluindo o período da quadra chuvosa, que vai de abril a setembro, o consumo de água para uma área considerada pode atingir até 151.308 m³.

Utilizar água de reúso pode ser uma solução eficaz para economizar mais de 150 mil metros cúbicos de água que poderia ser utilizada para abastecimento público. Segundo dados da Companhia Espírito-Santense de Saneamento (Cesan), a água de reúso tratada com cloro tem um custo de R\$ 2,52 por metro cúbico, em comparação com o custo de R\$ 15,57 por metro cúbico da água potável. Contudo, é importante considerar que o transporte da água, especialmente em grandes volumes, pode aumentar significativamente o custo total da irrigação.

6.1.2 Irrigação de Áreas Públicas

A Tabela 6 apresenta as 10 áreas verdes localizadas na área de estudo, suas respectivas descrições, dimensões e bairros de localização. As áreas compreendem parques e praças. Para calcular o volume necessário para a irrigação dessas áreas, adotou-se um valor de 1,5 L/m² por dia recomendado pela Norma Técnica da Sabesp NTS 181 (2017), que varia de 1,0 a 2,0 L/m² por dia para a irrigação de jardins. O estudo também considerou uma frequência de rega de duas vezes por semana, especialmente no período de verão.

Tabela 6 – Identificação de Áreas Verdes

Descrição	Localização		Área (m ²)	Demanda total (m ³ /mês)	Bairro
	Latitude	Longitude			
Parque Esportivo do Benedito Bentes	-9.53616	-35.72187	12.418	149,016	Benedito Bentes
Praça do Cely	-9.53644	-35.72542	4.633	55,596	Benedito Bentes
Praça de Santa'Ana	-9.55534	-35.73662	2.450	29,4	Benedito Bentes

Praça Padre Cícero	-9.56049	-35.72479	19.395	232,74	Benedito Bentes
Praça do Carminha	-9.55951	-35.71249	1.730	20,76	Benedito Bentes
Praça Nossa Senhora das Graças	-9.56446	-35.71031	150	1,8	Benedito Bentes
Praça Escritor Graciliano Ramos	-9.54854	-35.75162	2.556	30,672	Cidade Universitária
Praça de São Vicente de Paulo	-9.54972	-35.74681	1.276	15,312	Cidade Universitária
Praça Dubeaux Leão	-9.56414	-35.74953	4.906	58,872	Tabuleiro dos Martins
Praça Principal do Salvador Lyra	-9.56069	-35.74825	2.231	26,772	Tabuleiro dos Martins
Total				620,94	

Fonte: Autora, 2024.

6.1.3 Potenciais Consumidores de Água de Reúso

A Tabela 7 apresenta as fábricas de concreto pré-moldado localizadas nas proximidades da ETE que têm potencial para utilizar água de reúso na fabricação de suas peças.

Tabela 7 – Potenciais Clientes (Construção Civil)

Cliente em Potencial	Localização	
	Latitude	Longitude
Pré Moldados Alagoas	-9.54783	-35.78137
Home Center Maceió Pré-Moldados	-9.56352	-35.75555
Cícero Pré-Moldados	-9.54727	-35.75567
PremoAL Artefatos de Concreto	-9.55206	-35.75524
JG Pré-Moldados	-9.54749	-35.79106

Concretex Indústria e Comércio de Pré-Moldados	-9.55488	-35.78062
---	----------	-----------

Fonte: Autora, 2024.

A quantidade de água de reúso necessária para atender à demanda dessas fábricas poderá ser determinada em estudos futuros, após a coleta e análise de dados.

Em 2022, o Polo Multisetorial Industrial Governador Luiz Cavalcante, em Maceió, contava com 120 empresas, que representam um mercado potencial significativo para a água de reúso. A diversidade de indústrias presentes no polo oferece uma excelente oportunidade para a implementação de práticas sustentáveis. A quantidade de água de reúso necessária para atender à demanda dessas indústrias poderá ser determinada em estudos futuros, após a coleta e análise de dados.

6.2 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS EFLUENTES TRATADOS

A Tabela 8 apresenta o volume mensal de efluente tratado, a vazão diária do efluente e a produção da água de reúso da ETE estudada. A produção de água de reúso na ETE, atualmente, é de 25m³/hora.

Tabela 8– Avaliação Quantitativa dos Efluentes Tratados

Volume do efluente tratado (m ³ /mês)	Vazão diária do efluente tratado (L/s)	Produção de água de reúso (m ³ /mês)
182559,3	69,82	18000

Fonte: Autora, 2024.

A faixa de consumo dos potenciais consumidores estudados (irrigação de áreas verdes e agricultura) varia de 600 m³/mês a 17.000 m³/mês. Portanto, a demanda total mensal desses consumidores está totalmente coberta pela produção de água de reúso na ETE Benedito Bentes.

6.3 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DOS EFLUENTES TRATADOS

Para o presente estudo foram coletados dados de vazão compreendendo o período de janeiro a dezembro de 2023, além de dados das análises físico-químicas para o mesmo período (Anexo 1). Dessa forma, tem-se todo o período hidrológico de 2023 contemplado.

Como descrito do Capítulo 3 deste estudo, os principais parâmetros de qualidade de águas de reúso no Brasil são Condutividade Elétrica, Demanda Bioquímica de Oxigênio

(DBO's), Cloro Residual Total, Coliformes Termotolerantes, Ovos de Helminhos e pH. Entretanto, os parâmetros de Condutividade Elétrica, Ovos de Helminhos e pH não são mensurados na ETE em questão.

A Tabela 9 apresenta os valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio encontrados para o ano de 2023.

Tabela 9 – DBO's – 2023

Mês	DBO (mg/L)	Mês	DBO (mg/L)	Mês	DBO (mg/L)
Janeiro	16,5	Maio	23,5	Setembro	22,5
Fevereiro	15,1	Junho	13,2	Outubro	17,7
Março	25	Julho	19,9	Novembro	25,7
Abril	30,9	Agosto	12,7	Dezembro	21,4

Fonte: Autora, 2024.

Na análise dos dados coletados para o ano de 2023, foram calculadas a média e o desvio padrão da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). A média observada foi de 20,34 mg/L, com um desvio padrão de 5,53 mg/L.

Analisando a Tabela 9, verifica-se um desvio nos resultados da análise no mês de abril. Esse desvio foi atribuído à perda de sólidos no adensador de lodo durante a lavagem das Biomídias, o que ocasionou uma deficiência temporária tanto na Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) quanto na desinfecção do efluente tratado. No entanto, o sistema conseguiu se recuperar de maneira eficaz, apresentando valores satisfatórios nas análises subsequentes.

De acordo com a NBR 16783:2019, o valor permitido para a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é igual ou inferior a 20 mg/L. Assim, a média de 20,34 mg/L ultrapassa o limite estabelecido por essa norma, sugerindo que a qualidade da água não está em conformidade com os padrões exigidos. No entanto, levando em conta a situação atípica da perda de sólidos no adensador de lodo, é possível observar que o efluente está bastante próximo de atender aos requisitos para reúso.

Além disso, ao comparar esses resultados com outras regulamentações, como a Classe B da Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01/2020 de São Paulo — que abrange usos como irrigação paisagística em áreas de acesso limitado, controle de poeira, construção civil em estações de tratamento de esgoto (ETEs) e desobstrução de redes de esgoto pluvial e/ou cloacal —, observa-se que a média de 20,34 mg/L está dentro dos parâmetros permitidos, já que o valor máximo permitido para a DBO é de 30 mg/L.

Os valores encontrados para o parâmetro de Cloro Residual Total para o ano de 2023 são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Cloro Residual Total - 2023

Mês	Cloro residual total (mg/L)	Mês	Cloro residual total (mg/L)	Mês	Cloro residual total (mg/L)
Janeiro	1,69	Maio	1,19	Setembro	1,22
Fevereiro	1,8	Junho	1,2	Outubro	1,18
Março	1,31	Julho	1,37	Novembro	1,17
Abril	1,38	Agosto	1,3	Dezembro	1,35

Fonte: Autora, 2024.

Na análise dos dados coletados para o ano de 2023, foram calculadas a média e o desvio padrão para o Cloro Residual. A média observada foi de 1,35 mg/L, com um desvio padrão de 0,20 mg/L. De acordo com a NBR 16783:2019 e a maioria das regulamentações relevantes, o valor permitido para o Cloro Residual deve ser igual ou maior que 0,5 mg/L e igual ou menor que 2,0 mg/L. Portanto, a média encontrada está dentro dos limites estabelecidos para este parâmetro.

Todavia, a única regulamentação que não foi atendida é a da Classe A da Resolução CONSEMA nº 419/2020, do Rio Grande do Sul, que se destina à irrigação paisagística em locais de acesso restrito, lavagem de logradouros e veículos. Para essa classe, o valor permitido é de até 1,0 mg/L, e a média encontrada excede esse limite.

Os valores encontrados para o parâmetro de Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) para o ano de 2023 são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) - 2023

Mês	Coliformes Termotolerantes (mg/L)	Mês	Coliformes Termotolerantes (mg/L)	Mês	Coliformes Termotolerantes (mg/L)
Janeiro	990	Maio	181	Setembro	140
Fevereiro	150	Junho	1473	Outubro	147
Março	868	Julho	145	Novembro	360
Abril	35145	Agosto	380	Dezembro	347

Fonte: Autora, 2024.

O parâmetro de coliformes termotolerantes apresentou um resultado de 35.145 NMP/100 mL para o mês de abril, um valor significativamente superior ao observado nos outros meses. Durante esse período, o cloro residual médio foi de 1,38 mg/L, indicando que o consumo de hipoclorito de sódio foi adequado para a desinfecção. A ineficiência da desinfecção no mês de abril pode ser explicada pela concorrência da DBO pelo cloro, durante a desinfecção.

Os valores encontrados para Nitrogênio Amoniacal estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Nitrogênio Amoniacal - 2023

Mês	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Mês	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Mês	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)
Janeiro	16	Maio	10,8	Setembro	19,4
Fevereiro	15,1	Junho	5,6	Outubro	25
Março	16,6	Julho	8	Novembro	26,2
Abril	15,6	Agosto	10,5	Dezembro	24,9

Fonte: Autora, 2024.

A faixa aceitável para o nitrogênio amoniacal em água de reúso pode variar de acordo com a aplicação específica e as regulamentações locais. Em geral, os limites para diferentes usos são os seguintes:

- I. **Irrigação Agrícola:** para irrigação de culturas alimentícias, é recomendado que a concentração de nitrogênio amoniacal na água de reúso seja inferior a 10 mg/L. Esse limite ajuda a evitar toxicidade para as plantas e acúmulo excessivo de nutrientes no solo, o que pode levar a problemas de eutrofização (U.S. Environmental Protection Agency [USEPA], 2012). De acordo com a análise da Tabela 12, apenas os meses de junho e julho atendem a esse parâmetro;
- II. **Uso em Refrigeração e Processos Industriais:** para aplicações industriais, como sistemas de refrigeração, a concentração de nitrogênio amoniacal pode ser mais alta, geralmente abaixo de 50 mg/L, para evitar problemas de corrosão e garantir a eficiência dos sistemas (Water Reuse Foundation, 2014). Assim, observa-se que os valores encontrados estão dentro do limite aceitável para esse tipo de uso;
- III. **Reúso Urbano e Jardins:** para irrigação de jardins e áreas urbanas, a concentração de nitrogênio amoniacal frequentemente deve estar abaixo de 20 mg/L. Esse limite é considerado adequado para proteger a saúde das plantas e minimizar impactos ambientais (Drechsel *et al.*, 2015). Analisando os dados encontrados, observa-se que os meses de outubro a dezembro apresentam concentrações que excedem o limite recomendado para esse tipo de reúso.

Os valores encontrados para Fósforo Total estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Fósforo Total - 2023

Mês	Fósforo Total (mg/L)	Mês	Fósforo Total (mg/L)	Mês	Fósforo Total (mg/L)
Janeiro	4,38	Maio	1,99	Setembro	4,05
Fevereiro	2,89	Junho	1,28	Outubro	4,07
Março	2,6	Julho	2,56	Novembro	3,85

Abril	3,36	Agosto	1,96	Dezembro	3,45
--------------	------	---------------	------	-----------------	------

Fonte: Autora, 2024.

A faixa aceitável para o fósforo total em água de reúso varia de acordo com a aplicação específica e os regulamentos locais. Em geral, os limites para diferentes usos são os seguintes:

- I. **Irrigação Agrícola:** a concentração de fósforo total na água de reúso deve geralmente ser inferior a 1 mg/L (U.S. Environmental Protection Agency [USEPA], 2012). No entanto, ao analisar os dados, observa-se que esse parâmetro não está atendendo aos limites estabelecidos pelos regulamentos;
- II. **Uso em Refrigeração e Processos Industriais:** para aplicações industriais, como sistemas de refrigeração, o limite pode ser mais flexível, com concentrações de fósforo total frequentemente abaixo de 5 mg/L (Water Reuse Foundation, 2014). Nota-se que, para esse tipo de uso, o efluente tratado se encontra dentro dos parâmetros estabelecidos;
- III. **Reúso Urbano e Jardins:** a concentração de fósforo total é frequentemente recomendada a estar abaixo de 2 mg/L (Drechsel *et al.*, 2015). Analisando a Tabela 13, é possível notar que apenas os meses de maio, junho e agosto atenderam a esse parâmetro.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do potencial de reúso não potável de efluentes tratados provenientes da Estação de Tratamento de Esgoto Benedito Bentes, em Maceió, AL, por meio de uma abordagem integrada quantitativa e qualitativa, teve como objetivo levantar dados quali-quantitativos dos efluentes tratados, além de avaliar a conformidade com os padrões de reúso, comparando os resultados das análises com os limites estabelecidos para reúso não potável de efluentes. Isso incluiu a identificação dos parâmetros que atendem às diretrizes normativas e a avaliação da disponibilidade quantitativa do efluente tratado, considerando as demandas locais para diversos usos potenciais, como agricultura e irrigação de áreas públicas.

Ao analisar os dados coletados em relação à qualidade do efluente produzido, observou-se que a média anual da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) para 2023 foi de 20,34 mg/L, ligeiramente superior ao limite de 20 mg/L estabelecido pela NBR 16783:2019. Apesar disso, os resultados podem ser considerados promissores. O desvio identificado no mês de abril, causado pela perda de sólidos no adensador de lodo durante a lavagem das Biomídias, foi um evento isolado que impactou temporariamente o desempenho do sistema de tratamento de efluentes. No entanto, o sistema demonstrou capacidade de recuperação, apresentando valores subsequentes dentro de padrões mais aceitáveis. Além disso, ao comparar os dados coletados com outras regulamentações, como a Classe B da Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01/2020 de São Paulo, que permite uma DBO de até 30 mg/L para diversos usos, os resultados se mostraram conformes, indicando que, embora a qualidade da água tratada ainda precise de melhorias para atender integralmente à NBR 16783:2019, o efluente já se encontra apto para aplicações, como irrigação paisagística e controle de poeira.

Em relação ao cloro residual, os dados indicam que os valores estão em conformidade com a NBR 16783:2019 e com a maioria das regulamentações relevantes, que estabelecem limites entre 0,5 mg/L e 2,0 mg/L para esse parâmetro. A observância desses limites sugere que o efluente tratado atende, de maneira geral, aos requisitos de cloração para fins de reúso. No entanto, a única exceção observada foi em relação à Classe A da Resolução CONSEMA nº 419/2020, do Rio Grande do Sul, que estipula um limite máximo de 1,0 mg/L de cloro residual para usos como irrigação paisagística em locais de acesso restrito e lavagem de logradouros e veículos.

O parâmetro de coliformes termotolerantes apresentou uma concentração elevada no mês de abril, significativamente superior aos valores registrados nos demais meses. Esse

aumento expressivo sugere uma falha pontual no processo de desinfecção durante esse período. Essa ineficiência pode ser atribuída à concorrência da DBO pelo cloro disponível, reduzindo a eficácia do cloro na eliminação dos coliformes.

A análise das concentrações de nitrogênio amoniacal na água de reúso revelou variações mensais, com impactos diferenciados dependendo da aplicação. Para irrigação agrícola, que exige concentrações inferiores a 10 mg/L, apenas os meses de junho e julho atenderam a esse limite. Para usos industriais, como refrigeração, onde o limite é de até 50 mg/L, a água de reúso se mostrou adequada. Contudo, para reúso urbano e irrigação de jardins, que requerem concentrações abaixo de 20 mg/L, os meses de outubro a dezembro apresentaram valores excessivos, sugerindo a necessidade de tratamento adicional para essas finalidades.

A análise das concentrações de fósforo total na água de reúso revelou variações em relação aos limites estabelecidos para diferentes usos. Para irrigação agrícola, que exige concentrações inferiores a 1 mg/L, o efluente não atende aos parâmetros recomendados, indicando a necessidade de tratamento adicional. Já para refrigeração e processos industriais, onde o limite é mais flexível (até 5 mg/L), os dados indicam que a água tratada se encontra dentro dos limites permitidos. Para reúso urbano e irrigação de jardins, que requerem concentrações abaixo de 2 mg/L, apenas os meses de maio, junho e agosto estão em conformidade, enquanto os demais meses apresentaram valores superiores, necessitando de ajustes para atender a essas aplicações.

Quanto aos dados quantitativos, a produção de água de reúso na ETE atualmente é de 25 m³/hora. Entre os potenciais consumidores identificados no estudo estão uma área de cultivo de cana e 10 áreas verdes, cuja demanda totaliza 17.440 m³ mensais. Com base nesses dados, verifica-se que a produção atual de água de reúso é suficiente para atender à demanda desses consumidores, evidenciando a viabilidade do uso de efluente tratado para fins de irrigação e manutenção de áreas verdes. Utilizar água de reúso pode ser uma solução eficaz para economizar mais de 17 mil metros cúbicos de água potável por mês, que poderia ser utilizada para abastecimento público. Contudo, é crucial considerar os custos associados ao transporte da água em grandes volumes, que podem impactar significativamente o custo total do uso de efluente tratado, influenciando a viabilidade econômica dessa prática.

7. CONCLUSÃO

Em síntese, os resultados obtidos na análise do efluente tratado na ETE Benedito Bentes destacam o potencial significativo para o reúso não potável em diversas aplicações, embora alguns parâmetros necessitem de melhorias para atender a todos os padrões normativos. A integração das informações qualitativas e quantitativas proporciona uma compreensão abrangente da qualidade do efluente e sua adequação para diferentes finalidades, permitindo decisões mais informadas sobre o uso de água de reúso na região.

Este estudo precede diversas investigações futuras que podem aprofundar a compreensão sobre o reúso de efluentes tratados, entre elas, destaca-se a necessidade de pesquisas focadas na otimização dos processos de tratamento, visando a melhoria da qualidade do efluente e a conformidade com as normas regulatórias para uma gama mais ampla de aplicações. Além disso, estudos sobre a aceitação e percepção da comunidade em relação ao uso de água de reúso são fundamentais, pois contribuem para a sensibilização e a educação ambiental.

Ademais, é crucial destacar a necessidade de uma legislação federal específica sobre o reúso de efluentes tratados. A criação de um marco regulatório abrangente e bem definido pode fornecer diretrizes claras e consistentes, ajudando a harmonizar as normas existentes em diferentes estados e municípios, garantindo a segurança e a qualidade do uso da água de reúso em todo o país.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO – ANA (Brasil). **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas** / Agência Nacional de águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13.969/97 **Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 16.783/2019. **Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações**. Primeira edição: 19/11/2019. ABNT, 2019. 19p.
- BARROS, C. F., & MELO, J. R. (2019). **Aspectos econômicos e ambientais do cultivo de cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil**. *Revista Brasileira de Economia Agrária*, 12(2), 204-219. doi:10.1590/0103-2003.20210013.
- BARROS, H.M.M.; VERIATO, M.K.L.; SOUZA, L.P.; CHICÓ, L.R.; BAROSI, K.X.L. **Reúso de água na agricultura**. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 10, n. 5, p. 11-16.
- BERNARDI, C. C. **Reúso de água para agricultura**. 2003. 625f. Monografia (Especialização Lato Sensu, com área de concentração em Planejamento Estratégico) – ISEA/FGV/ECOBUSINESS SCHOOL, BRASÍLIA, 2003.
- BRAGA, A. P., & MOREIRA, J. P. (2018). **Análise da demanda hídrica na produção de cana-de-açúcar**. *Journal of Agricultural Engineering*, 31(2), 112-120. doi:10.1094/JAEN-05-18-0024.
- BRASIL. Câmara de Deputados. **Projeto de Lei nº 2451/2020**. Dispõe sobre o reúso de água para fins não potáveis em novas edificações públicas federais e privadas residenciais, comerciais e industriais, e dá outras providências. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1891064. Acesso em: 28 fev. 2024.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **CataloSan: catálogo de soluções sustentáveis de saneamento - gestão de efluentes domésticos** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde; Paula Loureiro Paulo, Adriana Farina Galbiati, Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho. – Campo Grande: UFMS, 2018. 50 p.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 503, de 14 de dezembro de 2021**. Define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias. [S. l.], 14 dez. 2021. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=813#:~:text=RESOLU%C3%87%C3%83O%20N%C2%BA%20503%2C%20DE%2014,%2C%20latic%C3%ADnios%2C%20frigor%C3%ADficos%20e%20graxarias. Acesso em: 27 fev. 2024.

BREGA FILHO, Darcy.; MANCUSO, Pedro Caetano Sanches, **Capítulo 2 – Conceito de reúso de água**. In: REÚSO DE ÁGUA. Barueri, SP: Manole, 2003.

BROWN, R. A. **Inovações Tecnológicas em Sistemas de Reúso de Água**. Environmental Technology Reviews, 8, 234-248. (2019).

CASAL. Companhia de Saneamento de Alagoas. **Esgotamento Sanitário**. Disponível em: < <https://www.casal.al.gov.br/esgotamento-sanitario/> > Acesso em: 14 fev 2024.

CASTRO, César Nunes. **Água, problemas complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Rio de Janeiro: Ipea, 2022. 281p.

CEARÁ. 2016. **Lei nº 16.033, de 22 de junho de 2016**. Dispõe sobre a Política de Reúso de Água não Potável no âmbito do Estado do Ceará. Ceará, CE, 20 jun. 2016. p. 1-3.

CETESB. Reúso da água. São Paulo. SP. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/tpos-de-agua/reuso-de-agua/> . Acesso em: 24 jun 2024.

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS). **Guia de Sustentabilidade na Construção Civil**. Rio de Janeiro: CBCS, 2020.

COSTA FILHO, E. **Sustentabilidade e Reúso de Água na Construção Civil**. São Paulo: Editora Construir, 2016.

COSTA FILHO. E.; SILVA, R.S. **Avaliação do consumo de água em canteiros de obra da região metropolitana do Recife**. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada. Volume 2, Número 1, 2016.

COSTA, R. ET AL. **A crise do desperdício de água no Brasil e o impacto da gestão hídrica**. Revista Brasileira de Gestão de Águas, 12(4), 301-315 (2021).

DRECHSEL, P., QADIR, M., & WICHELS, D. **Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World**. Springer, 2015.

DREWES, J. E. **Water Reuse: A Review**. In: Water Reuse: An Overview, CRC Press. 2015.

FARIAS, L. F., RIBEIRO, A. A. (2017). O papel da cana-de-açúcar na economia do Nordeste brasileiro. *Caderno de Geografia*, 23(1), 99-115. doi:10.26512/cg.2312017.014.

FERNANDES, V.M.C. (2006) **Padrões para reúso de águas residuárias em ambientes urbanos**. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 2., 2006. *Anais..* p. 17.

FLORENCIO, L; BASTOS, R. K. X; AISSE, M. M. (coordenador). **Tratamento e utilização de esgotos Sanitários**. PROSAB – Edital IV. Recife: ABES, 2006. 427p.

FREITAS, Fernando Garcia de; MAGNABOSCO, Ana Lelia; FILHO, Rubens Ferreira Filho. **Demanda Futura por Água Tratada nas Cidades Brasileiras 2017 a 2040**. Ex Ante Consultoria Econômica. Trata Brasil. Disponível em: < <https://tratabrasil.org.br/wp->

[content/uploads/2022/09/Demanda_futura_por_agua_-_Instituto_Trata_Brasil_-_26-08-2020a.pdf](#) > Acesso em: 19 jan 2024.

GIAKOUMIS, T., VAGHELA, C. VOLVOULIS, N. **The role of water reuse in the circular economy. *Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection*, 5, 227-252.**

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2010.
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). **Censo Brasileiro de 2020**.
Maceió: IBGE

Instituto Trata Brasil. **Estudo mostra possíveis impactos das mudanças climáticas e do desenvolvimento econômico na demanda por água potável até 2040**. Disponível em: < https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Estudo_de_demanda_hidrica_-_RELEASE_-_FINAL.pdf > Acesso em: 19 jan 2024.

JONES, Edward R.; VAN VLIET, Michelle T. H.; QADIR, Manzoor; BIERKENS, Marc F. P. **Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse**. *Earth System Science Data*, v.13, n.2, 237-254p. 2021.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino de Arruda. **Tratamento de esgoto doméstico**. 4 ed. Rio de Janeiro, 2005.

KATO, Mario T.; LAPOLLI Flávio R.; SOUSA, José T.; NOLASCO, Marcelo A.;
GONÇALVES, Ricardo F.; LEITE, Valderi D. **Oportunidades e desafios na implementação de estações de tratamento de esgoto Descentralizadas**. In: André Bezerra dos Santos (organizador). *Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais*. Fortaleza: Impreco, 2019, 23-47p.

KUZMA, Samantha; SACCOCCIA, Liz; CHERTOCK Marlena. **25 Countries, Housing One-quarter of the Population, Face Extremely High Water Stress**. World Resources Institute. Disponível em: < <https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries> >

LAVRADOR FILHO, José. **Contribuição para o entendimento do reúso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil**. 1987. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987. Acesso em: 28 fev. 2024.

LIMA, P. F., SILVA, A. S., & OLIVEIRA, M. F. **A poluição das águas urbanas e os desafios do saneamento**. *Ciência & Saúde Coletiva*, 24(6), 2021-2035 (2019).

Manual de Operação e Manutenção do Processo – Biofilme Biowater CFIC ®. Memphys, Brasil, 2019.

MARICATO, E., COLOSSO, P., & COMARÚ, F. D. A. (2018). **Um projeto para as cidades brasileiras e o lugar da saúde pública**. *Saúde em Debate*, 42, 199-211.

MEJIA, Mishelle; MELO, Marília Carvalho de; SANTOS, Ana Sílvia Pereira. **Reúso: Instrumento de um novo modelo de Gestão das Águas**. *Águas do Brasil*, jan/2021. Disponível em < <https://aguasdobrasil.org/artigo/reuso/> > Acesso em 25.02.2024.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. McGraw-Hill, 2003.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2005. 1819 p.

METCALF & EDDY. **Water reuse: issues, technologies, and applications** / written by Takashi Asano (Org.). McGraw Hills Companies. 2007. 1461p.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Deliberação Normativa CERH-MG nº 65, de 18 de junho de 2020**. Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. Belo Horizonte, 20 jun. 2020. Disponível em: <<https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52040>>. Acesso em: 28 fev. 2024.

MONTE, Helena Marecos, ALBUQUERQUE, António. **Reutilização de Águas Residuais**. Série Guias Técnicos, 14. Ed. : Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. ISBN: 978-989-8360-01-4, 319p. 2010.

MOURA, Priscila Gonçalves, *et al.* **Water reuse: a sustainable alternative for Brazil**, Eng. Sanit. Ambient., v.25, n.6, 791-808p. nov/dez 2020.

Nações Unidas, Gabinete do Alto Comissário para os Direitos Humanos (ACNUDH), Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU-Habitat), Organização Mundial de Saúde (OMS). (O) **Direito à Água**. Fact sheet N.º 35. 2010.

NUNES, J. A. **Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 4. ed. Aracaju, SE: J Andrade, 2014.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 4. ed. Aracaju, SE, 2004.

Organização Mundial da Saúde. **Diretrizes para Reutilização de Água**. (2020). Disponível em: < https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/guidelines-reuse-water/en/ > Acesso em: 12 set 2024.

PARANÁ. Secretaria do Desenvolvimento Sustentável. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Resolução CEHR nº 122, de 19 de junho de 2023**. Estabelece diretrizes e critérios gerais para reúso de água no Estado do Paraná. Curitiba, 19 jun. 2023. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-07/1007resolucaoreuso_2.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2024.

RIO GRANDE DO NORTE. **Lei nº 11.332, de 30 de dezembro de 2022**. Dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do Estado do Rio Grande do Norte. Natal, 31 dez. 2022. Disponível em: <<https://www.al.rn.leg.br/storage/legislacao/2023/xyly141mlwrywqdfisurxdpdlicmh.pdf>. > Acesso em: 28 fev. 2024.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Conselho Estadual

do Meio Ambiente. **Resolução nº 419/2020**. Estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reúso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 13 fev. 2020. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202006/24135755-419-2020-estabelece-criterios-e-procedimentos-para-a-utilizacao-de-agua-de-reuso.pdf>000.. Acesso em: 27 fev. 2024.

SABESP. **Água de reúso: solução inteligente que poupa água potável**. Disponível em: <https://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaoId=65&id=7442> > Acesso em: 28 fev 2024.

SABESP. **Norma técnica Sabesp NTS 181**. Dimensionamento do ramal predial de água, cavalete e hidrômetro – Primeira ligação. São Paulo, 2017.

SANASA CAMPINAS. Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento SA. **Campinas vai ganhar terceira Estação Produtora de Água de Reúso (EPAR)**. 2022. Disponível em <https://tratamentodeagua.com.br/sanasa-reuso/> > Acesso em 25.02.2024.

SANT'ANNA JUNIOR, G. L. **Tratamento Biológico de Efluentes: fundamentos e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2013, 424 p. ISBN 978-85-7193-327-9.

SANTOS, B. B. **Avaliação do potencial de reúso de água para fins urbanos não potáveis a partir do efluente tratado da Estação de Tratamento de Esgotos da Lagoa da Conceição em Florianópolis/SC**. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Sanitária e Ambiental. Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina, 2023.

SIMHA, P.; GANESAPILLAI, M. **Ecological Sanitation and nutrient recovery from human urine: How far have we come? A review**. Sustainable Environment Research, p. 107-116, 2017.

Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento - SNIS. (2021). **Diagnóstico temático serviços de Água e Esgoto**. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado de Saúde e Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Infraestrutura. **Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01, de 13 de fevereiro de 2020**. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas. [S. l.], 13 fev. 2020. Disponível em: https://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/legislacao/leg_estadual/leg_est_resolucoes/Resol-cjta-SES-SIMA-01-2020_Processo-ssrh-90-2016_reuso-de-agua-nao-potavel_fins_urbano_ETE.pdf. Acesso em: 27 fev. 2024.

SILVA, D. D., SOUZA, J. F. (2020). Estudo do uso eficiente da água na irrigação da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 25(1), 45-56. doi:10.1590/2318-0331.25192018.

SMITH, J. B., ZANDER, M. A., & BROWN, R. A. **Estudos de Caso sobre Reuso de Água na Indústria de Concreto**. Water, 10(6), 766. <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/6/766> (2018).

SNATURAL Ambiente. **Tratamento de Efluentes e Água com Separador de Água e Óleo.** Disponível em: < <https://www.snatural.com.br/separador-agua-oleo-sao/> > Acesso em 27 fev 2024.

SOUZA, C. R. *et al.* **Reúso de efluentes tratados em áreas urbanas: Uma solução para a escassez de água.** Journal of Environmental Management, 22(5), 1245-1257 (2019).

TELLES, D. A.; COSTA, R. H. **Reúso da Água: conceitos, teorias e práticas.** 2. ed. São Paulo, SP: Blucher, 2007.

UNITED NATIONS - UN. **Committee on Economic, Social and Cultural Rights.** General Comment 15: The right to water (Twenty-ninth session, 2003). Geneva, 2003.

_____. **The human right to water and sanitation.** Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010, United Nations General Assembly Document A/RES/64/292. New York: United Nations, 2010.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). **Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply through Reuse of Municipal Wastewater.** EPA 530-R-12-001, 2012.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. **Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions.** London UK: IWA Publishing e Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005, v. 1, 810 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** 1. ed. Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1996, 240 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 1).

WaterReuse Foundation. **State of the Industry Report: Water Reuse,** 2014.

WRM - Water Resources Management. The World Bank Report 05 October, 2022. Water Resource Management. Disponível em <https://www.worldbank.org/en/topic/waterresourcesmanagement> Acesso em 31.03.2024.

ZANDER, M. A., BROWN, R. A., & SMITH, J. B. **Avaliação dos Benefícios Ambientais e Econômicos da Reutilização de Água.** Water Research, 125, 122-132. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719302974> (2017).

ANEXOS

Dados quantitativos e quantitativos do efluente

Tabela 14A - Vazão: janeiro/2023

DATA	HORÁRIO	LEITURA	VOLUME (m³)	Consumo de Energia Elétrica (KWh)	Observações
01/01/23	07:30	4667830	5633	3.855	chuva
02/01/23	07:30	4673463	4682	3.512	-
03/01/23	07:30	4678145	4605	3.484	-
04/01/23	07:30	4682750	4654	3.502	-
05/01/23	07:30	4687404	4137	3.315	-
06/01/23	07:30	4691541	4257	3.359	-
07/01/23	07:30	4695798	4412	3.414	-
08/01/23	07:30	4700210	4582	3.476	-
09/01/23	07:30	4704792	4606	3.485	-
10/01/23	07:30	4709398	3937	3.243	-
11/01/23	07:30	4713335	4679	3.511	-
12/01/23	07:30	4718014	4345	3.390	-
13/01/23	07:30	4722359	4691	3.515	-
14/01/23	07:30	4727050	5312	3.739	-
15/01/23	07:30	4732362	4709	3.522	-
16/01/23	07:30	4737071	4678	3.511	-
17/01/23	07:30	4741749	4897	3.590	-
18/01/23	07:30	4746646	6940	4.327	chuva
19/01/23	07:30	4753586	6920	4.320	chuva
20/01/23	07:30	4760506	4835	3.567	-
21/01/23	07:30	4765341	4833	3.566	-
22/01/23	07:30	4770174	4714	3.523	-
23/01/23	07:30	4774888	4464	3.433	-
24/01/23	07:30	4779352	4353	3.393	-
25/01/23	07:30	4783705	3978	3.258	-
26/01/23	07:30	4787683	5216	3.705	-
27/01/23	07:30	4792899	5119	3.670	-
28/01/23	07:30	4798018	4610	3.486	-
29/01/23	07:30	4802628	4471	3.436	-
30/01/23	07:30	4807099	6633	4.216	chuva
31/01/23	07:30	4813732	10527	5.622	chuva
01/02/23	07:30	4824259	-	-	-
Média	-	-	5.046	3.643	-
Total	-	-	156.429	112.945	-
Vazão Diária (L/s)			58,40		

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 14B - Análise Físico-Química: janeiro/2023

ANÁLISES	Unid.	Entrada	Saída
DQO	mg/L	779,0	104,0
DBO	mg/L	310,2	16,5
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	36,6	16,0
Nitrato	mg/L	-	1,2
Fósforo Total	mg/L	7,13	4,38
Turbidez	NTU	250	40,8
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	232	68
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	210	62
Alcalinidade a Bicarbonato	mg/L	141	112
Cloro Residual	mg/L	-	1,69
Óleos e Graxas Total	mg/L	38,2	14,5
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	33750000	990

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 15A - Vazão: fevereiro/2023

DATA	HORÁRIO	LEITURA	VOLUME (m³)	Consumo de Energia Elétrica (KWh)	Observações
01/02/23	07:30	4824259	7659	4.664	chuva
02/02/23	07:30	4831918	5021	4.180	-
03/02/23	07:30	4836939	5183	3.979	-
04/02/23	07:30	4842122	5588	4.187	-
05/02/23	07:30	4847710	5128	3.978	-
06/02/23	07:30	4852838	5416	4.202	-
07/02/23	07:30	4858254	5485	3.870	-
08/02/23	07:30	4863739	5201	4.285	-
09/02/23	07:30	4868940	5157	4.194	-
10/02/23	07:30	4874097	5950	4.191	-
11/02/23	07:30	4880047	5559	3.980	-
12/02/23	07:30	4885606	4866	3.499	-
13/02/23	07:30	4890472	5170	4.451	-
14/02/23	07:30	4895642	5018	3.231	-
15/02/23	07:30	4900660	5258	4.463	-
16/02/23	07:30	4905918	4925	3.103	-
17/02/23	07:30	4910843	5408	3.974	-
18/02/23	07:30	4916251	5215	3.665	-
19/02/23	07:30	4921466	4736	3.207	-
20/02/23	07:30	4926202	4785	3.171	-
21/02/23	07:30	4930987	4951	3.182	-
22/02/23	07:30	4935938	5961	3.721	-
23/02/23	07:30	4941899	6909	4.206	-
24/02/23	07:30	4948808	5188	3.724	-
25/02/23	07:30	4953996	4217	3.187	-
26/02/23	07:30	4958213	5394	3.627	-
27/02/23	07:30	4963607	5475	3.590	-
28/02/23	07:30	4969082	5061	3.184	-
01/03/23	07:30	4974143	-	-	-
Média	-	-	5.353	3.818	-
Total	-	-	149.884	106.896	-
Vazão Diária (L/s)			61,96		

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 15B - Análise Físico-Química: fevereiro/2023

ANÁLISES	Unid.	Entrada	Saída
DQO	mg/L	868,5	90,5
DBO	mg/L	335,1	15,1
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	39,5	14,9
Nitrato	mg/L	-	1,0
Fósforo Total	mg/L	7,76	2,89
Turbidez	NTU	331	33,9
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	434	62
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	354	56
Alcalinidade a Bicarbonato	mg/L	207	111
Cloro Residual	mg/L	-	1,80
Óleos e Graxas Total	mg/L	40,7	14,5
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	55050000	150

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 16A - Vazão: março/2023

DATA	HORÁRIO	LEITURA	VOLUME (m³)	Consumo de Energia Elétrica (KWh)	Observações
01/03/23	07:30	4.974.143	5.066	3.259	-
02/03/23	07:30	4.979.209	5.647	3.764	Chuva
03/03/23	07:30	4.984.856	5.626	3.711	-
04/03/23	07:30	4.990.482	6.455	3.916	-
05/03/23	07:30	4.996.937	5.916	4.255	-
06/03/23	07:30	5.002.853	6.012	3.995	-
07/03/23	07:30	5.008.865	5.937	4.056	-
08/03/23	07:30	5.014.802	5.834	4.058	-
09/03/23	07:30	5.020.636	5.512	3.968	-
10/03/23	07:30	5.026.148	5.956	3.691	-
11/03/23	07:30	5.032.104	5.872	3.915	-
12/03/23	07:30	5.037.976	5.840	3.600	-
13/03/23	07:30	5.043.816	6.523	4.114	Chuva
14/03/23	07:30	5.050.339	6.321	3.417	-
15/03/23	07:30	5.056.660	7.220	4.042	Chuva
16/03/23	07:30	5.063.880	6.075	3.467	-
17/03/23	07:30	5.069.955	6.172	3.957	-
18/03/23	07:30	5.076.127	6.421	3.745	-
19/03/23	07:30	5.082.548	6.442	3.631	-
20/03/23	07:30	5.088.990	7.671	4.434	Chuva
21/03/23	07:30	5.096.661	14.732	5.562	Chuva
22/03/23	07:30	5.111.393	7.503	4.176	Chuva
23/03/23	07:30	5.118.896	7.844	4.712	Chuva
24/03/23	07:30	5.126.740	6.414	3.936	-
25/03/23	07:30	5.133.154	7.356	3.479	Chuva
26/03/23	07:30	5.140.510	12.144	4.223	Chuva
27/03/23	07:30	5.152.654	6.224	4.855	-
28/03/23	07:30	5.158.878	6.011	4.158	Chuva
29/03/23	07:30	5.164.889	8.473	4.161	Chuva
30/03/23	07:30	5.173.362	5.525	3.998	Chuva
31/03/23	07:30	5.178.887	3.933	3.413	-
Média	-	-	6.732	3.989	-
Total	-	-	208.677	123.667	-
Vazão Diária (L/s)			77,91		

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 16B - Análise Físico-Química: março/2023

ANÁLISES	Unid.	Entrada	Saída
DQO	mg/L	772,4	116,6
DBO	mg/L	348,1	25,0
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	39,9	16,6
Nitrato	mg/L	-	1,0
Fósforo Total	mg/L	8,65	2,60
Turbidez	NTU	247	41,6
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	210	118
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	190	110
Alcalinidade a Bicarbonato	mg/L	167	64
Cloro Residual	mg/L	-	1,31
Óleos e Graxas Total	mg/L	34,3	14,5
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	59300000	868

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 17A - Vazão: abril/2023

DATA	HORÁRIO	LEITURA	VOLUME (m³)	Consumo de Energia Elétrica (KWh)	Observações
01/04/23	07:30	5.182.820	5.903	3.432	-
02/04/23	07:30	5.188.723	5.784	3.593	-
03/04/23	07:30	5.194.507	6.437	4.082	-
04/04/23	07:30	5.200.944	8.078	4.261	Chuva
05/04/23	07:30	5.209.022	5.413	3.427	-
06/04/23	07:30	5.214.435	6.515	4.155	Chuva
07/04/23	07:30	5.220.950	6.922	4.033	-
08/04/23	07:30	5.227.872	12.420	4.515	Chuva
09/04/23	07:30	5.240.292	6.067	4.563	-
10/04/23	07:30	5.246.359	5.920	3.590	-
11/04/23	07:30	5.252.279	4.835	3.951	-
12/04/23	07:30	5.257.114	8.378	4.463	Chuva
13/04/23	07:30	5.265.492	6.078	4.071	Chuva
14/04/23	07:30	5.271.570	5.710	3.578	-
15/04/23	07:30	5.277.280	5.989	3.896	-
16/04/23	07:30	5.283.269	5.850	3.287	-
17/04/23	07:30	5.289.119	5.555	3.123	-
18/04/23	07:30	5.294.674	5.471	3.526	-
19/04/23	07:30	5.300.145	5.605	3.597	-
20/04/23	07:30	5.305.750	5.527	3.537	-
21/04/23	07:30	5.311.277	6.050	3.798	-
22/04/23	07:30	5.317.327	6.078	4.140	-
23/04/23	07:30	5.323.405	5.472	4.351	-
24/04/23	07:30	5.328.877	7.325	4.048	Chuva
25/04/23	07:30	5.336.202	13.127	5.012	Chuva
26/04/23	07:30	5.349.329	8.799	4.744	Chuva
27/04/23	07:30	5.358.128	9.962	4.600	Chuva
28/04/23	07:30	5.368.090	6.051	4.283	Chuva
29/04/23	07:30	5.374.141	8.985	4.411	-
30/04/23	07:30	5.383.126	11.977	4.862	Chuva
01/05/23	07:30	5.395.103	-	-	-
Média	-	-	7.076	4.031	-
Total	-	-	212.283	120.929	-
Vazão Diária (L/s)			81,90		

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 17B - Análise Físico-Química: abril/2023

ANÁLISES	Unid.	Entrada	Saída
DQO	mg/L	648,5	104,8
DBO	mg/L	320,1	30,9
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	38,6	15,6
Nitrato	mg/L	-	0,9
Fósforo Total	mg/L	9,08	3,36
Turbidez	NTU	227	42,5
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	212	88
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	200	80
Alcalinidade a Bicarbonato	mg/L	198	110
Cloro Residual	mg/L	-	1,38
Óleos e Graxas Total	mg/L	52,1	14,5
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	37100000	35145

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 18A - Vazão: maio/2023

DATA	HORÁRIO	LEITURA	VOLUME (m³)	Consumo de Energia Elétrica (KWh)	Observações
01/05/23	07:30	5.395.103	6.138	3.834	-
02/05/23	07:30	5.401.241	6.337	4.118	Chuva
03/05/23	07:30	5.407.578	6.223	4.083	Chuva
04/05/23	07:30	5.413.801	5.673	3.432	Chuva
05/05/23	07:30	5.419.474	4.953	3.729	Chuva
06/05/23	07:30	5.424.427	6.488	4.346	Chuva
07/05/23	07:30	5.430.915	5.236	4.698	-
08/05/23	07:30	5.436.151	5.322	3.785	-
09/05/23	07:30	5.441.473	4.733	4.666	-
10/05/23	07:30	5.446.206	4.882	4.143	-
11/05/23	07:30	5.451.088	5.592	4.307	-
12/05/23	07:30	5.456.680	5.744	3.839	-
13/05/23	07:30	5.462.424	5.208	3.773	Chuva
14/05/23	07:30	5.467.632	5.373	3.683	Chuva
15/05/23	07:30	5.473.005	4.815	3.275	-
16/05/23	07:30	5.477.820	4.098	3.191	-
17/05/23	07:30	5.481.918	5.502	3.800	Chuva
18/05/23	07:30	5.487.420	7.573	4.391	Chuva
19/05/23	07:30	5.494.993	12.289	5.234	Chuva
20/05/23	07:30	5.507.282	14.157	5.215	Chuva
21/05/23	07:30	5.521.439	17.383	6.869	Chuva
22/05/23	07:30	5.538.822	11.883	5.015	Chuva
23/05/23	07:30	5.550.705	6.632	3.833	Chuva
24/05/23	07:30	5.557.337	8.860	4.458	Chuva
25/05/23	07:30	5.566.197	7.917	3.819	Chuva
26/05/23	07:30	5.574.114	8.038	4.343	Chuva
27/05/23	07:30	5.582.152	8.225	4.367	Chuva
28/05/23	07:30	5.590.377	6.867	4.567	Chuva
29/05/23	07:30	5.597.244	6.120	4.126	Chuva
30/05/23	07:30	5.603.364	7.266	4.735	Chuva
31/05/23	07:30	5.610.630	17.369	5.387	Chuva
01/06/23	07:30	5.627.999	-	-	-
Média	-	-	7.513	4.292	-
Total	-	-	232.896	133.060	-
Vazão Diária (L/s)			86,95		

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 18B - Análise Físico-Química: maio/2023

ANÁLISES	Unid.	Entrada	Saída
DQO	mg/L	992,3	87,8
DBO	mg/L	396,9	23,5
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	37,8	10,8
Nitrato	mg/L	-	1,0
Fósforo Total	mg/L	10,97	1,99
Turbidez	NTU	383	32,5
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	864	16
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	608	16
Alcalinidade a Bicarbonato	mg/L	40	30
Cloro Residual	mg/L	-	1,19
Óleos e Graxas Total	mg/L	149,3	14,5
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	37000000	181

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 19A - Vazão: junho/2023

DATA	HORÁRIO	LEITURA	VOLUME (m³)	Consumo de Energia Elétrica (KWh)	Observações
01/06/23	07:30	5.627.999	8.984	5.056	Chuva
02/06/23	07:30	5.636.983	9.171	4.509	Chuva
03/06/23	07:30	5.646.154	7.087	4.516	Chuva
04/06/23	07:30	5.653.241	6.492	3.882	Chuva
05/06/23	07:30	5.659.733	7.610	4.268	Chuva
06/06/23	07:30	5.667.343	10.534	4.554	Chuva
07/06/23	07:30	5.677.877	6.702	3.868	Chuva
08/06/23	07:30	5.684.579	5.298	3.222	-
09/06/23	07:30	5.689.877	5.317	3.257	Chuva
10/06/23	07:30	5.695.194	5.227	3.229	-
11/06/23	07:30	5.700.421	5.360	3.236	-
12/06/23	07:30	5.705.781	6.108	4.142	-
13/06/23	07:30	5.711.889	4.597	3.350	Chuva
14/06/23	07:30	5.716.486	7.602	3.909	Chuva
15/06/23	07:30	5.724.088	8.758	4.247	Chuva
16/06/23	07:30	5.732.846	4.564	3.604	Chuva
17/06/23	07:30	5.737.410	7.710	4.184	Chuva
18/06/23	07:30	5.745.120	6.986	3.621	Chuva
19/06/23	07:30	5.752.106	16.692	5.338	Chuva
20/06/23	07:30	5.768.798	7.450	4.404	Chuva
21/06/23	07:30	5.776.248	8.809	3.996	Chuva
22/06/23	07:30	5.785.057	10.159	4.833	Chuva
23/06/23	07:30	5.795.216	6.211	3.584	Chuva
24/06/23	07:30	5.801.427	9.970	4.068	Chuva
25/06/23	07:30	5.811.397	8.144	3.521	Chuva
26/06/23	07:30	5.819.541	10.737	4.788	Chuva
27/06/23	07:30	5.830.278	8.093	4.345	Chuva
28/06/23	07:30	5.838.371	10.641	4.954	Chuva
29/06/23	07:30	5.849.012	10.334	4.657	Chuva
30/06/23	07:30	5.859.346	9.495	5.256	Chuva
01/07/23	07:30	5.868.841	-	-	-
Média	-	-	8.028	4.147	-
Total	-	-	240.842	124.399	-
	Vazão Diária (L/s)		92,92		

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 19B - Análise Físico-Química: junho/2023

ANÁLISES	Unid.	Entrada	Saída
DQO	mg/L	828,3	81,3
DBO	mg/L	359,1	13,2
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	33,5	5,6
Nitrato	mg/L	-	0,7
Fósforo Total	mg/L	8,44	1,28
Turbidez	NTU	285	29,1
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	334	14
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	302	14
Alcalinidade a Bicarbonato	mg/L	134	16
Cloro Residual	mg/L	-	1,20
Óleos e Graxas Total	mg/L	24,1	14,5
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	31375000	1473

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 20A – Vazão: julho/2023

DATA	HORÁRIO	LEITURA	VOLUME (m³)	Consumo de Energia Elétrica (KWh)	Observações
01/07/23	07:30	5.868.841	14.389	3.995	Chuva
02/07/23	07:30	5.883.230	10.039	4.053	Chuva
03/07/23	07:30	5.893.269	5.836	4.551	Chuva
04/07/23	07:30	5.899.105	6.570	4.277	Chuva
05/07/23	07:30	5.905.675	5.098	3.872	Chuva
06/07/23	07:30	5.910.773	14.296	5.063	Chuva
07/07/23	07:30	5.925.069	19.641	5.318	Chuva
08/07/23	07:30	5.944.710	4.816	4.418	-
09/07/23	07:30	5.949.526	8.653	3.470	Chuva
10/07/23	07:30	5.958.179	5.239	3.547	Chuva
11/07/23	07:30	5.963.418	4.300	3.616	-
12/07/23	07:30	5.967.718	4.703	4.159	-
13/07/23	07:30	5.972.421	5.428	3.678	Chuva
14/07/23	07:30	5.977.849	4.513	3.821	-
15/07/23	07:30	5.982.362	3.646	4.016	-
16/07/23	07:30	5.986.008	4.960	3.867	-
17/07/23	07:30	5.990.968	6.669	3.952	Chuva
18/07/23	07:30	5.997.637	4.238	3.472	-
19/07/23	07:30	6.001.875	6.395	4.159	Chuva
20/07/23	07:30	6.008.270	4.495	3.871	-
21/07/23	07:30	6.012.765	5.326	4.146	Chuva
22/07/23	07:30	6.018.091	6.025	4.389	Chuva
23/07/23	07:30	6.024.116	4.419	3.320	-
24/07/23	07:30	6.028.535	4.761	4.404	-
25/07/23	07:30	6.033.296	4.333	3.679	-
26/07/23	07:30	6.037.629	3.682	4.493	-
27/07/23	07:30	6.041.311	4.837	3.882	-
28/07/23	07:30	6.046.148	4.440	4.158	-
29/07/23	07:30	6.050.588	6.041	3.887	Chuva
30/07/23	07:30	6.056.629	4.672	5.089	-
31/07/23	07:30	6.061.301	4.626	4.441	-
01/08/23	07:30	6.065.927	-	-	-
Média	-	-	6.358	4.099	-
Total	-	-	197.086	127.062	-
Vazão Diária (L/s)			73,58		

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 20B– Análise Físico-Química: julho/2023

ANÁLISES	Unid.	Entrada	Saída
DQO	mg/L	554,8	111,8
DBO	mg/L	296,2	19,9
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	38,4	8,0
Nitrato	mg/L	-	1,6
Fósforo Total	mg/L	9,69	2,56
Turbidez	NTU	220	33,3
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	86	32
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	84	32
Alcalinidade a Bicarbonato	mg/L	178	127
Cloro Residual	mg/L	-	1,37
Óleos e Graxas Total	mg/L	27,8	14,5
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	40950000	145

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 21A – Vazão: agosto/2023

DATA	HORÁRIO	LEITURA	VOLUME (m³)	Consumo de Energia Elétrica (KWh)	Observações
01/08/23	07:30	6.065.927	4.889	3.619	-
02/08/23	07:30	6.070.816	7.650	3.600	Chuva
03/08/23	07:30	6.078.466	4.557	3.568	-
04/08/23	07:30	6.083.023	4.348	4.007	-
05/08/23	07:30	6.087.371	4.712	4.125	-
06/08/23	07:30	6.092.083	6.177	4.057	Chuva
07/08/23	07:30	6.098.260	5.352	4.039	Chuva
08/08/23	07:30	6.103.612	5.067	3.564	Chuva
09/08/23	07:30	6.108.679	6.049	3.464	Chuva
10/08/23	07:30	6.114.728	5.641	3.965	Chuva
11/08/23	07:30	6.120.369	9.955	4.112	Chuva
12/08/23	07:30	6.130.324	7.722	4.356	Chuva
13/08/23	07:30	6.138.046	5.172	3.663	Chuva
14/08/23	07:30	6.143.218	4.523	4.178	-
15/08/23	07:30	6.147.741	4.919	4.201	-
16/08/23	07:30	6.152.660	4.733	3.388	-
17/08/23	07:30	6.157.393	5.241	4.318	Chuva
18/08/23	07:30	6.162.634	7.539	3.719	Chuva
19/08/23	07:30	6.170.173	11.035	4.405	Chuva
20/08/23	07:30	6.181.208	6.389	4.589	Chuva
21/08/23	07:30	6.187.597	4.340	4.028	-
22/08/23	07:30	6.191.937	4.982	4.157	-
23/08/23	07:30	6.196.919	4.550	3.664	-
24/08/23	07:30	6.201.469	4.377	4.270	-
25/08/23	07:30	6.205.846	3.974	3.492	-
26/08/23	07:30	6.209.820	4.755	3.999	-
27/08/23	07:30	6.214.575	4.016	3.427	-
28/08/23	07:30	6.218.591	5.141	3.917	Chuva
29/08/23	07:30	6.223.732	4.408	3.221	-
30/08/23	07:30	6.228.140	6.029	3.215	Chuva
31/08/23	07:30	6.234.169	4.143	3.348	-
01/09/23	07:30	6.238.312	-	-	-
Média	-	-	5.561	3.860	-
Total	-	-	172.385	119.674	-
Vazão Diária (L/s)			64,36		

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 21B - Análise Físico-Química: agosto/2023

ANÁLISES	Unid.	Entrada	Saída
DQO	mg/L	887,0	92,0
DBO	mg/L	394,1	12,7
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	34,8	10,5
Nitrato	mg/L	-	0,9
Fósforo Total	mg/L	8,83	1,96
Turbidez	NTU	266	24,1
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	314	10
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	270	10
Alcalinidade a Bicarbonato	mg/L	163	74
Cloro Residual	mg/L	-	1,30
Óleos e Graxas Total	mg/L	23,9	14,5
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	42575000	380

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 22A – Vazão: setembro/2023

DATA	HORÁRIO	LEITURA	VOLUME (m³)	Consumo de Energia Elétrica (KWh)	Observações
01/09/23	07:30	6.238.312	5.151	3.515	Chuva
02/09/23	07:30	6.243.463	6.298	3.677	Chuva
03/09/23	07:30	6.249.761	4.770	3.470	-
04/09/23	07:30	6.254.531	5.635	3.499	Chuva
05/09/23	07:30	6.260.166	4.911	3.649	-
06/09/23	07:30	6.265.077	12.511	4.355	Chuva
07/09/23	07:30	6.277.588	4.236	3.653	-
08/09/23	07:30	6.281.824	6.112	4.022	Chuva
09/09/23	07:30	6.287.936	6.842	4.073	Chuva
10/09/23	07:30	6.294.778	5.890	4.230	Chuva
11/09/23	07:30	6.300.668	4.973	3.382	-
12/09/23	07:30	6.305.641	6.161	3.895	Chuva
13/09/23	07:30	6.311.802	4.468	3.977	-
14/09/23	07:30	6.316.270	5.342	3.152	Chuva
15/09/23	07:30	6.321.612	5.155	3.375	Chuva
16/09/23	07:30	6.326.767	4.911	3.174	-
17/09/23	07:30	6.331.678	4.824	3.148	-
18/09/23	07:30	6.336.502	4.767	3.202	-
19/09/23	07:30	6.341.269	6.003	3.932	Chuva
20/09/23	07:30	6.347.272	4.848	3.389	-
21/09/23	07:30	6.352.120	5.452	3.212	Chuva
22/09/23	07:30	6.357.572	8.782	3.946	Chuva
23/09/23	07:30	6.366.354	3.951	3.325	-
24/09/23	07:30	6.370.305	5.047	3.641	Chuva
25/09/23	07:30	6.375.352	4.771	3.367	-
26/09/23	07:30	6.380.123	4.463	3.196	-
27/09/23	07:30	6.384.586	3.917	3.194	-
28/09/23	07:30	6.388.503	4.185	3.235	-
29/09/23	07:30	6.392.688	4.661	3.122	-
30/09/23	07:30	6.397.349	4.909	3.376	-
01/10/23	07:30	6.402.258	-	-	-
Média	-	-	5.465	3.546	-
Total	-	-	163.946	106.383	-
	Vazão Diária (L/s)		63,25		

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 22B - Análise Físico-Química: setembro/2023

ANÁLISES	Unid.	Entrada	Saída
DQO	mg/L	716,0	126,3
DBO	mg/L	296,8	22,5
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	35,4	19,4
Nitrato	mg/L	-	0,7
Fósforo Total	mg/L	9,33	4,05
Turbidez	NTU	279	26,9
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	314	8
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	288	8
Alcalinidade a Bicarbonato	mg/L	171	142
Cloro Residual	mg/L	-	1,22
Óleos e Graxas Total	mg/L	14,5	14,5
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	25750000	140

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 23A – Vazão: outubro/2023

DATA	HORÁRIO	LEITURA	VOLUME (m³)	Consumo de Energia Elétrica (KWh)	Observações
01/10/23	07:30	6.402.258	4.634	3.270	-
02/10/23	07:30	6.406.892	4.373	3.751	-
03/10/23	07:30	6.411.265	4.876	3.214	-
04/10/23	07:30	6.416.141	4.397	3.778	-
05/10/23	07:30	6.420.538	4.932	3.223	-
06/10/23	07:30	6.425.470	5.063	3.949	Chuva
07/10/23	07:30	6.430.533	5.934	3.326	Chuva
08/10/23	07:30	6.436.467	4.835	3.769	-
09/10/23	07:30	6.441.302	4.544	3.811	-
10/10/23	07:30	6.445.846	4.527	3.778	-
11/10/23	07:30	6.450.373	4.638	3.235	-
12/10/23	07:30	6.455.011	4.892	3.813	-
13/10/23	07:30	6.459.903	5.163	4.079	Chuva
14/10/23	07:30	6.465.066	5.153	3.350	Chuva
15/10/23	07:30	6.470.219	5.041	3.729	Chuva
16/10/23	07:30	6.475.260	5.051	5.132	Chuva
17/10/23	07:30	6.480.311	3.993	4.110	-
18/10/23	07:30	6.484.304	3.416	3.300	Chuva
19/10/23	07:30	6.487.720	6.243	4.459	Chuva
20/10/23	07:30	6.493.963	5.719	4.449	Chuva
21/10/23	07:30	6.499.682	5.253	4.044	Chuva
22/10/23	07:30	6.504.935	4.658	4.018	-
23/10/23	07:30	6.509.593	5.142	4.024	Chuva
24/10/23	07:30	6.514.735	3.999	3.007	-
25/10/23	07:30	6.518.734	4.707	3.786	-
26/10/23	07:30	6.523.441	4.081	3.799	-
27/10/23	07:30	6.527.522	4.858	3.181	-
28/10/23	07:30	6.532.380	4.938	3.776	Chuva
29/10/23	07:30	6.537.318	4.913	3.936	-
30/10/23	07:30	6.542.231	4.599	3.605	-
31/10/23	07:30	6.546.830	4.938	3.904	-
01/11/23	07:30	6.551.768	-	-	-
Média	-	-	4,823	3,761	-
Total	-	-	149,510	116,604	-
Vazão Diária (L/s)			55,82		

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 23B – Análise Físico-Química: outubro/2023

ANÁLISES	Unid.	Entrada	Saída
DQO	mg/L	1256,5	109,3
DBO	mg/L	469,5	17,7
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	36,3	25,0
Nitrato	mg/L	-	0,7
Fósforo Total	mg/L	10,48	4,07
Turbidez	NTU	518	31,8
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	1380	60
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	1160	60
Alcalinidade a Bicarbonato	mg/L	224	174
Cloro Residual	mg/L	-	1,18
Óleos e Graxas Total	mg/L	73,1	14,5
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	29875000	147

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 24A – Vazão: novembro/2023

DATA	HORÁRIO	LEITURA	VOLUME (m³)	Consumo de Energia Elétrica (KWh)	Observações
01/11/23	07:30	6.551.768	4.809	4.018	-
02/11/23	07:30	6.556.577	5.069	4.334	-
03/11/23	07:30	6.561.646	4.770	3.601	-
04/11/23	07:30	6.566.416	4.435	3.994	-
05/11/23	07:30	6.570.851	4.579	3.525	-
06/11/23	07:30	6.575.430	4.325	2.964	Chuva
07/11/23	07:30	6.579.755	4.077	3.262	Chuva
08/11/23	07:30	6.583.832	4.726	3.516	-
09/11/23	07:30	6.588.558	4.505	3.778	-
10/11/23	07:30	6.593.063	4.888	3.850	-
11/11/23	07:30	6.597.951	4.257	3.467	-
12/11/23	07:30	6.602.208	4.886	4.155	-
13/11/23	07:30	6.607.094	4.530	4.077	Chuva
14/11/23	07:30	6.611.624	4.229	3.534	Chuva
15/11/23	07:30	6.615.853	4.343	3.614	Chuva
16/11/23	07:30	6.620.196	4.910	3.997	Chuva
17/11/23	07:30	6.625.106	4.396	4.201	-
18/11/23	07:30	6.629.502	4.765	3.645	Chuva
19/11/23	07:30	6.634.267	4.792	3.994	Chuva
20/11/23	07:30	6.639.059	5.353	4.169	Chuva
21/11/23	07:30	6.644.412	5.258	3.899	Chuva
22/11/23	07:30	6.649.670	4.902	3.972	-
23/11/23	07:30	6.654.572	4.224	3.937	Chuva
24/11/23	07:30	6.658.796	4.622	3.401	-
25/11/23	07:30	6.663.418	4.962	3.745	-
26/11/23	07:30	6.668.380	5.721	3.922	-
27/11/23	07:30	6.674.101	5.236	3.278	-
28/11/23	07:30	6.679.337	4.568	3.750	Chuva
29/11/23	07:30	6.683.905	5.179	4.001	-
30/11/23	07:30	6.689.084	5.297	3.336	-
01/12/23	07:30	6.694.381	-	-	-
Média	-	-	4,754	3,765	-
Total	-	-	142,613	112,935	-
	Vazão Diária (L/s)		55,02		

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 24B– Análise Físico-Química: novembro/2023

ANÁLISES	Unid.	Entrada	Saída
DQO	mg/L	936,3	109,0
DBO	mg/L	338,4	25,7
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	26,4	26,2
Nitrato	mg/L	-	0,5
Fósforo Total	mg/L	7,29	3,85
Turbidez	NTU	432	33,3
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	36	48
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	36	48
Alcalinidade a Bicarbonato	mg/L	150	136
Cloro Residual	mg/L	-	1,17
Óleos e Graxas Total	mg/L	14,5	14,5
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	40250000	360

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 25A – Vazão: dezembro/2023

DATA	HORÁRIO	LEITURA	VOLUME (m³)	Consumo de Energia Elétrica (KWh)	Observações
01/12/23	07:30	6.694.381	4.771	3.095	-
02/12/23	07:30	6.699.152	5.864	3.624	chuva
03/12/23	07:30	6.705.016	5.938	3.705	chuva
04/12/23	07:30	6.710.954	5.744	3.081	chuva
05/12/23	07:30	6.716.698	4.614	3.313	-
06/12/23	07:30	6.721.312	4.618	3.330	-
07/12/23	07:30	6.725.930	6.859	3.646	chuva
08/12/23	07:30	6.732.789	8.562	3.375	chuva
09/12/23	07:30	6.741.351	4.650	3.793	-
10/12/23	07:30	6.746.001	5.377	3.757	-
11/12/23	07:30	6.751.378	5.221	3.298	-
12/12/23	07:30	6.756.599	5.152	4.207	-
13/12/23	07:30	6.761.751	5.419	3.338	chuva
14/12/23	07:30	6.767.170	5.167	3.358	-
15/12/23	07:30	6.772.337	5.613	3.677	chuva
16/12/23	07:30	6.777.950	5.357	3.845	chuva
17/12/23	07:30	6.783.307	6.791	4.186	chuva
18/12/23	07:30	6.790.098	7.058	3.168	chuva
19/12/23	07:30	6.797.156	5.304	3.984	-
20/12/23	07:30	6.802.460	7.141	4.239	chuva
21/12/23	07:30	6.809.601	7.762	3.577	chuva
22/12/23	07:30	6.817.363	5.855	3.789	chuva
23/12/23	07:30	6.823.218	6.051	3.816	chuva
24/12/23	07:30	6.829.269	5.886	3.364	-
25/12/23	07:30	6.835.155	4.828	3.943	-
26/12/23	07:30	6.839.983	5.265	3.876	-
27/12/23	07:30	6.845.248	5.295	3.103	-
28/12/23	07:30	6.850.543	5.365	3.834	chuva
29/12/23	07:30	6.855.908	5.154	3.846	-
30/12/23	07:30	6.861.062	5.518	3.327	-
31/12/23	07:30	6.866.580	3.962	3.326	-
01/01/24	07:30	6.870.542	-	-	-
Média	-	-	5,683	3,607	-
Total	-	-	176,161	111,820	-
Vazão Diária (L/s)			65,77		

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 25B – Análise Físico-Química: dezembro/2023

ANÁLISES	Unid.	Entrada	Saída
DQO	mg/L	1022,3	91,3
DBO	mg/L	414,8	21,4
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	36,8	24,9
Nitrato	mg/L	-	0,5
Fósforo Total	mg/L	8,68	3,45
Turbidez	NTU	367	40,8
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	348	52
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	298	48
Alcalinidade a Bicarbonato	mg/L	147	101
Cloro Residual	mg/L	-	1,35
Óleos e Graxas Total	mg/L	85,0	14,5
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	31533333	347

Fonte: Autora, 2024.