



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA



Ana Laura Araujo Lima Lins

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TÉCNICO E ECONÔMICO DE REÚSO
PARA FINS NÃO POTÁVEIS DE EFLUENTE LÍQUIDO DE UMA ETE: ESTUDO
DE CASO EM UM COMPLEXO HOTELEIRO EM MACEIÓ/AL.**

Maceió

2024

Ana Laura Araujo Lima Lins

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TÉCNICO E ECONÔMICO DE REÚSO
PARA FINS NÃO POTÁVEIS DE EFLUENTE LÍQUIDO DE UMA ETE: ESTUDO
DE CASO EM UM COMPLEXO HOTELEIRO EM MACEIÓ/AL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária,
do Centro de Tecnologia da Universidade
Federal de Alagoas, como requisito parcial
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Marcio Gomes Barboza.

Maceió

2024

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

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

L759a Lins, Ana Laura Araujo Lima.

Avaliação do potencial técnico e econômico de reúso para fins não potáveis de efluente líquido de uma ETE : estudo de caso em um complexo hoteleiro em Maceió/AL / Ana Laura Araujo Lima Lins. – 2024.
74 f.: il.

Orientadora: Marcio Gomes Barboza.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 63-74.

1. Reúso de água. 2. Estações de tratamento de águas residuárias. 3. Reciclagem da água. 4. Sustentabilidade hídrica. 5. Estação de tratamento de esgoto. 6. Avaliação econômica. I. Título.

CDU: 628.32/.35

FOLHA DE APROVAÇÃO

AUTOR: ANA LAURA ARAUJO LIMA LINS

Avaliação do potencial técnico e econômico de reúso para fins não potáveis de efluente líquido de uma ETE: estudo de caso em um complexo hoteleiro em Maceió/AL.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Prof. Dr. Marcio Gomes Barboza - Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Ivete Lopes - Universidade Federal de Alagoas

Banca examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Lucena Amorim - Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Daniele Vital Vich - Universidade Federal de Alagoas

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter feito da minha jornada de graduação uma jornada de fé. Foram 5 anos de crescimento e dependência do Senhor. Anos em que pude ver que sua poderosa mão esteve comigo e dedico a ele toda honra e glória pelas conquistas até aqui.

Agradeço aos meus pais, Eliane Lins e Edson Lins, que me sustentam, em todos os significados que essa palavra pode assumir, usando de todos os recursos que têm para me fazer prosperar e ocupar os melhores lugares. Devo a eles toda a minha existência e sou infinitamente grata por tudo. Eles são os grandes responsáveis por todas as conquistas que obtive até aqui e por todas que ainda terei. Em tempo, agradeço também a toda a minha família que sempre me apoiou e dentro de suas possibilidades não mediu esforços para que meus objetivos fossem alcançados.

Ao PET Ambiental, sou infinitamente grata por ter sido meu lar na Universidade por tanto tempo, por me proporcionar experiências incríveis e contribuir com meu desenvolvimento acadêmico e pessoal. Em especial, faço menção honrosa ao Prof. Dr. Marllus Neves que foi meu tutor no programa por três anos e desempenhou papel fundamental na minha formação; aos meus amigos Karoline Gonçalves, Luís Felipe, Mariana Pinheiro e Julia Souza, que são presentes especiais que recebi de Deus através do Programa e tornaram a Universidade um espaço seguro, divertido e acolhedor. E a todo o grupo que foi essencial na minha caminhada.

Aos meus professores da graduação, expresso meu profundo reconhecimento e admiração pelo conhecimento e trabalho dedicado a formar pessoas para o mercado de trabalho e para a vida. Em especial, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Márcio Barboza, pelo tempo e esforço investidos na orientação deste trabalho. E à coorientadora, Prof. Dra. Ivete Vasconcelos, por sua valiosa contribuição e apoio ao longo deste processo.

Aos amigos da graduação que se tornaram parte essencial da minha vida, meu sincero agradecimento por todo o apoio, pelas risadas e pelo companheirismo ao longo desses anos.

Por fim, agradeço à Nortan Engenharia, em especial ao Hugo Cunha e a Petra Alcântara por todo o apoio, compreensão e tempo de ensino dedicados a mim durante minha estadia na empresa. Sou infinitamente grata por todas as oportunidades, elas têm me construído enquanto engenheira. Reitero meus agradecimentos aos meus companheiros de estágio, Bárbara Lima, Maysa Karla e Tálison Barros Julia Souza e Mariana Pinheiro, que tornam a caminhada mais leve e divertida.

RESUMO

A água é um recurso vital e finito, com menos de 1% disponível para consumo humano, e sua escassez é agravada pela falta de saneamento básico e captação desordenada. O reúso de efluentes surge como uma solução sustentável, sendo reconhecido em iniciativas globais, como a Agenda 21 e a Agenda 2030. No Brasil, apesar das normas que regulam o reúso, sua aplicação ainda é limitada. Diante disso, o presente estudo avaliou o potencial de reúso de efluente tratado de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) localizada em um complexo hoteleiro em Maceió, Alagoas, focando em aplicações não potáveis. A pesquisa considerou a caracterização qualiquantitativa do efluente, a adequação à legislação vigente, a identificação de formas de reúso aplicáveis e a viabilidade econômica da implantação de um sistema no local. Utilizando dados secundários, foram analisados processos de tratamento, como reatores UASB, filtros aerados submersos e biorremediação, e discutidas regulamentações nacionais sobre reúso. Os resultados destacaram oportunidades de otimização da gestão hídrica, reforçando o reúso como estratégia sustentável e economicamente viável, alinhada às metas globais de desenvolvimento sustentável. A análise das vazões de efluente, com base no consumo médio de água, foi de 407,33 m³/dia e revelou um excedente significativo, indicando que o sistema pode atender à demanda de reúso e permitir expansão. A caracterização qualitativa mostrou que, embora o efluente esteja dentro dos limites para lançamento, ele não atende aos padrões para reúso, especialmente em relação a coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e turbidez, sendo necessário a adição de um sistema de tratamento adicional. A análise econômica mostrou que a implantação do sistema de reúso é viável, com um valor presente líquido (VPL) de R\$ 38.384,72 e um período de retorno de 11,37 anos. Embora o retorno financeiro seja gradual, o projeto se apresenta como uma solução vantajosa, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

Palavras-chave: Reúso de Efluente; ETE descentralizada; Água reciclada; Sustentabilidade hídrica; Estação de tratamento de esgoto; Avaliação econômica.

ABSTRACT

Water is a vital and finite resource, with less than 1% available for human consumption. Its scarcity is exacerbated by the lack of basic sanitation and unregulated water extraction. The reuse of effluents emerges as a sustainable solution, recognized in global initiatives such as Agenda 21 and the 2030 Agenda. In Brazil, despite regulations governing reuse, its implementation remains limited. In this context, the present study assessed the potential for reusing treated effluent from a wastewater treatment plant (WWTP) located in a hotel complex in Maceió, Alagoas, focusing on non-potable applications. The research considered the qualitative and quantitative characterization of effluent, compliance with current legislation, identification of applicable reuse methods, and the economic feasibility of implementing a reuse system on site. Using secondary data, the study analyzed treatment processes such as UASB reactors, submerged aerated filters, and bioremediation, and discussed national reuse regulations. The results highlighted opportunities to optimize water management, reinforcing effluent reuse as a sustainable and economically viable strategy aligned with global sustainable development goals. The analysis of effluent flow rates, based on an average water consumption, was of 407,33 m³/day, revealed a significant surplus, indicating that the system could meet reuse demands and allow for expansion. Qualitative characterization showed that although the effluent complies with discharge limits, it does not meet reuse standards, particularly with respect to thermotolerant coliforms, biochemical oxygen demand (BOD), and turbidity, necessitating the addition of an advanced treatment system. The economic analysis demonstrated that implementing the reuse system is feasible, with a net present value (NPV) of R\$ 38,384.72 and a payback period of 11.37 years. While financial returns are gradual, the project proves to be advantageous from both economic and environmental perspectives.

Keywords: Effluent Reuse; Decentralized WWTP; Recycled Water; Water Sustainability; Wastewater Treatment Plant; Economic Assessment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho esquemático de um reator UASB.....	21
Figura 2 - Formas de reúso de água.....	36
Figura 3 - Diagrama de blocos para indicação dos fluxos de água e efluente	51
Figura 4 – Diagrama de fluxo do tratamento proposto.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características do efluente doméstico bruto.	18
Tabela 2 – Composição típica do esgoto doméstico.	19
Tabela 3 – Comparação das NBRs que falam sobre tratamento e reúso de água.	34
Tabela 4 - Parâmetros analisados em efluente para caracterização.	45
Tabela 5 – Valores captados pelos poços.	49
Tabela 6 – Vazões mensais de água e vazão média de esgoto.	50
Tabela 7 - Análise físico-química e microbiológica do efluente.	53
Tabela 8 – Análise comparativa das concentrações.	56
Tabela 9 – Custo do tratamento de água com e sem reúso.	59
Tabela 10 – Custo do sistema de reúso.	60
Tabela 11 – Parâmetros para cálculo de análise econômica do projeto.	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fluxograma resumo do processo de biorremediação.	26
Quadro 2 – Resumo do sistema.	27
Quadro 3 - Evolução das normativas que tratam de reúso no Brasil.....	34
Quadro 4 – Quadro resumo de ações metodológicas.	39
Quadro 5 – Etapas de tratamento da ETE.....	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1	A importância do tratamento de esgoto.....	16
3.2	Características microbiológicas do esgoto doméstico.....	17
3.3	Reator UASB.....	20
3.4	Filtro aerado submerso	22
3.5	O processo de biorremediação no tratamento de efluentes.....	23
3.5.1	Biorremediação por bioaugmentação de microrganismos autóctones	26
3.6	Reúso de efluente	28
3.7	Padrões e regulamentações para reúso de efluentes.....	31
3.8	Aplicações potenciais do efluente tratado.....	35
3.8.1	Uso urbano do efluente	36
3.8.2	Uso agrícola e florestais.....	37
3.8.3	Uso industrial	37
3.8.4	Uso para recreação	38
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
4.1	Área de estudo.....	40
4.1.1	Caracterização do empreendimento	40
4.2	Caracterização da Estação de Tratamento de Esgoto	41
4.3	Quantificação da vazão do efluente.....	42
4.4	Análise da oferta e da demanda de água residuária	44
4.5	Caracterização qualitativa do efluente	44
4.6	Análise de conformidade e melhorias necessárias para o efluente final	45
4.7	Análise econômica da implantação de um sistema de reúso	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1	Determinação de vazões	49
5.2	Análise da oferta e demanda de água residuária	50
5.3	Comparação entre oferta e demanda de uso	51
5.4	Caracterização qualitativa do efluente	52
5.4.1	DBO.....	53
5.4.2	pH e Cloro residual.....	54
5.4.3	Turbidez	54
5.4.4	Coliformes termotolerantes e E. Coli.....	55

5.4.5	Análise de conformidade e melhorias necessárias para o efluente final	55
5.4.6	Análise econômica da implantação de um sistema de reúso	58
5.4.7	Levantamento de custos	58
5.4.8	Economia de água	60
5.4.9	Viabilidade econômica	60
6	CONCLUSÕES	62
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso finito e fundamental para o desenvolvimento da vida humana e é o principal componente do planeta Terra, correspondendo a 70% de toda a sua superfície. Todavia, de acordo com dados publicados pela Agência Nacional de águas em 2022, menos de 1% da água disponível é segura para o consumo e serve para abastecer as atividades. Este ponto se apresenta como uma grande questão nas averiguações acerca dos problemas ambientais, pois a falta desse recurso é uma possibilidade cada vez mais real e não está ligada apenas a falta de chuva, mas também a captação desordenada que acontece desde a revolução industrial e está associada ao crescimento populacional (Silva *et al.*, 2022).

Com o aumento da consciência de que os recursos naturais são propensos a escassez, os governos mundiais se movimentaram de forma a definir metas que buscam atingir o equilíbrio entre desenvolvimento e sustentabilidade. Nesse contexto, o reúso de água é reconhecido como uma solução segura para atender as necessidades hídricas do mundo, sendo a prática estabelecida na conferência ECO-92 por meio da Agenda 21 e por meio da Agenda 2030 que volta os olhos do mundo para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) visando, dentre muitas coisas, eliminar o despejo, reduzir a proporção de águas residuais e aumentar a eficiência do uso de água em todos os setores da sociedade (Alresheedi *et al.*, 2023), voltando a atenção para o reúso de efluentes sanitários como uma alternativa eficaz para alcançar as metas estabelecidas. (Silva *et al.*, 2022; Bezerra, 2018).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), criado pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1988, alerta para a intensificação de secas no Brasil, especialmente no Nordeste, com a redução da vazão de rios como o São Francisco segundo Marengo (2008). Essa projeção, já evidente em 2012, impacta a produção de alimentos, a saúde pública e, conseqüentemente, a vida de milhões de pessoas (ANA, 2012). A escassez hídrica é agravada pela falta de saneamento básico, com milhões de brasileiros sem acesso à coleta de esgoto, poluindo os recursos hídricos existentes e afetando regiões onde a escassez não é acentuada. O Censo de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) ilustra o marco de, aproximadamente, 76 milhões de pessoas que não possuem seu domicílio ligados a uma rede coletora de esgoto pública (IBGE, 2024).

Esta nova perspectiva acerca do uso e preservação do ambiente como um todo,

impulsiona o reúso de águas residuárias com benefícios econômicos e ambientais e por isso governos veem essa prática como solução para o estresse hídrico e melhoria da agricultura (Ponce-Robles *et al.*, 2020).

O reúso de água no Brasil tem sido estudado há cerca de três décadas. Desde 1992, a ABES-SP já recomendava programas de reciclagem e uso múltiplo da água (Moruzzi, 2008). Em 2019, a ABNT normatizou o uso de fontes alternativas de água em instalações prediais (NBR 16.783). Em 2021, o INSA desenvolveu uma tecnologia para tratar esgoto domiciliar e utilizá-lo na agricultura familiar, beneficiando agricultores em estados como Alagoas (Mayer *et al.*, 2021; Araújo, 2022). Mas, apesar desses avanços, a implementação do reúso ainda é limitada e precisa ser mais amplamente difundida pelos estados brasileiros, visto que ainda não é regida por nenhuma legislação específica.

O conceito de reúso de água, que consiste na utilização múltipla de efluentes, tanto tratados quanto não tratados, tem sido profundamente discutido na literatura especializada. Conforme apontam Sautchuck (2005) e Mancuso e Santos (2003), a classificação do reúso está intrinsecamente ligada à qualidade da água e às suas aplicações finais. Lobato (2006) destaca a possibilidade de utilização de águas cinzas, provenientes de atividades domésticas como a lavagem de roupas e louças, em atividades que não exigem alta qualidade, como a irrigação.

Dessa forma, o reúso não se limita à reciclagem da água, mas abrange um conjunto de práticas que visa otimizar o uso desse recurso hídrico e minimizar os impactos ambientais associados ao descarte de efluentes.

O reúso de efluentes pode ser classificado em duas dimensões: quanto a forma e ao uso final, conforme adaptado de Bezerra (2018), apud Cetesb (2012), e Margolaine Giacchini (2016), apud Mancuso e Santos (2003).

Na dimensão da forma, o reúso pode ser caracterizado como indireto não planejado, quando a água descartada é reaproveitada de maneira diluída, sem controle ou intenção específica, sendo lançada diretamente em corpos hídricos ou no solo. Também pode ser classificado como indireto planejado, quando o descarte de efluentes ocorre de maneira controlada em corpos hídricos ou no solo, permitindo a diluição natural para posterior reaproveitamento. Já o reúso direto planejado refere-se ao reaproveitamento controlado de água tratada, sem que esta passe por processos de diluição ou purificação natural.

Quanto à dimensão do uso final, o reúso pode ser categorizado como potável ou não potável. O reúso potável envolve o tratamento da água para torná-la segura para o consumo humano, sendo subdividido em potável direto, quando o esgoto tratado é purificado e retorna diretamente ao sistema de abastecimento, e potável indireto, no qual o esgoto tratado é lançado em corpos hídricos ou no solo para purificação natural e, posteriormente, reaproveitado para o abastecimento. O reúso não potável, por sua vez, destina-se a aplicações que não envolvem consumo humano direto, como irrigação, limpeza e outros usos similares.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 13969/1997, estabelece um marco normativo para o reúso de efluentes, definindo critérios e parâmetros para a classificação e destinação final das águas residuárias tratadas, sendo atualizada em 2024 para a NBR 17076/2024. Complementarmente, a Resolução CONAMA 430/2011 define os padrões para o lançamento de efluentes líquidos tratados ou brutos nos corpos hídricos, estabelecendo limites para diversos parâmetros, como pH, temperatura, DBO e demanda química de oxigênio (DQO). Dessa forma, a NBR 17076/2024, em conjunto com a Resolução CONAMA 430/2011, forma um arcabouço normativo que orienta a gestão do reúso de água no Brasil, buscando preservar a qualidade dos recursos hídricos e a proteção do meio ambiente (Ayoub, 2021).

Diante dos desafios impostos pela escassez hídrica, o presente estudo busca analisar as potencialidades e os desafios do reúso de efluentes tratados no Brasil, considerando o arcabouço normativo vigente, impulsionando a busca por soluções inovadoras para a gestão dos recursos hídricos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Apresentar e discutir o potencial de reúso de efluente através de estudo de caso em um complexo hoteleiro localizado no município de Maceió, Alagoas.

2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral proposto, tem-se objetivos específicos responsáveis por reger o andamento da pesquisa. São eles:

- Caracterizar qualitativa e quantitativamente o efluente;
- Analisar a qualidade do efluente frente à legislação vigente;
- Identificar as possíveis formas de reúso não potáveis no empreendimento;
- Analisar a viabilidade econômica da implantação e operação do sistema de reúso.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta secção tem a finalidade de embasar a pesquisa em fundamentos teóricos sólidos, propondo-se a explorar as temáticas que cercam o objetivo principal deste trabalho, sendo crucial para a abordagem dos desafios relacionados ao tema e para alicerçar a linha de estudo seguinte.

3.1 A importância do tratamento de esgoto

O descarte inadequado de esgoto em corpos d'água constitui uma grave ameaça à saúde pública e ao meio ambiente. A presença de matéria orgânica e nutrientes nos efluentes causa a proliferação de microrganismos patogênicos, a redução do oxigênio dissolvido e a eutrofização, comprometendo a qualidade da água e a biodiversidade aquática (Brasil, 2020).

Assim, verifica-se a importância do tratamento destes dejetos como objeto de saúde pública e global, sendo um dos pilares em desenvolvimento na área do saneamento básico. De acordo com Cornelli *et al.*, 2014 (*apud* Brasil, 2006), a maior parte das doenças que chamaram a atenção no Brasil tiveram origem no acesso de água de má qualidade; desta feita, o aumento da consciência pública sobre aos impactos causados pela poluição das águas, fortaleceu a regulamentação quanto a descarga dos efluentes, estabelecendo como obrigatório o tratamento.

Nesse contexto, é crucial explorar as tecnologias de tratamento de esgoto adotadas no Brasil para assegurar a qualidade das águas e mitigar riscos à saúde pública. Os sistemas convencionais de tratamento de esgoto, como os reatores anaeróbios e aeróbios, desempenham um papel crucial na remoção da matéria orgânica e na estabilização do lodo. A combinação desses processos com técnicas físico-químicas, como coagulação-floculação e filtração, garante a remoção de uma ampla gama de poluentes, atendendo às exigências das normas ambientais.

É importante destacar que o tratamento de esgoto não se limita à remoção de matéria orgânica e nutrientes. O tratamento avançado, como os reatores UASB e os sistemas de lodos ativados, dentre outras concepções, permite a remoção de outros contaminantes, como metais pesados e compostos orgânicos persistentes, tornando a água tratada apta para o reúso em diversas atividades, como irrigação agrícola e abastecimento industrial. O reúso de efluentes

tratados representa uma estratégia importante para a gestão eficiente dos recursos hídricos, especialmente em regiões com escassez hídrica (Fernandes *et al.*, 2020).

A compreensão dessas tecnologias é essencial não apenas para atender às regulamentações obrigatórias quanto à descarga de efluentes, mas também para promover um ambiente sustentável, minimizando os impactos negativos da poluição das águas nos cursos d'água e, conseqüentemente, na saúde pública.

O sistema de esgotamento sanitário é composto por um conjunto de atividades e instalações para a coleta, remoção, limpeza e disposição final do esgoto, garantindo o tratamento adequado dos efluentes gerados por uma comunidade. As especificações técnicas do sistema a ser adotado devem atender às expectativas da organização e às normas regulatórias vigentes, tanto em nível regional e estadual, quanto municipal, alinhadas com os objetivos ambientais do empreendimento gerador do efluente. A eficiência desse sistema depende de um projeto que priorize a qualidade do efluente, a otimização operacional, a redução do consumo energético e a durabilidade dos equipamentos, além de minimizar os custos e o impacto ambiental (Reis *et al.*, 2022).

Em resumo, o tratamento de esgoto é uma questão de saúde pública, ambiental e econômica. A implementação de sistemas de tratamento eficientes é fundamental para garantir a qualidade dos recursos hídricos, proteger a biodiversidade e promover o desenvolvimento sustentável.

3.2 Características microbiológicas do esgoto doméstico

Os esgotos domésticos são compostos principalmente por água, representando cerca de 99,9% de seu volume, enquanto apenas 0,1% correspondem a sólidos suspensos, coloidais e dissolvidos. As principais características do efluente se dão pelo uso a que a água foi submetida e pelas características da população que a consome; estas são classificadas entre físico-químicas e microbiológicas e são compostas por inúmeros parâmetros. (Von Sperling, 2005). As principais características físico-químicas dos esgotos domésticos brutos podem ser observadas na Tabela 1.

De acordo com Metcalf e Eddy (2005), a variação desses componentes tornam o esgoto classificáveis em fortes, médios ou diluídos, com flutuações ao longo do dia, da semana e das estações do ano, de acordo com a concentração que os parâmetros apresentem (Tabela 2). O esgoto é uma mistura complexa de materiais físicos, químicos e biológicos, incluindo resíduos alimentícios, fezes, matéria vegetal, sais minerais e produtos de limpeza, como sabões e detergentes sintéticos. Devido à alta concentração de matéria orgânica e substâncias químicas, o esgoto doméstico representa uma carga poluente significativa, exigindo tratamentos adequados para evitar impactos ambientais e riscos à saúde pública. (Mendonça, 2016).

Tabela 1 – Principais características do efluente doméstico bruto.

Variáveis	Contribuição <i>Per Capita</i> (g/hab.dia)			Concentração	
	Faixa	Típico	Unidade	Faixa	Típico
DQO	80-130	100	mg/L	400-800	700
DBO ₅	40 - 60	50	mg/L	200-500	350
DBO última	60 - 90	75	mg/L	350 - 600	500
Sólidos Totais	120 - 220	180	mg/L	700 - 1350	1100
Sólidos em Suspensão	35 - 70	60	mg/L	200 - 450	400
Sól. em Susp. Fixos	7-14	10	mg/L	40 - 100	80
Sól. em Susp. Voláteis	25 - 60	50	mg/L	165 - 350	320
Sólidos Dissolvidos	85 - 150	120	mg/L	500 - 900	700
Sól. Dis. Fixos	50 - 90	70	mg/L	300 - 550	400
Sól. Dis. Voláteis	35-60	50	mg/L	200 - 350	300
Sólidos Sedimentáveis	-	-	ml/L	10-20	15
Nitrogênio total	6,0 - 112,0	8	mgN/L	35-70	50
Nitrogênio Orgânico	2,5 - 5,0	3,5	mgN/L	15 - 30	20
Amônia	3,5 - 7,0	4,5	mgNH ₃ -N/L	20 - 40	30
Nitrito	0	0	mgNO ₂ -N/L	0	0
Nitrato	0,0 - 0,5	0	mgNO ₃ -N/L	0 - 2	0
Fósforo	1,0-4,5	2,5	mgP/L	5-25	14
Fósforo Orgânico	0,3-1,5	0,8	mgP/L	2-8	4
Fósforo Inorgânico	0,7-3,0	1,7	mgP/L	4-17	10
pH	-	-	-	6,7 - 7,5	7
Alcalinidade	20 - 30	25	mgCaCO ₃ /L	110-170	140
Óleos e graxas	10-30	20	mg/L	55-170	110
Cloretos	4-8	6	mg/L	20-50	35

Fonte: Adaptação Von Sperling, 1996.

Tabela 2 – Composição típica do esgoto doméstico.

Componente	Unidade	Concentração Forte	Concentração média	Concentração Diluída
Sólidos totais	mg/L	1.230	720	390
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	860	500	270
Sólidos dissolvidos fixos	mg/L	520	300	160
Sólidos dissolvidos voláteis	mg/L	340	200	110
Sólidos suspensos	mg/L	400	210	120
Sólidos suspensos fixos	mg/L	85	50	25
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	315	160	95
Sólidos sedimentáveis	mL/L	20	10	5
DBO	mg/L	350	190	110
Carbono orgânico total (COT)	mg/L	260	140	80
DQO	mg/L	800	430	250
Nitrogênio total	mg/L	70	40	20
Nitrogênio orgânico	mg/L	25	15	8
Nitrogênio amoniacal	mg/L	45	25	12
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo total	mg/L	12	7	4
Fósforo orgânico	mg/L	4	2	1
Fósforo inorgânico	mg/L	10	5	3
Cloretos*	mg/L	90	50	30
Sulfatos*	mg/L	50	30	20
Óleos e graxas	mg/L	100	90	50
Compostos orgânicos voláteis	mg/L	>400	100 a 400	<100
Coliformes totais	No/100 mL	10^7 a 10^9	10^7 a 10^8	10^6 a 10^7
Coliformes termotolerantes	No/100 mL	10^7 a 10^8	10^4 a 10^6	10^3 a 10^7
Óocitos de Cryptosporidium	No/100 mL	10^1 a 10^2	10^1 a 10^1	10^1 a 10^0
Cistos de Giardia lamblia	No/100 mL	10^1 a 10^3	10^1 a 10^2	10^1 a 10^1

Fonte: Metcalf & Eddy, 2003

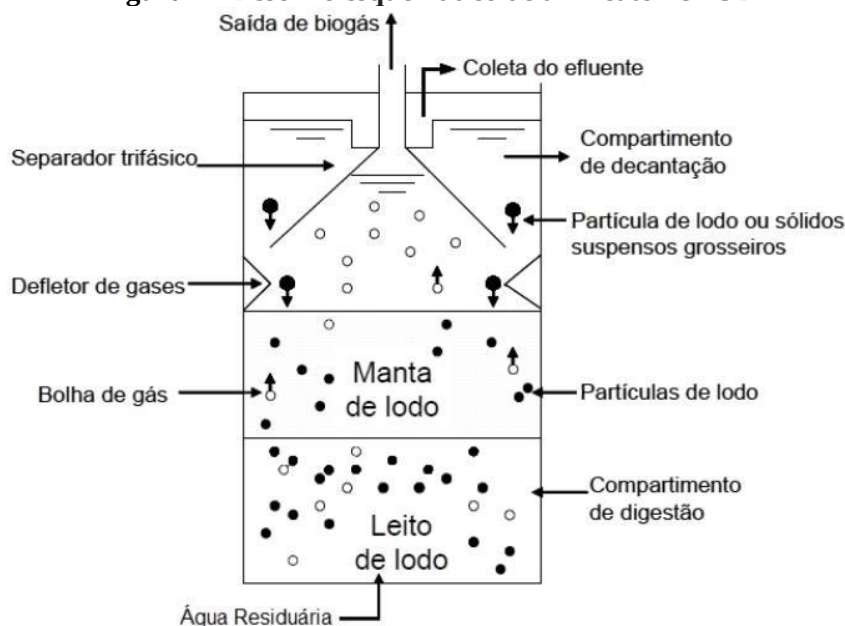
3.3 Reator UASB

A tecnologia dos reatores anaeróbios de leito fixo (UASB) tem se mostrado uma alternativa viável e economicamente vantajosa para o tratamento de efluentes. Conforme estudo de COAMB (2017), os UASB apresentam alta eficiência na remoção de matéria orgânica, reduzindo o impacto ambiental causado pela descarga de efluentes poluídos em corpos d'água. A simplicidade operacional e os baixos custos de manutenção tornam essa tecnologia atrativa, tanto para pequenas comunidades quanto para grandes indústrias e a produção de biogás, além de gerar energia limpa, minimiza a emissão de gases do efeito estufa.

Transcrito literalmente por *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), esse tipo de tratamento possui uma camada de lodo que atua ativamente na redução de DBO do sistema, por meio de um consórcio de bactérias presentes nela. O esgoto entra pelo fundo do reator e percola pelo leito, que filtra as partículas finas e suspensas do efluente e sai pela parte superior do reator caracterizando o fluxo do sistema ascendente; nesse caminho, o que solúvel é absorvido pela biomassa sendo liberado na forma gasosa (Chernicharo *et al.*, 2006).

Fisicamente, o reator possui, na parte superior, uma zona de separação trifásica, com o objetivo de dissociar o gás formado no processo, dos sólidos e do líquido. Por meio da sedimentação, os sólidos ficam retidos no reator e aderidos a biomassa aumentando a concentração da camada de lodo do reator, o líquido representa o efluente tratado e o biogás formado no processo é liberado. A representação de um reator pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 - Desenho esquemático de um reator UASB



Fonte: Martins, V.F., 2013 (*apud* Chernicharo, 2007).

O reator UASB enquanto único método de sistema de tratamento, garante uma eficiência entre 60 e 75% no quesito de remoção de DBO (Von Sperlling, 2014), podendo ser utilizado como única fonte de tratamento a depender das características do efluente bruto e da legislação vigente; em contra partida, ele pode ser utilizado como uma etapa do tratamento, ou seguido de um pós tratamento a fim de elevar a eficiência global do sistema em termos de remoção de matéria orgânica e adicionar a remoção de outros componentes do esgoto, principalmente patógenos (Chernicharo *et al.*, 1997).

O processo de degradação que atua neste tipo de reator é digestão anaeróbia, um processo natural onde microrganismos decompõem matéria orgânica em ausência de oxigênio, gerando biogás. Esse processo ocorre em etapas: hidrólise (quebra de moléculas grandes), acidogênese (formação de ácidos), acetogênese (produção de acetato) e metanogênese (produção de metano). Cada etapa é realizada por grupos específicos de microrganismos que trabalham em conjunto, formando uma comunidade microbiana complexa, ou biofilme (Chernicharo, 2008).

A formação do biofilme em reatores UASB é um processo fundamental para o tratamento de efluentes. O lodo formado sedimenta-se no fundo do reator e, em contato com os efluentes, forma uma manta de lodo com grânulos de alta atividade biológica. Essa manta é responsável pela degradação da matéria orgânica, convertendo-a em biogás. O líquido tratado

é então decantado e o lodo é retido e incorporado à manta, garantindo a continuidade do processo. Uma das grandes vantagens do UASB é a baixa produção de lodo, que é mais mineralizado e pode ser facilmente desidratado e utilizado como condicionador de solo. No entanto, a remoção de coliformes fecais pode não ser completa, necessitando de um tratamento complementar (COAMB, 2017).

3.4 Filtro aerado submerso

Os filtros aerados submersos (FASs) são sistemas de tratamento de efluentes que utilizam leitos fixos de material poroso para promover a remoção de matéria orgânica e nutrientes. Sua operação se baseia no desenvolvimento de biofilmes, comunidades de microrganismos que se aderem ao material de enchimento e degradam a matéria orgânica presente no efluente.

De acordo com Gonçalves *et al.* (2001) e Chernicharo *et al.* (1996), o fluxo de ar nos FAS é sempre ascendente, enquanto o fluxo de água pode ser “co-corrente” ou “contracorrente”, influenciando diretamente o desempenho do sistema. O material de enchimento, como argila calcinada ou plástico, serve como suporte para o crescimento dos biofilmes. A escolha do material influencia a eficiência de remoção e a frequência de lavagem do filtro (Gonçalves *et al.*, 2001).

A aeração é fundamental para fornecer oxigênio aos microrganismos aeróbios responsáveis pela degradação da matéria orgânica. A taxa de aeração influencia a eficiência de remoção de matéria orgânica e a produção de biomassa. A lavagem periódica é essencial para remover o excesso de biomassa e sólidos acumulados no material de enchimento, garantindo a eficiência do processo.

Eles se destacam pela elevada concentração de biomassa ativa, que adere ao material de enchimento, proporcionando uma maior estabilidade operacional e resistência a choques de carga. Além disso, a ausência de necessidade de recirculação de lodo simplifica a operação do sistema (Motta, 1995).

Atualmente, estes filtros são capazes de atingir diferentes objetivos de qualidade, tais como a oxidação de matéria orgânica, a nitrificação secundária ou terciária, a desnitrificação e a desfosfatação físico-química (Chernicharo; Araújo; Gonçalves, 1996). Sua versatilidade e eficiência os tornam uma alternativa atraente para o tratamento de esgotos em diversas

situações.

3.5 O processo de biorremediação no tratamento de efluentes

Os sistemas de tratamento, como o reator UASB e o filtro aerado submerso, desempenham papéis importantes na remoção de matéria orgânica e sólidos, melhorando significativamente a qualidade do efluente. Para alcançar padrões mais elevados de tratamento, especialmente no controle de poluentes específicos, estratégias complementares como a biorremediação são frequentemente utilizadas.

A biorremediação, um campo que tem ganhado crescente atenção desde a década de 1980, consiste na utilização de organismos vivos, principalmente microrganismos, para degradar ou transformar substâncias contaminantes em compostos menos nocivos ou inertes. Essa tecnologia, que encontra suas raízes nos processos naturais de decomposição, explora a capacidade metabólica de bactérias, fungos e, em alguns casos, plantas para decompor poluentes orgânicos em substâncias simples e inofensivas, como dióxido de carbono e água.

Ao estimular o crescimento e a atividade desses organismos, é possível acelerar a degradação de contaminantes em diversos ambientes, como solos, águas e sedimentos, tornando-a uma alternativa promissora para a remediação de áreas contaminadas. (Shannon e Unterman, 1993, Zouboulis e Moussas, 2011; Shah e Shah, 2020).

Esse processo depende do crescimento microbiano e da taxa de degradação que os organismos poderão propor por meio da respiração anaeróbia, sendo altamente sensíveis a condições ambientais adequadas para que ocorram com sucesso. As reações redox promovem a transferência de elétrons entre as moléculas de forma que os microrganismos absorvam energia para realizar suas funções vitais, utilizando poluentes como aceptor final de elétrons em sua cadeia respiratória e promovendo a degradação dos compostos orgânicos.

Desta forma, segundo Adams *et al.* (2015), a eficiência dos processos de biorremediação é condicionada por diversos fatores ambientais e fisiológicos. Os microrganismos necessitam de uma gama de nutrientes essenciais, como nitrogênio e fósforo, além da fonte de carbono fornecida pelos poluentes, para sustentar o crescimento e o metabolismo. A limitação desses nutrientes pode restringir significativamente a taxa de biodegradação.

Além disso, as condições físico-químicas do ambiente, como pH, temperatura, salinidade e oxigenação, influenciam diretamente a atividade microbiana, uma vez que cada espécie possui um intervalo ótimo de tolerância a essas condições; desvios desses parâmetros podem comprometer a capacidade dos microrganismos de degradar os contaminantes.

A toxicidade também desempenha um papel importante nesse processo, pois compostos tóxicos presentes no ambiente podem inibir tanto o crescimento quanto a atividade metabólica dos microrganismos, reduzindo a eficiência da biorremediação. Essa toxicidade pode ser direta, afetando processos celulares essenciais, ou indireta, ao alterar condições ambientais de forma a torná-las menos favoráveis ao desenvolvimento microbiano.

Por fim, a biodisponibilidade dos poluentes, isto é, a forma como estão distribuídos no ambiente, influencia sua acessibilidade aos microrganismos. Poluentes adsorvidos em partículas do solo ou presentes em fases não aquosas podem ter sua biodisponibilidade reduzida, o que limita a taxa de biodegradação.

O processo de biorremediação pode ocorrer *in situ* ou *ex situ*. As técnicas *in situ* incluem a bioaugmentação, que consiste na adição de microrganismos específicos que possuem suas capacidades de degradação comprovadas (Bento *et al.*, 2003; Mariano *et al.*, 2007; Buratini, 2008), a bioestimulação, que envolve a adição de nutrientes estimulando a atividade metabólica dos microrganismos capazes de realizar a degradação dos poluentes (Costa *et al.*, 2009; Nascimento *et al.*, 2016), e a biosorção, um processo físico-químico. Além dessas, técnicas como o *bioventing* e o *biosparging*, que envolvem a injeção de ar no solo para estimular a atividade microbiana aeróbica, são frequentemente utilizadas para tratar contaminantes voláteis (Weber; Santos, 2013). A fitorremediação, por sua vez, utiliza plantas para remover ou degradar contaminantes, sendo especialmente eficaz para metais pesados (Souza *et al.*, 2011; Adams *et al.* 2015; Chojnacka 2010; Zouboulis e Moussas, 2011; (Mariano, 2006) (Coutinho *et al.*, 2015).

As técnicas *ex situ* envolvem a remoção do material contaminado para tratamento em um ambiente controlado. A compostagem, o *landfarming* e os biorreatores são exemplos comuns. Na compostagem, é utilizada a técnica de biopilhas, de forma que o material contaminado é colocado em células enterradas no solo onde é realizada as técnicas de bioestimulação através da aeração e da adição de nutrientes (Andrade; Augusto; Jardim, 2010). O *landfarming* consiste em usar o oxigênio para estimular o crescimento das bactérias

isso acontece por meio do revolvimento do material contaminado, distribuindo-o em camadas finas para aumentar a área de superfície exposta ao ar, além da adição de corretivos e fertilizantes (Maila; Cloete, 2004). Já os biorreatores permitem um controle preciso das condições de tratamento, otimizando a degradação de diversos tipos de contaminantes. (Angelucci; Tomei, 2016).

Uma das principais vantagens da biorremediação é a sua capacidade de degradar uma ampla variedade de compostos orgânicos, transformando-os em substâncias inofensivas como dióxido de carbono e água (Misal *et al.*, 2011). Essa versatilidade reduz a necessidade de disposição especial de resíduos e contribui para a sustentabilidade ambiental (De Luca *et al.*, 2018).

Além disso, a biorremediação muitas vezes pode ser realizada *in situ*, minimizando a necessidade de transporte e armazenamento de materiais contaminados, o que reduz custos e riscos ambientais (Pereira e Freitas, 2012). Como é um processo biológico, a biorremediação tende a ser mais econômica que outros métodos de tratamento (De Luca *et al.*, 2018). Outra vantagem é a possibilidade de combinar a biorremediação com outras tecnologias, aumentando a eficiência do processo de tratamento como um todo (Misal *et al.*, 2011).

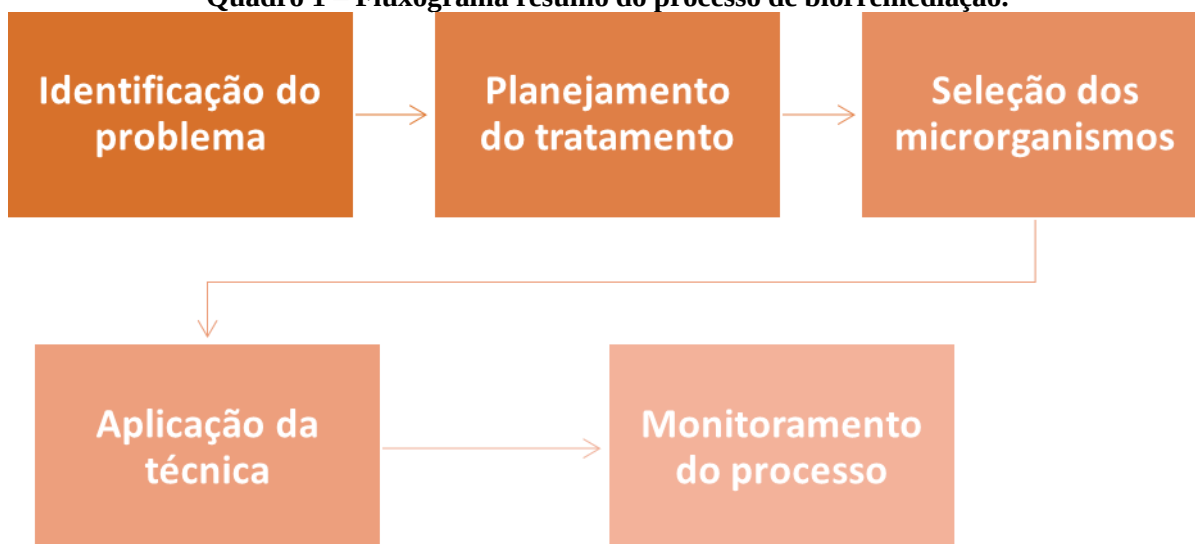
Entretanto, a biorremediação também apresenta algumas limitações. Ela é eficaz apenas para compostos biodegradáveis (Misal *et al.*, 2011). Além disso, existe a preocupação de que os produtos da biorremediação possam ser mais persistentes ou tóxicos que os compostos originais (Zouboulis e Moussas, 2011). Por exemplo, o tricloroeteno (TCE) pode ser convertido em cloreto de vinila, um carcinogênico conhecido, por meio de uma série de reações biológicas. Ademais, apresenta-se como desafio também o fato de sua eficácia estar altamente suscetível ao crescimento microbiano e outros parâmetros ambientais do local (Zouboulis e Moussas, 2011).

Para a implementação de um processo de biorremediação, faz-se necessário a execução de diversas fases; começando pela avaliação detalhada do ambiente contaminado, onde se realiza a caracterização da contaminação, identificando a natureza, quantidade e distribuição dos poluentes no solo, sedimentos ou águas subterrâneas. Em seguida, um planejamento adequado é realizado com base em análises biológicas, geológicas, geofísicas e hidrológicas, definindo a técnica de biorremediação mais apropriada, seja *in situ* ou *ex situ*.

Após essa etapa, são selecionados os microrganismos ou plantas a serem utilizados,

que podem ser autóctones, alóctones ou geneticamente modificados. A bioestimulação ou bioaugmentação é então aplicada, sendo que a primeira visa aumentar as condições favoráveis para os microrganismos já presentes, enquanto a segunda introduz novos organismos para acelerar o processo. Por fim, o monitoramento é essencial para avaliar o andamento da remediação e permitir ajustes, caso necessário (Gaylarde *et al.*, 2005).

Quadro 1 – Fluxograma resumo do processo de biorremediação.



Fonte: Autora, 2024.

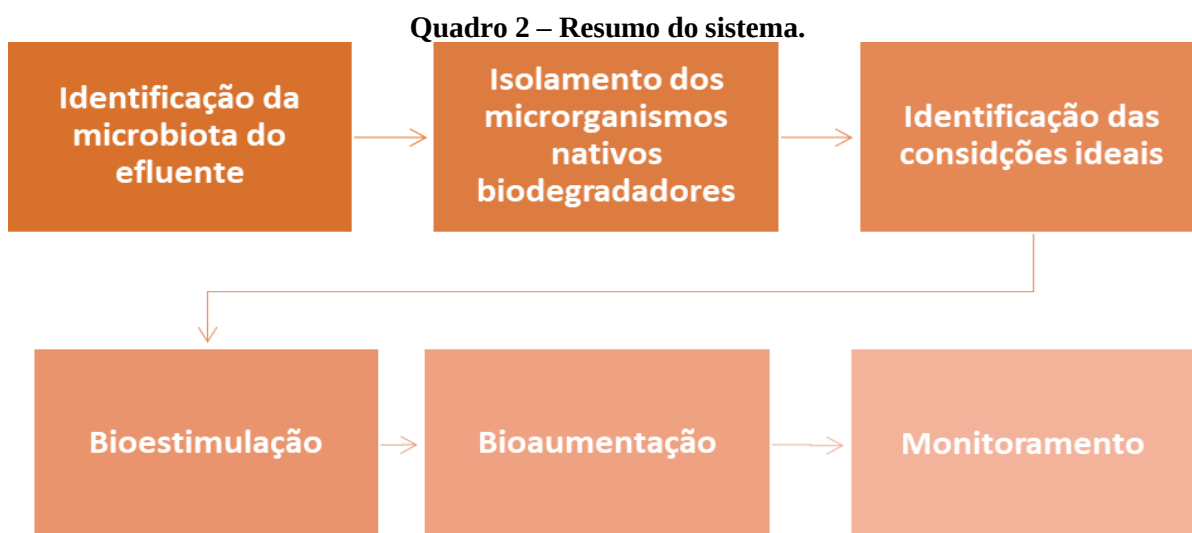
3.5.1 Biorremediação por bioaugmentação de microrganismos autóctones

Microrganismos autóctone é o conjunto de microrganismos residente, normal ou indígena do composto analisado que contribuem de maneira significativa para o equilíbrio do organismo. Essa microbiota, estabelecida em níveis populacionais estáveis, atua como uma barreira microbiana, prevenindo a colonização por patógenos. Além disso, contribui para a produção de metabólitos essenciais, degradação de substâncias tóxicas e modulação das respostas imunes do hospedeiro (Cardoso, 2015).

Desta forma, o processo de biorremediação por bioaugmentação microrganismos autóctones é uma técnica de biorremediação “*in situ*” que se dá pela aumento das populações microbianas por meio de métodos baseado em isolamento e cultivo que envolvem a reprodução dos microrganismos nativos em laboratório, a partir de amostras ambientais, para monitoramento e detecção de populações biodegradadoras. Esses métodos são baseados na capacidade dos microrganismos de crescer em meios de cultura específicos, permitindo que sejam isolados, identificados e estudados em maior detalhe (Gaylarde *et al.*, 2005).

Obedecendo a metodologia básica apresentada em resumo no Quadro 1, o tratamento se inicia com o reconhecimento da microbiota do efluente e identificação dos microrganismos nativos capazes de tratar o efluente de forma a especificar a composição necessária dos nutrientes que, modificarão o ambiente para estimular as bactérias e promoverão a bioestimulação (Elektorowicz, 1994; Rhykerd *et al.*, 1999). Margesin *et al.* (2000) definem a bioestimulação como um processo natural que acelera a degradação de poluentes ao otimizar condições ambientais, como aeração e adição de nutrientes. Ao fornecer os nutrientes e condições ideais, estimula-se o crescimento de microrganismos nativos capazes de degradar os poluentes, tornando o processo de remediação mais eficiente e sustentável.

Considerando que as populações microbianas nativas não consigam degradar todos os substratos presentes no material em questão, por incapacidade ou estado de estresse pela contaminação (Leahy e Colwell, 1990), a bioaumentação com microrganismos degradadores são uma alternativa complementar a biorremediação desde a década de 1970; sendo aplicada a solos contaminados com óleo (Adams *et al.*, 2015). A bioaumentação pode acontecer pela adição de microrganismos degradadores estranhos ao sistema (alóctones), modificados geneticamente, ou nativos, como é o caso.



Fonte: Autora, 2024.

3.6 Reúso de efluente

Os sistemas de tratamento são essenciais para transformar efluentes em recursos seguros para diferentes usos. Esses processos reduzem a carga de poluentes e preparam o efluente para aplicações secundárias. Nesse contexto, o reúso de efluentes líquidos tratados destaca-se como uma estratégia sustentável para reduzir o consumo de água potável, especialmente em atividades não potáveis.

A crescente demanda por água potável, intensificada pelas mudanças climáticas e pelos padrões de consumo insustentáveis, tem pressionado os recursos hídricos mundiais. Nesse contexto, o reúso de efluentes tratados emerge como uma estratégia promissora para otimizar o uso da água e minimizar os impactos ambientais. A composição dos efluentes, rica em nutrientes, os torna uma alternativa viável para fins não potáveis, como a irrigação e a indústria. A escolha do processo de tratamento mais adequado envolve uma análise criteriosa de fatores técnicos e econômicos, considerando a qualidade desejada para o efluente reutilizado (Cunha *et al.*, 2011; Sperling, 1996).

De acordo com Dantas e Sales (2009, p. 4), o reúso de água tem a finalidade de diminuir a vazão de efluente produzido e o consumo de água com qualidade superior, liberando estas para o uso mais nobre, como por exemplo o abastecimento humano, sendo uma alternativa para recuperação de água poluída, desde que se tenha a atenção devida no manejo das propriedades físico-químicas. Desta forma, os efluentes originários das ETEs, sejam residenciais ou industriais, são grandes candidatos ao reúso.

Apoiando esta definição, a Resolução CNRH nº54 de novembro de 2005, responsável por estabelecer “modalidades e diretrizes gerais para a prática de reúso direto não potável de água”, conceitua em seu Art. 2º, I e II, reúso de água como utilização de águas residuárias e a essa como sendo toda aquela proveniente de esgoto, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuárias; demonstrando o leque de efluentes, tratamentos e formas de reúso que podem ser aplicados, a depender dos parâmetros iniciais (Brasil, 2006).

A compreensão e as práticas relacionadas ao reúso da água têm se sofisticado ao longo dos anos, passando de um processo intuitivo para um campo de estudo e aplicação cada vez mais técnico e estratégico. Enquanto Mancuso e Santos (2003) já propunham a distinção entre reúso direto e indireto, a prática predominante no Brasil, segundo Moruzzi (2008), é o reúso

não planejado, caracterizado pelo descarte de efluentes em rios e solos. Essa prática, longe de ser ideal, tem contribuído significativamente para a degradação da qualidade dos recursos hídricos, como evidenciam os dados da ANA (2012). A baixa eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto, aliada à crescente demanda por água, resulta em uma pressão cada vez maior sobre os ecossistemas aquáticos. A consequência direta dessa situação é a eutrofização de rios e lagos, a contaminação de aquíferos e a perda da biodiversidade aquática.

Assim, a reutilização da água, seja proveniente da chuva ou de efluentes, apresenta um potencial significativo para reduzir a pressão sobre os recursos hídricos. A captação e tratamento de água pluvial, por exemplo, podem gerar economia para os usuários residenciais (Montoya *et al.*, 2015). No entanto, o reaproveitamento de água residual exige cuidados especiais, dada a presença de matéria orgânica, sólidos e patógenos. Nesse caso, o tratamento deve ser mais rigoroso, combinando processos físicos, químicos e biológicos para garantir a qualidade da água e a segurança sanitária (Leong *et al.*, 2017).

Mesmo em um contexto de políticas públicas ainda incipientes e sem incentivos fiscais robustos para o reúso de água, grandes empresas brasileiras já demonstram o potencial do reúso de água em larga escala. A Braskem, em parceria com a Sabesp e a Foz do Brasil, já demonstravam em 2012 a viabilidade técnica e econômica dessa prática. A inauguração do maior projeto de reúso industrial do país à época, conforme reportado pela Braskem (2012), evidencia a capacidade do setor privado em liderar a transição para um modelo de gestão de recursos hídricos mais sustentável. Essa iniciativa pioneira, que permitiu a reutilização de aproximadamente 450 milhões de litros de água por mês, demonstra que a demanda por soluções inovadoras para a escassez hídrica já era uma realidade no Brasil, mesmo antes da intensificação da crise hídrica de anos subsequentes (Braskem, 2012).

Em 2015 a Braskem, economizou R\$ 154 milhões com o tratamento e reúso de água, além de implementar um circuito fechado de reúso de água em suas unidades (Braskem, 2015). Da mesma forma, a Petrobras economizou R\$ 35,8 milhões em 2019 com o reúso de água (Pacto das Águas, 2019) e assinou um contrato para fornecer água de reúso as refinarias, no estado do Rio de Janeiro, em que deverão ser abastecidos um volume anual de aproximadamente 28 milhões de metros cúbicos de água de reúso (Petrobrás, 2024).

Um exemplo notável de aplicação bem-sucedida do reúso de efluentes líquidos em um complexo hoteleiro foi implementado pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento (Embasa)

no Resort Iberostar, localizado no Litoral Norte da Bahia. A Embasa implantou um sistema piloto que trata mais de 2,5 milhões de litros de esgoto diariamente, utilizando a água tratada para irrigação de áreas verdes. Este processo evita o consumo equivalente de água potável, trazendo economia e preservação ambiental.

A estação de tratamento utiliza técnicas como floculação, decantação e filtração, garantindo um efluente seguro e rico em nutrientes para o solo. O sucesso da iniciativa destaca o potencial do reúso para atender demandas específicas, como irrigação, e reforça a viabilidade de expandir o modelo para outras regiões, contribuindo para uma gestão hídrica mais sustentável (ABES, 2018).

Outro caso digno de menção é o estudo realizado em um hotel a ser construído em São Luís (MA) apresenta uma proposta viável de implantação de um sistema de reúso de águas cinzas, evidenciando tanto a importância ambiental quanto a econômica. O empreendimento foi planejado para reutilizar águas provenientes de chuveiros e lavatórios em atividades como descarga de vasos sanitários, irrigação de jardins e lavagem de pisos. O sistema projetado, baseado em filtros sequenciais, destaca-se por não utilizar energia elétrica e por requerer baixa manutenção. Com um investimento inicial de R\$ 202.148,98, o tempo de retorno do projeto foi estimado em aproximadamente 2 anos e 6 meses, demonstrando o equilíbrio entre custo e benefício. A economia mensal prevista com o uso de águas cinzas chega a R\$ 6.589,27, destacando-se como uma solução sustentável e financeiramente atrativa para a conservação de recursos hídricos (Coelho *et al*, 2024).

Ademais, o Hotel Comfort Suítes em Macaé no Rio de Janeiro também representa um caso bem-sucedido de reúso de águas cinzas, servindo como referência na região Sudeste do Brasil. Este empreendimento, com 126 suítes e um restaurante que atende 300 refeições por dia, implantou um sistema de reúso exclusivo para descargas sanitárias, resultando em uma economia significativa de água potável. Antes da instalação do sistema, o consumo médio mensal era de 1.515 m³, reduzindo-se para 1.017 m³ após o reúso, representando uma economia de 29%. O sistema foi integrado à infraestrutura do hotel em um bloco compacto de 80 m² no subsolo, junto à ETE, pois a região não dispõe de rede pública de esgoto. Com um custo de implantação de apenas 0,34% do valor total da construção, o sistema apresentou retorno financeiro em 50 meses, evidenciando não só os benefícios ambientais, mas também a viabilidade econômica da tecnologia (Gonçalves *et al*, 2010).

Esses casos demonstram que o reúso de água não é apenas uma possibilidade futura, mas uma realidade presente na realidade brasileira com resultados positivos, tanto para o meio ambiente quanto para a economia.

3.7 Padrões e regulamentações para reúso de efluentes

A abordagem dos aspectos legais é um componente essencial ao se explorar temas relacionados ao tratamento de água e saneamento. No âmbito dessa pesquisa, a análise detalhada dos aspectos legais é fundamental para compreender as diretrizes e normativas que regem as práticas de reúso de esgoto tratado, assegurando a conformidade e a sustentabilidade das ações empreendidas. Por isso, será abordado um histórico geral dos dispositivos legais que envolvem a água e a água de reúso no Brasil.

Instituído em um contexto histórico distinto, o Código de Águas de 1934 representou um avanço na legislação ambiental brasileira. No entanto, a evolução da sociedade e o aumento da pressão sobre os recursos hídricos revelaram as limitações desse marco legal. A ausência de instrumentos eficazes para a gestão integrada dos recursos hídricos e a falta de mecanismos de participação social na tomada de decisões sobre a água foram alguns dos principais desafios enfrentados pela legislação (Rytchysky *et al.*, 2021).

A preocupação com a proteção dos recursos hídricos no Brasil ganhou impulso a partir da década de 1960. Com a instituição do Código Florestal de 1965, as áreas em torno de rios e nascentes foram definidas como de preservação permanente, demonstrando um primeiro avanço na legislação ambiental. Em paralelo, a crescente preocupação global com a escassez de água impulsionou o desenvolvimento de tecnologias de reúso de efluentes. No Brasil, a Política Nacional do Meio Ambiente, instituída em 1981, consolidou essa tendência, incentivando a pesquisa e o desenvolvimento de soluções para a gestão sustentável dos recursos hídricos (Almeida, 2011).

A Constituição Federal de 1988 representou um marco fundamental para a proteção ambiental no território nacional, ao consagrar o direito de todos a um meio ambiente ecologicamente equilibrado (art. 225). Essa garantia constitucional impulsionou a adoção de um modelo de gestão dos recursos hídricos mais participativo e descentralizado, com a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento e gestão, conforme destacado por Gomes e Barbieri (2004).

Em 1992, a Agenda 21, produto da Conferência Rio-92, representou um marco histórico na busca por um desenvolvimento sustentável. Ao reconhecer a importância da gestão integrada dos recursos hídricos, o documento incentivou a implementação de políticas públicas que promovessem o reúso de águas tratadas, contribuindo para a segurança hídrica e a proteção ambiental em escala global. Essa iniciativa pioneira abriu caminho para o desenvolvimento de tecnologias e práticas mais eficientes de tratamento de efluentes, impulsionando a transição para uma economia circular e mais sustentável (Hespanhol, 2002).

Em 1997 foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos, cujo objetivo é a utilização racional e integrada dos recursos hídricos a fim de alcançar o desenvolvimento sustentável; trouxe noções importantes para a visão atual de gestão de recursos hídricos e fundamentou legalmente o reúso de água como uma possibilidade viável para a preservação do meio ambiente. O exercício dessa Lei, abriu as portas para o reúso de efluentes e águas, bem como a cobrança pelo uso, elevando a valoração do recurso hídrico e tendo efeito direto não apenas em quem capta água, mas também em quem polui (Rytchysky *et al.*, 2021).

A partir de 2005, a legislação ambiental brasileira avançou significativamente na regulamentação da qualidade das águas e dos recursos hídricos. A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabeleceu critérios para a classificação e enquadramento dos corpos d'água, enquanto as Resoluções CNRH nº 21/2002 e nº 48/2005 instituíram mecanismos de cobrança pelo uso da água (Rytchysky *et al.*, 2021). Além disso, a Resolução CNRH nº 54/2005 trouxe diretrizes específicas para o reúso de águas não potáveis, demonstrando a crescente preocupação com a gestão sustentável dos recursos hídricos no país. Apesar de todos os avanços, atualmente, ainda não existe uma legislação federal específica no Brasil que trate sobre o reúso de efluentes tratados, nem determine seus padrões específicos.

O projeto de lei nº 1.874 de 2015, propunha uma atualização significativa na legislação brasileira referente à gestão dos recursos hídricos. Seu objetivo principal era fomentar o uso de fontes alternativas de abastecimento de água, como a água de reúso e a água de chuva, visando mitigar os efeitos da crescente escassez hídrica no país.

A proposta previa alterações substanciais na legislação, permitindo que edificações urbanas utilizassem essas fontes alternativas, além da rede pública de abastecimento, desde que a água atendesse aos padrões de qualidade estabelecidos. Além disso, o projeto incluía a obrigatoriedade de os planos de recursos hídricos considerassem as fontes alternativas como

parte das metas para garantir o abastecimento de água. Embora a iniciativa apresentasse um grande potencial para promover a segurança hídrica e a sustentabilidade ambiental, o projeto de lei foi arquivado em 2022. Apesar de seus méritos, diversos fatores podem ter contribuído para esse desfecho, como a complexidade da implementação, a necessidade de ajustes técnicos e a falta de consenso entre os diferentes atores envolvidos.

Em 2022 o projeto de nº 1.874, que, em junho de 2024, viria a ser a instituída Política Nacional de Economia Circular constitui um marco normativo crucial na trajetória brasileira rumo à sustentabilidade, delineando os contornos para uma transição para um modelo econômico circular. Embora priorize a otimização de fluxos de materiais e produtos, a legislação apresenta implicações significativas para a gestão eficiente de recursos hídricos, em particular, o reúso de água. Ao fomentar a circularidade, o marco legal incentiva a otimização de recursos hídricos, promovendo práticas como a reutilização e a minimização de efluentes (BRASIL,2022).

A ABNT, em 1997, publicou a NBR 13.969, fornecendo diretrizes para o tratamento de esgotos sanitários. Embora a norma não tenha um foco específico no reúso de água, ela estabelece bases importantes para o tema. A recente NBR 17.076/2024 cancelou e substituiu as NBRs 7.229/1993 e 13.969/1997, incluindo diretrizes para o reúso não potável. Segundo essa norma, todos os tipos de reúso não potável devem atender aos parâmetros estabelecidos pela NBR 16783/2019.

Além disso, a NBR 15.527/2007 e a NBR 16.783/2019 complementam o quadro normativo, incentivando e regulando o uso de água da chuva e outras fontes alternativas para fins não potáveis em edificações. Esse conjunto de normas demonstra um avanço na regulamentação do reúso de água no Brasil, conforme apontado por estudos recentes (Rytchysky *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2020).

As normas técnicas brasileiras NBR 13969, 16783 e 17076 abordam o tema do tratamento de esgotos e reúso de água, cada uma com um foco específico e contribuindo para o avanço do setor de saneamento básico (Tabela 3). Elas se complementam e demonstram a evolução da normatização brasileira na área de saneamento básico e reúso de água. A NBR 13969 foi pioneira ao introduzir o conceito de classes de reúso, a NBR 16783 ampliou o escopo para o uso de diversas fontes alternativas de água em edificações, e a NBR 17076 se concentrou em sistemas de tratamento de menor porte, contribuindo para a universalização do

saneamento básico.

Tabela 3 – Comparação das NBRs que falam sobre tratamento e reúso de água.

Norma	Foco	Conteúdo Principal	Classes de Reúso
NBR 13969	Sistemas individuais de tratamento de esgotos	Diretrizes para projeto, construção e operação	Introduz o conceito de classes 1, 2 e 3
NBR 16783	Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações	Procedimentos e requisitos para o uso de águas alternativas	Estabelece parâmetros de qualidade para diferentes usos
NBR 17076	Sistemas de tratamento de esgoto de menor porte	Projeto, construção, operação e manutenção de sistemas menores	Não detalha classes de reúso, mas aborda a disposição final do efluente

Fonte: Autora, 2024.

Ademais, vale citar que existem algumas resoluções estaduais que regem e parametrizam a qualidade da água para reúso de acordo com a finalidade em que for empregada. É o caso do estado do Ceará, cujos artigos 38, 39 e 40 da Resolução COEMA nº02/2017 determinam de forma específica os parâmetros a serem adotados para reúso (Bezerra, 2018), bem como Resolução CONERH nº 75/2010, da Bahia, Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01/2020, em São Paulo.

Quadro 3 - Evolução das normativas que tratam de reúso no Brasil.



Fonte: Autora (2024).

3.8 Aplicações potenciais do efluente tratado

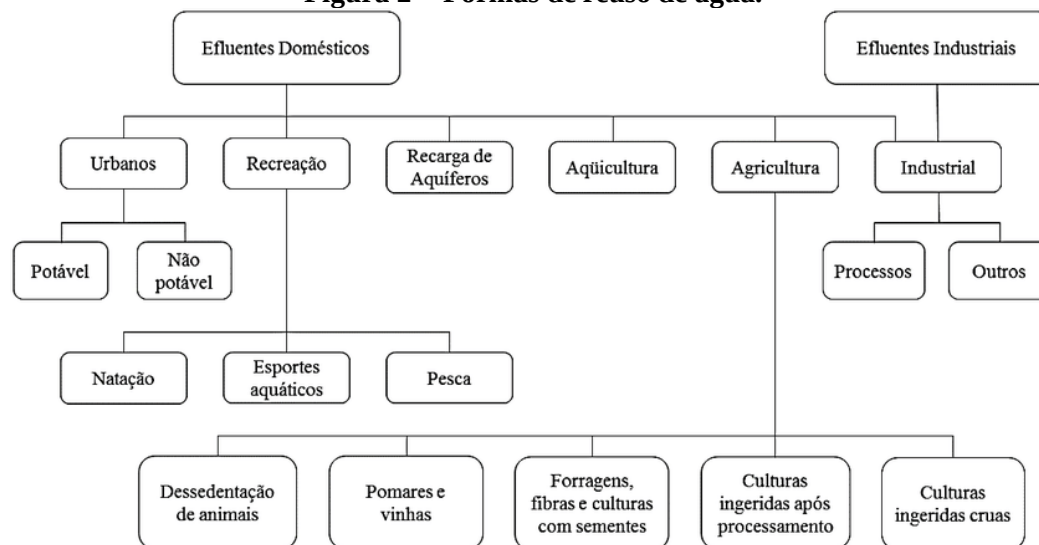
O reúso de efluentes domésticos surge como uma alternativa promissora para mitigar a escassez hídrica e promover a sustentabilidade. Ao aproveitar a água tratada, é possível aliviar a pressão sobre os recursos hídricos, destinando a água potável para consumo humano. Além disso, a reciclagem de nutrientes presentes nos efluentes contribui para a fertilidade do solo, reduzindo a necessidade de insumos agrícolas (Florencio, Bastos & Aisse, 2006).

Outra vantagem significativa do reúso é a possibilidade de ampliar áreas irrigadas e recuperar áreas degradadas, impulsionando a produção agrícola. Ao mesmo tempo, a redução do lançamento de efluentes em corpos hídricos minimiza os impactos ambientais e preserva a qualidade da água (Asano, 2002).

Em longo prazo, o reúso de água promove a segurança hídrica das comunidades, garantindo um abastecimento mais confiável, especialmente em períodos de seca. Essa prática também estimula a gestão integrada dos recursos hídricos e incentiva a população a adotar hábitos de consumo mais sustentáveis (Gohringer, 2006).

A exploração das aplicações potenciais do efluente tratado representa uma vertente crucial na compreensão dos resultados alcançados nos processos de tratamento de águas residuais. Nesta pesquisa, a análise abrangente das possíveis aplicações visa identificar oportunidades sustentáveis para o efluente tratado, delineando-se como um elo entre as práticas de tratamento e os benefícios socioambientais; as aplicações viáveis desse efluente adquirem importância estratégica.

As possibilidades e as formas de reúso dependem da caracterização do efluente trabalhado, além da disponibilidade de material, conhecimento técnico, necessidades e condições econômicas e sociais do ambiente em questão. Na referida Resolução nº54/2005, são estabelecidas modalidades de reúso, resumindo-se em cinco tipos: reúso para fins urbanos, reúso para fins agrícolas, reúso para fins ambientais e reúso para a aquicultura. Entretanto, independentemente do tipo de reúso escolhido, a base é a preservação da saúde pública e do meio ambiente. A Figura 2 apresenta um quadro com as formas potenciais de reúso.

Figura 2 - Formas de reúso de água.

Fonte: Hespanhol (2002).

3.8.1 Uso urbano do efluente

O uso de água em áreas urbanas tem origem em diversos setores e muitos deles não exigem qualidade elevada desta água, desta forma, é possível utilizar do reúso de água para suprir algumas destas demandas e preservar a água potável.

O reúso urbano é dividido em: a) potável e b) não potável.

a) Usos urbanos para fins potáveis

Por causa da presença de patógenos e compostos orgânicos sintéticos que persistem no efluente, mesmo após passar pelo tratamento convencional, o reúso, com o objetivo de realizar atividades com exigência de potabilidade, não é indicado. A presença de vírus entéricos, de constituintes orgânicos, compostos químicos, resíduos residenciais, medicamentos e metais pesados no efluente saído do tratamento são possibilidades, cujos impactos à saúde humana, nestas condições, não são bem mensurados, causando a inviabilidade dessa forma de reúso sem a utilização de tecnologias mais avançadas (Hespanhol, 2008).

b) Usos urbanos para fins não potáveis

Consiste na utilização do esgoto doméstico como matéria prima básica para suprir as necessidades hídricas menos nobres com as águas de reúso, ou águas de utilidade. A ideia já

está bastante disseminada em grandes regiões metropolitanas do Brasil, principalmente na cidade de São Paulo. Os efluentes domésticos para fins não potáveis, podem ser reutilizados em irrigação de parques e jardins, centros esportivos, campos de futebol, gramados e rodovias; reserva contra incêndio; sistemas decorativos como fontes e chafarizes; lavagem de veículos; lavagem de pisos e praças; descargas sanitárias; limpeza de tubulações de esgoto e de galerias pluviais; e na lavagem de agregados da construção civil (Hespanhol, 2008).

3.8.2 Uso agrícola e florestais

Consiste na aplicação da água de reúso para a irrigação da produção agrícola e para o cultivo de florestas plantadas (Moruzzi, 2008). Esta é uma forma de intensificar a produção agrícola durante todo o ano, visto que a prática permite a irrigação mesmo em períodos de seca (Hespanhol, 2008).

A agricultura é um dos setores que mais consome água, representando cerca de 80% da água tratada utilizada no país (Fao, 1985). O reúso de efluentes tratados surge como uma alternativa promissora para reduzir essa demanda e otimizar o uso da água. No entanto, a implementação dessa prática exige uma avaliação cuidadosa de diversos fatores, como o tipo de cultura, a qualidade do efluente, o tratamento aplicado e o método de irrigação (Mota, 2009).

A utilização de efluentes na agricultura oferece diversos benefícios, como a redução dos custos de produção através da reposição de nutrientes no solo (Telles, 2011), a ampliação das áreas irrigadas e a proteção dos recursos hídricos (Souza, 2004). No entanto, é fundamental que a qualidade da água reutilizada seja adequadamente monitorada e que sejam adotadas medidas de segurança para proteger a saúde dos trabalhadores rurais e dos consumidores (Mota, 2009; Von Sperling, 2009).

3.8.3 Uso industrial

A indústria tem demonstrado crescente interesse em práticas mais sustentáveis, buscando reduzir seu impacto ambiental e otimizar o uso dos recursos naturais. Nesse contexto, o reúso de efluentes tratados se apresenta como uma alternativa estratégica para reduzir a demanda por água potável e promover a eficiência hídrica. A localização de estações de tratamento de esgoto próximas às áreas industriais facilita a utilização dos efluentes tratados, reduzindo os custos de transporte e otimizando a logística do processo (Gohringer, 2006). Além disso, o custo da água reutilizada é geralmente inferior ao da água potável,

tornando o reúso uma opção economicamente atrativa (Metcalf & Eddy, 2016).

O reúso de efluentes tratados na indústria apresenta um amplo espectro de aplicações, como demonstrado por Mancuso e Santos (2003). Dentre as diversas possibilidades, destacam-se: sistemas de resfriamento, limpeza de peças e equipamentos, irrigação de áreas verdes, lavagem de pisos e veículos, reutilização nos processos produtivos (especialmente nas indústrias de papel, têxtil, plásticos, couro, construção civil e petroquímica), lavagem de gases industriais, usos sanitários e sistemas de combate a incêndios.

Como aplicação deste item, verifica-se que empresas da região metropolitana de São Paulo já adquirem água de reúso há pelo menos 16 anos, pagando menos e utilizando-a em diversas aplicações industriais, como resfriamento, processos produtivos e até mesmo em sistemas de combate a incêndio. A qualidade da água reutilizada pode ser ajustada para atender a diferentes necessidades, geralmente exigindo um tratamento secundário (Hespanhol, 2008).

3.8.4 Uso para recreação

O reúso de efluentes em atividades recreativas como pesca e canoagem, que envolvem baixo contato direto com a água, é mais comum em regiões onde essa prática já está estabelecida. Um exemplo emblemático é o *Santee Lake Recreational Project*, na Califórnia, que ocupa uma área de 77 hectares e recebe cerca de 550 mil visitantes anualmente. Alimentado por efluentes tratados em nível avançado, utilizando a tecnologia de lodos ativados e desinfecção, o parque oferece diversas atividades aquáticas. No entanto, mesmo com esse alto padrão de tratamento, o contato direto e prolongado com a água é restrito (Hespanhol, 2008). No Brasil, essa prática ainda é incipiente.

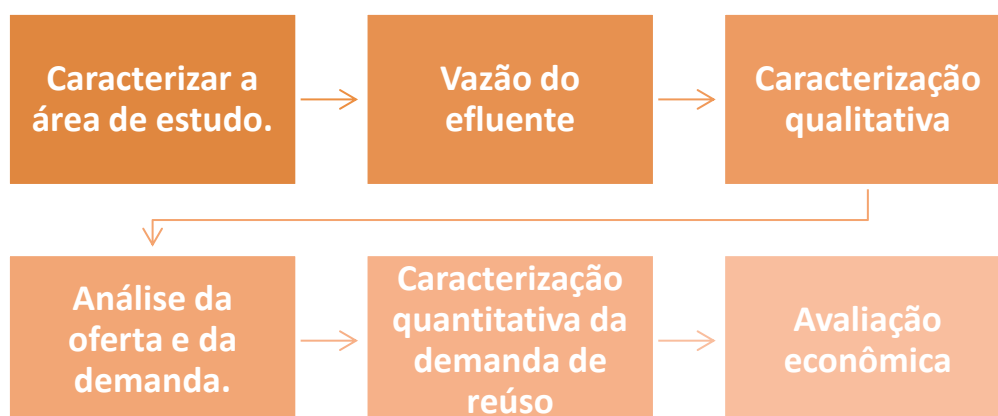
4 MATERIAIS E MÉTODOS

O objeto de estudo deste trabalho concentra-se num complexo de empreendimento do ramo da hotelaria, que fica localizado no litoral norte do município de Maceió/AL. Para a realização das análises, foram ofertados pelo empreendimento, dados de vazão da água, qualidade do efluente, vazão requerida de reúso e sua área total. Ademais, foram realizadas duas visitas técnicas acompanhadas pelo engenheiro responsável pelo complexo, de forma a entender as estruturas de tratamento de água e esgoto, além de avaliar as atividades geradoras de efluente no local.

Os dados de caráter secundário foram avaliados segundo uma metodologia quantitativa que visa a caracterização do efluente líquido da ETE, sendo possível com isso, avaliar a eficiência de tratamento da estação à luz da legislação vigente, de forma a perceber se o efluente produzido, obedece aos parâmetros impostos pela norma NBR17076 de maneira a analisar a viabilidade da implantação de um sistema de reúso eficiente. Outros pontos a serem mencionados, até o momento de escrita deste trabalho a cobrança pelo uso da água não foi implementada no estado de Alagoas e por isso o empreendimento não paga pela água que capta, já que o faz de poços da região; o valor dedicado a consultoria de operação a estação é hipotético.

Para cumprir com estas expectativas, o trabalho foi dividido em seis etapas listadas no baixo.

Quadro 4 – Quadro resumo de ações metodológicas.



Fonte: Autora (2024).

4.1 Área de estudo

4.1.1 Caracterização do empreendimento

O empreendimento se trata de um complexo hoteleiro que conta com apartamentos, hotéis e restaurantes, localizado na parte norte do litoral do município de Maceió, capital do estado de Alagoas. Essa região é composta pelos bairros de Cruz das Almas, Jacarecica, Guaxuma, Garça Torta, Riacho Doce, Pescaria e Ipioca que surgiram as margens da AL-101 e faz parte da Área de Proteção Ambiental (APA) do Pratagy.

A APA do Pratagy foi criada pela Lei Estadual nº 37.589/1998 para promover a preservação ambiental e o equilíbrio das atividades na Bacia Hidrográfica do Rio Pratagy. A proteção da área inicialmente restringiu o desenvolvimento e o turismo, mas a ocupação avançou com os incentivos propostos no Plano Diretor de Maceió (2005) e mudanças nas legislações (Dantas *et al.*, 2005; Araujo, 2016). A bacia, situada nas microrregiões da Mata Alagoana e de Maceió, abrange 133,69 km² e apresenta uma geologia formada pelo Grupo Barreiras, sedimentos de praia e aluvião, além de rochas graníticas, com solos típicos dos Tabuleiros Costeiros e da Planície Litorânea (Macedo *et al.*, 2002).

A bacia enfrenta atualmente uma crescente indisponibilidade hídrica devido ao aumento da demanda, que excede a capacidade de oferta do rio. O consumo já representa 63,26% da vazão potencial regularizada do Pratagy, e projeções futuras indicam que a demanda poderá ultrapassar a oferta hídrica em cerca de 340,81%, configurando um cenário de escassez hídrica significativa (Silva Júnior *et al.*, 2005).

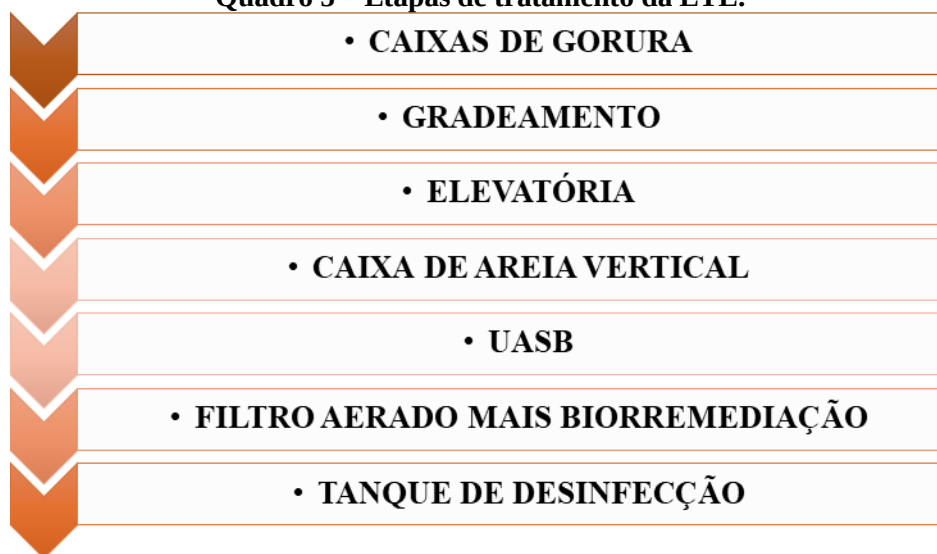
É nesse contexto que o empreendimento está situado, sendo composto duas unidades hoteleiras que, juntas, recebem, diariamente, cerca de 4000 hóspedes, distribuídos em 800 apartamentos, 100 passantes e conta com a presença de 600 funcionários. O sistema de abastecimento do complexo é caracterizado como modelo individual, contando com 04 poços profundos que captam do aquífero e bombeiam para a estação de tratamento; após o tratamento a água é enviada para um reservatório de 770m³ e é distribuída para os empreendimentos e para a irrigação. A pesquisa se voltou para a Estação de Tratamento de Efluentes, operada dentro da área do imóvel, que ocupa uma área total de 176.552,58 m² distribuída entre área construída, estacionamento e perspectiva de crescimento. Dentro desse perímetro, é possível destacar uma área verde de 5.000,00 m².

4.2 Caracterização da Estação de Tratamento de Esgoto

A Estação de Tratamento de Esgoto do empreendimento está localizada na parte inicial da área do empreendimento possuindo tratamento primário e terciário que tem como objetivo garantir a vida útil dos equipamentos da estação e, principalmente, a qualidade do efluente tratado.

O tratamento primário é iniciado com a passagem do esgoto por caixas de gordura estrategicamente posicionadas na rede de coleta. Essas unidades são essenciais para a retenção de óleos e gorduras reduzindo obstruções e protegendo as etapas subsequentes, conforme definição descrita na NBR 08160/1999. Após essa etapa, o esgoto passa por um gradeamento fino e um desarenador vertical posicionados na entrada da estação, onde ocorre a remoção de sólidos grosseiros e partículas de areia. Esse processo inicial tem o objetivo de prolongar a vida útil dos equipamentos e garantir uma carga orgânica mais estável para as etapas seguintes. (Chernicharo, 2018).

Quadro 5 – Etapas de tratamento da ETE.



Fonte: Autora, 2024.

No tratamento secundário, a ETE utiliza um reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), seguido de bioaugmentação com microrganismos autóctones e um filtro aerado submerso. O reator UASB é responsável pela remoção da carga orgânica, estabilizando a matéria orgânica por meio de processos anaeróbios. Durante o tratamento, o efluente é introduzido na base do reator e passa através de um leito de lodo, onde a matéria orgânica é digerida pelos microrganismos (Campos, J. R, 1999), com uma eficiência de remoção

estimada em 60%. A bioaugmentação com microrganismos autóctones potencializa essa etapa, já que esses microrganismos adaptados ao ambiente local facilitam uma decomposição mais eficiente da matéria orgânica presente.

O efluente passa, então, por uma estrutura projetada para ser um FAS, que em suas condições normais é composto por um meio filtrante granular inerte que proporciona uma grande área para a fixação de biofilme microbiano (Gonçalves *et al*, 2001). Esse filtro promove oxigenação do sistema e retém sólidos biológicos, completando o processo de remoção de matéria orgânica residual. Esse processo também contribui para uma nitrificação parcial, auxiliando na remoção de compostos nitrogenados (Von Sperling, 1997; Chernicharo *et al.*, 1996). A eficiência global dessa etapa é estimada em 92% para a redução da DBO. Todavia, a estação está passando por um período de modificações e melhorias e o filtro não apresenta recheio servindo apenas como um reator aeróbio para a ação da biorremediação, o que impacta diretamente na eficiência de tratamento.

Após o tratamento secundário, o efluente é direcionado para um tanque de detenção, onde ocorre o processo de desinfecção com cloro. A aplicação controlada de cloro em pastilhas é projetada para eliminar patógenos, vírus e bactérias, garantindo a segurança microbiológica do efluente antes de sua liberação. O nível de cloro residual é monitorado para atender às normas de segurança e evitar a presença excessiva no efluente final.

O tratamento disposto na estação pode ser considerado em nível terciário, visto que conta com a presença da desinfecção por cloro para refino do efluente. Após saída estação, o esgoto tratado é direcionado a um corpo hídrico existente dentro da própria área do empreendimento.

4.3 Quantificação da vazão do efluente

O primeiro a passo é identificar o valor de água total consumida pelo empreendimento. Para isso, foi disponibilizado pelo complexo uma planilha de acompanhamento diário do consumo de água por cada empreendimento, com a finalidade de suprir as necessidades humanas, contemplando os meses de março a setembro de 2024. A planilha foi reorganizada para um acompanhamento mensal, de forma que foi possível estabelecer por meio de um cálculo de média simples a vazão média de água consumida para fins de abastecimento humano.

A ETE não possui medidores de vazão, por isso, para estimar a vazão que chega na estação, foi utilizado o valor de consumo médio de água obtido pelos hidrômetros localizado nos poços do empreendimento e o método empírico levando em consideração o coeficiente de contribuição *per capita* de esgoto e o coeficiente de retorno para realizar a estimativa.

De acordo com Tsutiya (1999) os coeficientes de retorno representam a relação entre o volume de esgoto que chega na estação de tratamento e o volume de água consumido pela população do projeto, podendo variar de 0,5 a 0,9, a depender das condições do local. Em áreas cuja parcela considerável da água é utilizada para atividades como irrigação e lavagem de áreas pisos o coeficiente apresenta valores mais baixos, pois o efluente infiltra no solo, não se transformando em efluente para a ETE.

Além disso, também foi disponibilizada a medição dos hidrômetros de cada poço tornando possível saber o total de água é capitada e o valor total diário de água tratada que é destinado a irrigação das áreas verdes. Considerando que a água destinada a irrigação não entrará na ETE, a vazão de água utilizada pelo empreendimento nas atividades extra irrigação pode ser observada abaixo.

$$Q_a = Q_{\text{água total}} - Q_{\text{água irrigação}} \quad \text{Equação 1}$$

Para fazer a determinação da vazão média de esgoto que entra na estação, considerou-se que o empreendimento conta com uma área verde considerável, muitas piscinas e chuveirões de praia, cuja água utilizada infiltra no solo, não contribuindo com a produção de esgoto. Desta forma, adotou-se o valor de 0,6 como coeficiente de retorno. Assim, adquire-se a contribuição de esgoto per capita (Q_e) por dia, por meio da Equação 2.

$$Q_e = Q_{\text{água total}} \times C \quad \text{Equação 2}$$

Outra consideração importante é que a vazão de esgoto que chega na ETE tem uma contribuição de cerca de 40% de águas subterrâneas que incorporam a rede por meio das estações elevatórias distribuídas no empreendimento. Por isso, a vazão final que chega à ETE é calculada pela equação abaixo.

$$Q_{\text{esgoto}} = Q_e \times 1,40 \quad \text{Equação 3}$$

4.4 Análise da oferta e da demanda de água residuária

Para compreender a relação entre oferta e demanda de água residuária no empreendimento, foi realizada uma adaptação da metodologia sugerida pela FIESP (2018) no *Manual de Conservação e Reúso para a Indústria*. Inicialmente, se fez uma visita técnica e um mapeamento do fluxo de água no sistema de abastecimento, considerando todas as fontes de geração de efluentes, as vazões observadas e os possíveis pontos de consumo para reúso. Em seguida, a demanda de água residuária foi delimitada com base nas áreas e sistemas que atualmente utilizam ou têm potencial para utilizar efluente tratado, como a irrigação de áreas verdes. Essa demanda é fixa, estabelecida a partir do histórico de consumo de água para irrigação já existente no empreendimento.

Após a obtenção dos dados, a oferta de água residuária foi comparada com a demanda definida. Essa análise confirmou que a oferta de água residuária excede significativamente a demanda de reúso, o que sugere a possibilidade de expansão nas aplicações de água residuária ou a necessidade de definir alternativas para o destino do efluente excedente. Em conformidade com as diretrizes de outorga e mediante solicitação do empreendimento; o efluente excedente será lançado em um corpo hídrico próximo.

4.5 Caracterização qualitativa do efluente

A caracterização qualitativa do efluente terá como base parâmetros físicos, químicos e biológicos, conforme estabelecido pela NBR 16.783/2019 da ABNT, conforme indicado na NBR 17076/2024 que define as diretrizes para a avaliação da qualidade de águas residuais para reúso e possibilita a padronização dos métodos utilizados. Para isso, o monitoramento será realizado em um ponto crítico da ETE: o esgoto tratado, coletado após a última etapa do processo (ponto a jusante do tratamento).

O total de sete amostras foram analisadas por um laboratório especializado em análises de efluentes, com a utilização de metodologias padrão para caracterização físico-química e biológica, como a medição de DBO, DQO, pH, turbidez, coliformes e outros indicadores relevantes de contaminação e carga orgânica. Estes parâmetros permitem avaliar tanto a eficiência do sistema de tratamento quanto a viabilidade do reúso do efluente.

Uma limitação significativa nesta pesquisa é a ausência de dados sobre a concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) e de *Escherichia coli* (*E. coli*). Os valores acompanhados

pela gestão ambiental da ETE em questão estão focados apenas em cumprir a legislação ambiental para lançamento de efluente em corpo hídrico, tanto a federal na resolução CONAMA nº430/2011, quanto na estadual com a Instrução Normativa nº01/2018 que não fazem menção aos dois parâmetros citados.

Entretanto, de acordo com Cavalcanti (1999) a concentração de *E. coli* representa um percentual de 95% da concentração medida de Coliformes Termotolerantes nas fezes humanas. Assim, é possível estimar a concentração de *E. coli*, por meio da adoção de uma relação empírica baseada nos valores de coliformes, conforme literatura. Essa relação permitiu estimar a concentração de *E. coli* no efluente tratado, apesar da ausência de dados diretos sobre os sólidos dissolvidos. A estimativa pode ser observada na Equação 4, considerando a concentração de *E. coli* equivalente a 95% da concentração de coliformes termotolerantes.

$$C_{E.coli} = 0,95 \times C_{Coliformes\ termotolerantes} \quad \text{Equação 4}$$

Os parâmetros monitorados estão listados na Tabela 4, conforme as especificações das normas vigentes, que orientam as faixas ideais para cada indicador de qualidade de efluente.

Tabela 4 - Parâmetros analisados em efluente para caracterização.

PARÂMETROS	LIMITE SEGUNDO NBR 16.783
<i>E. Coli</i> (NMP/100ML)	≤ 200 NMP/100mL
DBO (mg O ₂ /L)	≤ 20
pH	5 – 9
Sólidos dissolvidos totais (mL/L)	≤ 2.000
Turbidez (NTU)	≤ 5
Cloro residual livre (mg Cl em Cl ₂ /L)	0,5 a 5,0
Carbono orgânico total (mg/L)	4mg/L

Fonte: Autor, 2024.

4.6 Análise de conformidade e melhorias necessárias para o efluente final

A análise de conformidade do tratado com a normativa vigente foi conduzida por duas etapas principais: a organização e a análise dos dados e a avaliação comparativa dos parâmetros. Conforme já citado, os dados obtidos quanto a qualidade físico-química do efluente são de caráter secundário e foram disponibilizados pelo empreendimento em questão. Dado que existem limitações na caracterização do efluente segundo exigido pela Norma, vide a ausência de dados acerca de sólidos dissolvidos totais e *E. coli*, é válido ressaltar que a

análise de conformidade também está sujeita a imprecisões.

A partir dos resultados obtidos, os dados foram confrontados com os limites estipulados pela NBR 16.783/2019 para efluentes tratados, visando identificar eventuais não conformidades. Como os resultados indicaram valores acima dos limites normativos para algum parâmetro, foram sugeridas adequações específicas. Essas recomendações incluem alterações nos processos de tratamento, adição de etapas complementares (como desinfecção aprimorada), ou ajuste de cargas orgânicas para otimizar a remoção de contaminantes.

Por fim, os dados e as recomendações foram organizados para possibilitar uma avaliação geral da eficiência do sistema de tratamento atual e das melhorias necessárias para assegurar a conformidade do efluente tratado, com foco na proteção ambiental e em eventuais oportunidades de reúso.

4.7 Análise econômica da implantação de um sistema de reúso

A implementação de um sistema de reúso de efluente tratado de ETE representa uma oportunidade para a redução de custos com o consumo de água potável e uma solução sustentável para destinação de efluentes. Ao reaproveitar o efluente tratado em atividades como irrigação de áreas verdes ou outros usos não potáveis, é possível diminuir significativamente a demanda por água tratada, o que reduz os custos operacionais e o impacto ambiental do empreendimento. Entretanto, o sistema de reúso também implica em despesas, como aquisição de equipamentos, mão de obra para instalação, serviços de manutenção e consumo energético para operação de bombas e sistemas de filtragem adicionais, caso necessários.

Com base nos resultados da caracterização do efluente, foi definido um fluxograma de tratamento que garanta a conformidade com as normas regulatórias. O fluxograma permite que haja a identificação das operações unitárias do sistema e facilita a visualização dos investimentos e custos operacionais.

Para levantar os custos de materiais, manutenção e mão de obra, foi utilizado como referência o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Nos casos em que determinados itens não estavam especificados no SINAPI, foram realizados orçamentos diretamente em lojas de materiais de construção e empresas de serviços.

O SINAPI, elaborado em parceria entre o IBGE e a Caixa Econômica Federal (IBGE, 2016), é um sistema de pesquisa que fornece dados de custos e índices voltados à construção civil. Por meio de pesquisas com fornecedores e empresas do setor, o sistema compila valores de insumos, materiais e salários pagos no setor, principalmente voltado à construção civil e ao setor habitacional (Schroeder, 2016).

Com a finalidade de calcular a economia em comparação com a produção de água tratada, visto que o sistema vigente no empreendimento é de captação subterrânea, foi-se verificado, sob os mesmos termos, a quantia investida mensalmente no tratamento da água.

Para calcular o gasto de energia, tanto ETE proposta para o reúso, quanto para a ETA, foi-se verificado junto a companhia de energia que fornece o recurso em Alagoas, Equatorial, o valor da tarifa do KWh. Constatado o valor de R\$0,86KWh, o valor de energia gasto por aparelho é calculado pela Equação 5.

$$E \text{ energia} = 0,86 \times P \times H \times D \times M \quad \text{Equação 5}$$

Em que: P é a potência do aparelho em KW; H equivale as horas de funcionamento; D equivale aos dias de funcionamento e M equivale aos meses de funcionamento.

Para calcular a economia gerada pelo sistema, foram comparados os custos do tratamento de água em dois cenários: com e sem o reúso. Considerou-se que, ao aplicar o reúso de efluente para irrigação, o volume de água tratada necessário seria reduzido proporcionalmente, resultando em uma diminuição nos gastos totais com o tratamento de água.

Com base nesse contexto, este trabalho avalia a viabilidade econômica do reúso de efluente tratado, utilizando métodos quantitativos de análise, como o VPL e o Período de Retorno do Investimento (PRI). Esses métodos permitirão estimar os benefícios financeiros do projeto em relação aos custos de implementação e manutenção, fornecendo uma análise completa sobre a viabilidade e o potencial retorno do investimento.

O VPL é amplamente reconhecido como uma das ferramentas mais eficazes para avaliação de investimentos, sendo recomendado como padrão de análise devido à sua capacidade de considerar todos os fluxos de caixa do projeto e trazê-los ao valor presente. Esse método é valorizado, segundo Jaffe *et al.* (2008), por superar as limitações de outras técnicas, as quais frequentemente ignoram a importância de contabilizar os fluxos de caixa

integrais e aplicar uma taxa de desconto apropriada.

Denominado também como método de avaliação de fluxos de caixa descontados, o VPL permite comparar o investimento inicial com os retornos financeiros esperados ao longo do tempo, todos ajustados para o valor presente, o que facilita uma visão precisa do ganho líquido do projeto. Dessa forma, ele considera o retorno potencial do investimento descontando uma taxa específica, conhecida como Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que representa o retorno mínimo aceitável pelo investidor. Esse ajuste assegura que o valor atualizado dos fluxos de caixa reflita a realidade econômica do investimento, tornando-o mais confiável para a tomada de decisão (Balian & Brom, 2007).

A equação do VPL é descrita na equação abaixo:

$$VPL = \sum \frac{FC_j}{(1+TMA)^j} - I_0 \quad \text{Equação 6}$$

Em que: I_0 = investimento inicial; FC = fluxo de caixa líquido, TMA = a taxa de desconto ou atratividade e VPL= valor líquido resultante.

A tomada de decisão baseada no VPL está diretamente ligada ao seu valor numérico. Se o VPL for positivo, o projeto é considerado viável; se for igual a zero possui uma viabilidade neutra, cobrindo apenas o investimento inicial, sem lucro adicional e se o VPL for negativo, o projeto é inviável, por não trará retorno sobre o investimento mínimo (Balian & Brom, 2007).

Além do método VPL, também foi aplicado o Período de Retorno do Investimento, também conhecido como “*payback*”. É um método simples e objetivo que estima o tempo necessário para que o valor investido seja totalmente recuperado, de forma que gere lucro. Apesar de não ser ideal para decisões de grande impacto financeiro, apresenta uma série de sensibilidades, Balian & Brom (2007) observam que o *payback* descontado pode ser uma ferramenta auxiliar ao VPL, complementando a análise de viabilidade do investimento. O cálculo do período de retorno descontado pode ser representado pela seguinte fórmula (Samanez, 2009):

$$I_0 = \sum_{t=1} \frac{FC_t}{(1+TMA)^t} \quad \text{Equação 7}$$

Em que: I_0 = investimento inicial; FC = fluxo de caixa líquido esperado para o tempo “t” em reais, TMA = a taxa de desconto ou atratividade e T= período em anos para o retorno

do investimento descontado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Determinação de vazões

Para a estimativa da vazão de efluente gerado, adotou-se o valor de consumo médio de água obtido nos hidrômetros do empreendimento, ajustado pelo coeficiente de retorno de esgoto, conforme recomenda a NBR 9649/1986. Esse processo permitiu quantificar a vazão de esgoto gerada, considerando o volume de água utilizado em atividades que efetivamente resultam em efluente direcionado à ETE.

A Tabela 5 apresenta os valores captados diariamente em cada um dos poços de maneira individual, com destaque para o Poço 03, que registrou a maior vazão média diária (156,34 m³/dia), enquanto o Poço 01 apresentou a menor vazão diária (70,86 m³/dia). A soma das captações dos quatro poços resultou em uma vazão total de 490,06 m³/dia, o que é representativo do volume de água utilizado no empreendimento, com a maior parte destinada a processos internos e consumo de água potável.

Tabela 5 – Valores captados pelos poços.

Dados de captação diária por poço			
Identificação	Q med captada (m ³ /h)	Tempo de bombeamento (h/dia)	Qméd dia (m ³ /dia)
Poço 01	5,90	12	70,86
Poço 02	6,43	20	128,54
Poço 03	7,82	20	156,34
Poço 04	6,72	20	134,33
Vazão total (m³/h)	26,87	Vazão (m³/dia)	490,06

Fonte: Autora, 2024.

Com base nos dados coletados entre março e setembro de 2024 (Tabela 6), o consumo médio total de água do empreendimento foi determinado em 484,92m³/dia, estando dentro da média de captação por poço registrada na Tabela 5. Após subtrair a água utilizada para atividades de irrigação (150 m³/dia), cuja demanda não gera efluente para a ETE, obteve-se uma vazão média de água utilizada equivalente a 334,92 m³/dia, a comparação dos dois valores será a responsável por determinar a economia do sistema. Aplicando a Equação 2,

considerando um coeficiente de retorno de 0,6, tem-se que a vazão de esgoto produzida pelo empreendimento é de 290,95m³/dia. Por fim, para entender a vazão de esgoto que chega na ETE é necessário considerar a água que adentra o sistema por meio das elevatórias, segundo consta a Equação 3, o que sugere uma vazão equivalente a 407,33m³/dia.

A análise mensal revelou uma variação significativa no consumo de água, com o mês de agosto apresentando o maior consumo (547,94 m³/dia), possivelmente relacionado a aumentos na demanda de serviços ou processos. Já o mês de junho teve o menor consumo de água (408,05 m³/dia), o que pode refletir a menor necessidade de água no período, possivelmente devido a condições climáticas ou redução de atividades no empreendimento.

Tabela 6 – Vazões mensais de água e vazão média de esgoto.

Mês	Q empreendimento (m ³ /dia)	Q sem irrigação (m ³ /dia)
MARÇO	507,07	357,07
ABRIL	452,04	302,04
MAIO	445,72	295,72
JUNHO	408,05	258,05
JULHO	542,85	392,85
AGOSTO	547,94	397,94
SETEMBRO	490,75	340,75
Qmed(m³/d)	484,92	334,92
Qmed esgoto na produzido (m³/d)		290,95
Qmed de esgoto na ETE(m³/d)		407,33

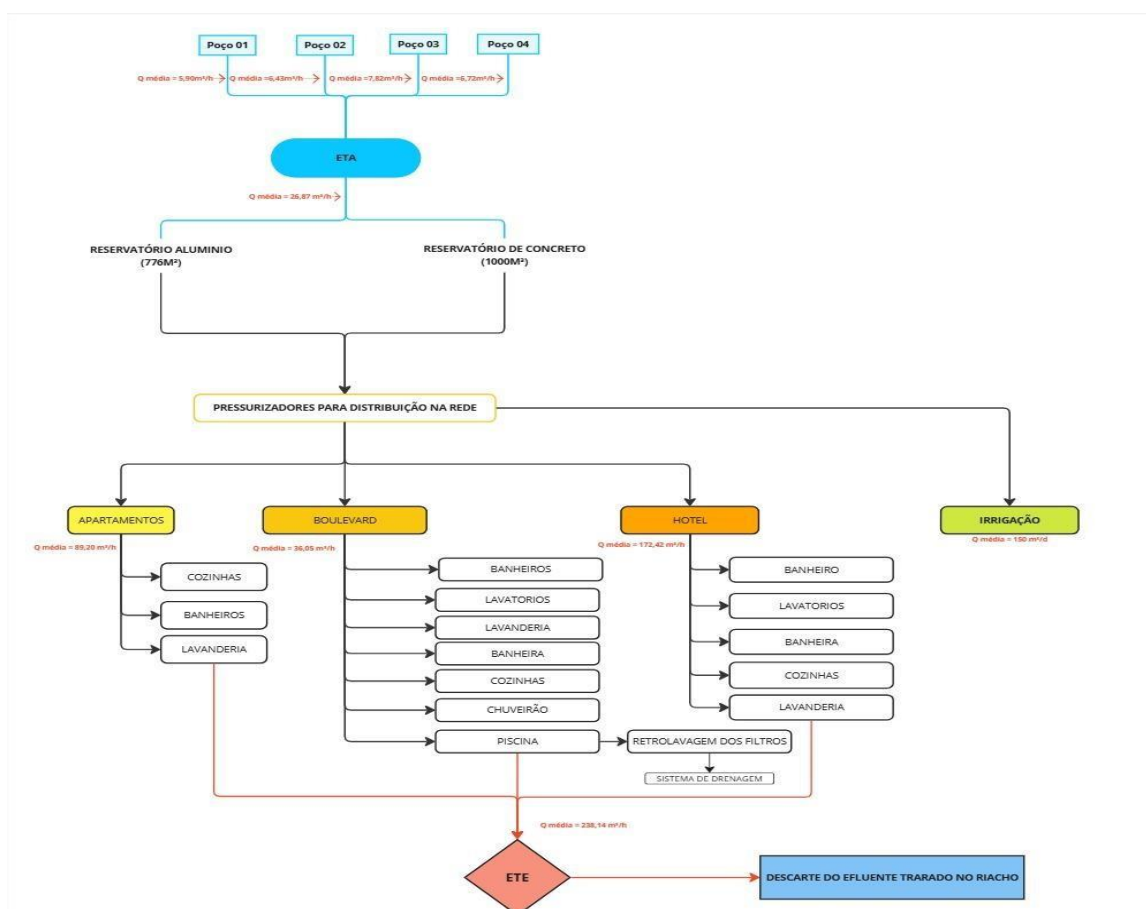
Fonte: Autora, 2024.

5.2 Análise da oferta e demanda de água residuária

Com base na metodologia aplicada, foram obtidos dados detalhados sobre a oferta e demanda de água residuária no empreendimento, os quais possibilitaram uma avaliação precisa da capacidade de reúso e do excedente de efluente tratado. A visita técnica e o mapeamento do fluxo de água permitiram identificar as principais fontes de geração de efluentes e os pontos de consumo com maior potencial para o uso da água residuária. A seguir, são apresentados os resultados dessa análise, incluindo as vazões médias de cada fonte de abastecimento e a demanda de água por setor.

A água captada dos poços passa pela Estação de Tratamento de Água (ETA), cuja vazão média registrada foi de 26,87 m³/h. Esse volume é então distribuído para dois reservatórios: um de concreto com capacidade para 1000 m³ e outro de alumínio com 776 m³. A partir desses reservatórios, a água é pressurizada e distribuída para as diversas unidades de consumo no empreendimento, conforme detalhado no fluxo, demonstrado na imagem abaixo.

Figura 3 - Diagrama de blocos para indicação dos fluxos de água e efluente



Fonte: Autora, 2024.

Esses valores foram obtidos com base no histórico de consumo de água e fornecem uma base sólida para estimar o volume de efluente disponível para reúso. É importante destacar que, conforme observado no levantamento, a demanda total fixa de água residuária destinada ao reúso no empreendimento (principalmente para irrigação) é significativamente menor do que a oferta de efluente tratado disponível.

5.3 Comparação entre oferta e demanda de uso

A comparação entre a oferta de efluente tratado e a demanda de reúso revela um

excedente considerável, já que a demanda expressa pelo empreendimento equivale a 150m³/dia e a oferta da estação é de 407,33m³/dia, em média. A capacidade de reúso estabelecida pelo histórico de irrigação e demais usos não potáveis é menor que o volume de efluente gerado, confirmando a necessidade de alternativas de destino para o excedente. Este excedente foi direcionado, em conformidade com as diretrizes de outorga, para o descarte em um corpo hídrico próximo ao empreendimento.

Esses resultados indicam que o sistema atual tem o potencial para atender à demanda de reúso e ainda suportar expansões de consumo em outras áreas do empreendimento. A análise também sugere a possibilidade de integrar o efluente em usos adicionais, como em processos industriais não críticos ou na limpeza de áreas externas, dependendo de adequações adicionais na qualidade do efluente tratado.

Dado o excedente significativo de água residuária, uma expansão nas aplicações de reúso poderia ser explorada. Sugere-se a avaliação de usos alternativos ou complementares que possam agregar valor e reduzir o impacto ambiental do descarte. Entre as alternativas estão o uso do efluente tratado para fins de limpeza e irrigação de novos espaços, além de usos em processos operacionais que não exigem água potável.

5.4 Caracterização qualitativa do efluente

Para a realização do estudo foram analisados laudos de monitoramento da qualidade do efluente oriundo da ETE em questão obtidos nos intervalos de janeiro a julho de 2024, totalizando 07 laudos. O objetivo principal dessa caracterização é avaliar o efluente na saída, na tentativa de entender se o efluente tratado condiz com o que é solicitado pelas normas NBR17076/2024 e NBR 16783/2019, sendo os parâmetros observados determinados por elas.

Apesar dos parâmetros analisados para a caracterização seguirem o que solicita a norma, nesta pesquisa, eles estão condicionados ao monitoramento rotineiro da ETE que atualmente visa apenas o lançamento de efluentes. Desta forma, os parâmetros tratados nesta seção incluem DBO, pH, turbidez coliformes termotolerantes, cloro residual, todos essenciais para entender a carga poluente do efluente e garantir que o sistema de tratamento esteja atendendo aos padrões exigidos pela legislação ambiental.

Desta forma, a pesquisa possui limitações na avaliação do efluente quanto aos valores de Carbono Orgânico Total e Sólidos Dissolvidos Totais. Para a quantificação de *E. Coli*, foi

utilizada a relação proposta por Cavalcanti (1999), que indica um percentual de 95% de *E. Coli* no total da concentração de Coliformes Termotolerantes.

A fim de tratar melhor os dados obtidos, serão considerados para fins deste estudo a média dos valores obtidos para cada parâmetro. Este estão apresentados abaixo na Tabela 7.

Tabela 7 - Análise físico-química e microbiológica do efluente.

Parâmetro	Concentração média
DQO (mg/L)	305,67
DBO (mg/L)	94,83
Cloro residual livre (mg Cl em Cl ₂ /L)	5
Coliformes termotolerantes (UFC/100ml)	50,35x 10 ⁴
Turbidez (NTU)	77,98
pH	7,08

Fonte: Autora, 2024.

5.4.1 DBO

A concentração média de DBO para o efluente que sai da estação de tratamento foi de 94,83 mgO₂/L, valor dentro do que é solicitado pelas legislações de lançamento de esgoto, mas ainda acima do que é esperado para fins de reúso. A relação entre a DBO e a DQO do efluente gerado pelo empreendimento foi calculada e apresentou um valor médio de 3,22. Esse valor está significativamente acima da faixa típica observada para esgotos domésticos brutos, que varia de 1,7 a 2,4 (Von Sperling, 2005). De acordo com o autor, efluentes com uma relação DQO/DBO menor que 2,5 possuem uma elevada fração biodegradável, sugerindo um bom potencial para tratamento biológico eficiente.

Já segundo Metcalf e Eddy (1991), a relação DQO/DBO para águas residuárias típicas varia entre 1,3 e 2,5, reforçando a ideia de que efluentes com valores acima de 2,5 tendem a ser menos biodegradáveis e podem exigir tratamentos adicionais ou mais intensivos, como processos físico-químicos ou tratamentos complementares.

No caso deste efluente, a relação DQO/DBO de 3,22 sugere que a carga orgânica presente é menos biodegradável do que os esgotos domésticos típicos, o que pode indicar uma maior presença de matéria orgânica recalcitrante, menos sujeita à decomposição biológica.

Isso pode ser atribuído a particularidades dos efluentes gerados em hotéis, como a contribuição significativa de produtos químicos de limpeza, detergentes e outros compostos usados em atividades operacionais, que possuem estruturas químicas mais resistentes à degradação natural.

Embora a relação em questão esteja ligeiramente mais alta que a maioria dos valores encontrados na literatura, ainda indica uma possível adequação para tratamento biológico, mas com a necessidade de processos complementares.

5.4.2 pH e Cloro residual

O efluente tratado apresenta um pH médio de 7,08, o que indica que está dentro da faixa considerada neutra, adequada para a maioria dos processos biológicos de tratamento de esgoto e para o lançamento em corpos d'água. O pH está dentro dos limites recomendados pela legislação ambiental, que varia geralmente entre 6 e 9, e não apresenta riscos de acidificação ou alcalinização excessiva, fatores que poderiam comprometer a eficiência do tratamento ou afetar negativamente o ambiente receptor.

A concentração média de cloro residual livre registrada foi de 5,0 mg/L, um valor elevado que sugere uma desinfecção potencialmente eficaz. Contudo, a presença de coliformes termotolerantes no efluente final indica que o processo de desinfecção não atingiu a eficiência desejada. O cloro residual, além de ser um parâmetro relevante para avaliar a eficácia do tratamento, encontra-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação tanto para lançamento quanto para reúso, demonstrando conformidade com as normas vigentes.

5.4.3 Turbidez

A turbidez do efluente tratado foi registrada com uma concentração média de 77,98 NTU indicando uma presença significativa de partículas suspensas na água. O valor obtido sugere que o processo de tratamento, embora eficiente em outros parâmetros, não foi completamente eficaz na remoção dos sólidos suspensos. A alta turbidez pode comprometer a eficiência de processos subsequentes de desinfecção, uma vez que as partículas suspensas podem atuar como um escudo para os microrganismos patogênicos, dificultando sua inativação pelo cloro residual. (Souza *et al.* 2000).

5.4.4 Coliformes termotolerantes e *E. Coli*

Os coliformes são um conjunto de bactérias gram-negativas, não formadoras de esporos, que podem ser tanto aeróbias quanto anaeróbias facultativas. Essas bactérias, que não apresentam atividade oxidativa e possuem a capacidade de crescer na presença de sais biliares ou outros compostos ativos de superfície, os quais inibem o crescimento de outras espécies. Além disso, os coliformes fermentam a lactose, resultando na produção de aldeído, ácido e gás, quando incubados a 35 °C por um período de 24 a 48 horas. O grupo abrange diversos gêneros, entre os quais se destacam *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* e *Klebsiella* (Silva *et al.*, 1997).

Em análises bacteriológicas rotineiras, observa-se que cerca de 90% dos isolados são bactérias Gram-negativas, sendo que 95% pertencem à família *Enterobacteriaceae*, com destaque para *Escherichia coli*. Essas bactérias são capazes de desencadear tanto distúrbios gastrointestinais quanto infecções extra intestinais em humanos. Conforme dados da OMS estima-se que ocorram globalmente aproximadamente um bilhão de casos de diarreia por ano, afetando especialmente crianças menores de cinco anos e apresentando elevada taxa de mortalidade (BRASIL, 2002).

A concentração de coliformes termotolerantes no efluente tratado foi de 800.300 UFC/100 mL, valor muito elevado mesmo para uma situação de lançamento de efluentes, de acordo com a CONAMA 430/2015. O valor calculado de *E. Coli* para essa concentração é equivalente a $47,53 \times 10^4$ NPM/L, seguindo Equação 4.

De maneira geral, essa concentração indica a necessidade de um ajuste no sistema de desinfecção, ou uma revisão do tratamento de maneira geral, fazendo referência ao alto teor de sólidos presentes na água residuária, para que o reúso possa acontecer.

5.4.5 Análise de conformidade e melhorias necessárias para o efluente final

A análise dos parâmetros do efluente gerado no empreendimento revela que, apesar do tratamento realizado, os valores obtidos para alguns parâmetros de qualidade ainda não atendem aos limites estabelecidos pela NBR 16.783, especialmente para o reúso de água.

Tabela 8 – Análise comparativa das concentrações.

PARÂMETROS	CONCENTRAÇÃO OBTIDA	LIMITES DA NBR 16.783
E. Coli (NMP/100ML)	47,53 x 10 ⁴	≤ 200 NMP/100mL
DBO (mg O ₂ /L)	94,83	≤ 20
pH	7,08	5 – 9
Sólidos dissolvidos totais (mL/L)	--	≤ 2.000
Turbidez (NTU)	77,98	≤ 5
Cloro residual livre (mg Cl em Cl ₂ /L)	5,0	0,5 a 5,0

Fonte: Autora, 2024.

A partir da Tabela 8, observa-se que o parâmetro *E. coli* apresenta uma concentração consideravelmente superior ao limite permitido pela NBR 16.783, que estabelece o valor máximo de 200 NMP/100 ML, para o reúso de efluentes. Esse resultado indica que o processo de desinfecção do efluente não foi completamente eficaz, necessitando de aprimoramentos no tratamento microbiológico. Além disso, a DBO, com valor de 94,83 mg O₂/L, ultrapassa em grande margem o limite estabelecido pela norma, o que sugere que o efluente ainda contém uma carga orgânica significativa, que comprometeria a qualidade da água para o reúso.

A turbidez também apresenta um valor elevado de 77,98 NTU, bem acima do limite permitido de 5 NTU, o que indica a presença de sólidos suspensos que podem interferir nos processos de desinfecção e no uso da água para fins específicos. Embora o pH de 7,08 esteja dentro da faixa recomendada de 5 a 9, e o cloro residual livre de 5 mg/L se encontre dentro do intervalo aceitável (0,5 a 5,0 mg/L), ambos os parâmetros ainda podem ser otimizados para garantir um efluente de melhor qualidade.

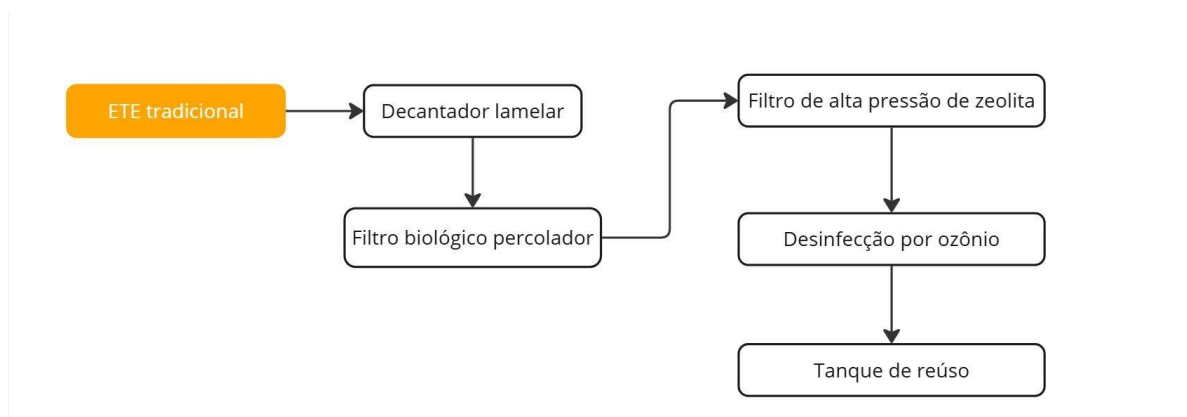
5.4.5.1 Tratamento adicional proposto

Diante dos resultados obtidos, é evidente que o efluente necessita de refino adicional para atender aos requisitos de qualidade exigidos para seu reúso. Para isso, recomenda-se a implementação tecnologias mais adequadas para tratar a vazão de efluente destinada ao reúso de forma mais específica.

Todas as tecnologias sugeridas nesta seção são pré-moldadas e por isso são escolhidas a partir da vazão de tratamento. A vazão deste efluente destinado ao reúso com irrigação é igual a 6,25m³/h.

A Figura 4 ilustra o diagrama do fluxograma sugerido.

Figura 4 – Diagrama de fluxo do tratamento proposto.



Fonte: Autora, 2024

Após o tratamento na ETE tradicional, recomenda-se que o efluente destinado ao reúso passe por um decantador lamelar de alta taxa, operando com uma vazão de $6 \text{ m}^3/\text{h}$ e um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 0,96 horas. O TDH, determinado pela relação entre o volume do equipamento e a vazão do efluente, considera uma vazão média de $150 \text{ m}^3/\text{dia}$ (equivalente a $6,25 \text{ m}^3/\text{h}$), enquanto a capacidade operacional do decantador é de $6 \text{ m}^3/\text{h}$, garantindo a eficiência do processo.

Os decantadores de alta taxa possuem uma taxa de aplicação cerca de 12 vezes maior que os decantadores convencionais reduzindo o custo de produção e a produção de lodo (Cunha, 1989). No caso da descarga de fundo, é sugerido que ela aconteça por pressão hidrostática, de forma que não necessite de bomba.

Em seguida, passa por um sistema de filtração em série, sendo o primeiro o filtro biológico percolador de 5 m^3 (TDH = 0,8h), com o objetivo de reduzir a carga orgânica remanescente no efluente do meio do tratamento biológico; e o segundo um filtro de alta pressão de $6 \text{ m}^3/\text{h}$ (TDH = 0,96h), recheado com Zeólita a fim de complementar a redução de sólidos suspensos que ainda possam estar presentes no efluente. Por fim, o efluente passa por um processo de desinfecção por ozônio. Um agente desinfetante muito eficaz, que além de atuar na redução de patógenos, pode contribuir com a redução da turbidez, atuando como um coagulante natural.

De maneira geral, propõe-se ainda a reativação completa do filtro aeróbio submerso que será responsável por uma melhor entrega do efluente final da ETE principal, reduzindo o teor de sólidos suspensos no efluente e, possivelmente, influenciando na eficiência da

desinfecção, visto que a relação entre os dois processos já foi indicada.

5.4.6 Análise econômica da implantação de um sistema de reúso

Dentro do que foi sugerido como melhorias para o sistema, foi estabelecido uma avaliação econômica da implantação, fazendo uso dos métodos VPL e “Payback”, considerando os custos e benefícios associados. Esses métodos foram escolhidos por fornecerem uma visão abrangente sobre o potencial econômico do projeto, contribuindo para a fundamentação da decisão de implantação com base em critérios de retorno financeiro e viabilidade a longo prazo.

Essa análise econômica visa embasar as decisões de implementação, considerando tanto os aspectos de sustentabilidade financeira quanto os benefícios esperados com as melhorias propostas e os resultados obtidos estão detalhados nesta seção.

5.4.7 Levantamento de custos

O primeiro passo no desenvolvimento deste tópico foi verificar o custo de operação da estação de tratamento de água e de cada operação unitária sugerida, desde o investimento inicial até a manutenção no decorrer dos anos.

Para a composição dos custos foi utilizado o documento do SINAP, desde a determinação de mão de obra como os outros materiais. Em caso de inexistência no documento, foi realizada uma busca com fornecedores e estabelecido um preço a partir de orçamentos. A tarifa de energia é imposta pela Equatorial Alagoas e está custando R\$0,86/KWh e a semana de trabalho foi definida com 44 horas.

A estação de tratamento de água do empreendimento é simples, contendo como etapa de tratamento um filtro ascendente, um filtro de alta pressão e a desinfecção por cloro. Por isso, para ela só foram verificados os gastos com energia de funcionamento das bombas e com cloro. O tratamento foi quantificado em dois cenários: sem reúso e com reúso (Tabela 9).

Tabela 9 – Custo do tratamento de água com e sem reúso.

Processos	Custo anual sem reúso	Custo anual com reúso	Fonte
Bombas captação	R\$ 13.730,94	R\$ 13.730,94	Equatorial
Bomba distribuição filtro	R\$ 27.437,03	R\$ 22.864,19	Equatorial
Bomda distribuição	R\$ 5.517,23	R\$ 5.517,23	Equatorial
Bomba dosadora de cloro	R\$ 432,43	R\$ 360,36	Equatorial
Cloro 12% (20L)	R\$ 8.400,00	R\$ 4.200,00	Orçamento
Operação	R\$ 26.581,68	R\$ 26.581,68	SINAP
Consultoria	R\$ 84.000,00	R\$ 84.000,00	Orçamento
Valor total	R\$ 166.099,31	R\$ 157.254,40	

Fonte: Autora,2024

Da mesma forma foi feito para o tratamento adicional proposto. Foi identificado os processos unitários e orçado para cada um deles o custo correspondente. É valido ressaltar que o empreendimento já conta com toda a estrutura específica para a irrigação, de forma que não será necessário construir ou modificar nenhuma das estruturas, o empreendimento já conta também com todo o sistema de ozônio, não sendo necessário fazer nenhum investimento relacionado ao sistema de desinfecção (Tabela 10).

Tabela 10 – Custo do sistema de reúso.

Custo do sistema de reúso - tratar o efluente de irrigação (Q=6,25m³/h)		
DADO	Valor anual	Fonte
Investimento inicial		
Decantador lamelar	R\$ 33.830,00	Orçamento
Lavador de alta pressão	R\$ 500,00	Orçamento
Controle de ozonio	R\$ 1.000,00	Orçamento
Mão de obra instalações	R\$ 3.536,20	Sinap
Instalações	R\$ 998,88	Sinap
Filtro anaeróbio	R\$ 5.000,00	Orçamento
Filtro de alta pressão (6m³)	R\$ 5.870,00	Orçamento
Reservatório de 7000L	R\$ 3.487,38	Sinap
Total investimento inicial	R\$ 53.223,58	
Manutenção	\$/unitario	
Difusores de ozonio	R\$ 300,00	Orçamento
Munitenção de eletrodos	R\$ 200,00	Orçamento
Energia limpeza decantador	R\$ 87,84	Equatorial
Enegia diária ozonio	R\$ 2.982,29	Equatorial
Manutenção do filtro	R\$ 2.000,00	Orçamento
Mão de obra	--	
Total do gasto por ano	R\$ 3.570,12	

Fonte: Autora, 2024.

5.4.8 Economia de água

No empreendimento em questão, o consumo de água sem considerar a utilização do reúso é de aproximadamente 484,92m³/dia. Com a utilização da água residuária para a irrigação é possível economizar 31% de água potável. A partir disso, calcula-se o valor desembolsado com o custo do tratamento em dois cenários: com reúso e sem reúso. (Tabela 9).

Desta forma, observa-se que a economia anual com o reúso é de R\$ 8844,91 reais, o equivalente a R\$ 737,08 por mês.

5.4.9 Viabilidade econômica

Para a análise econômica, foi considerada uma TMA igual ao rendimento médio da

taxa Selic de 2024, fixada em 10,60%, de acordo com dados do Banco Central (BRASIL, 2024). A avaliação do projeto foi conduzida pelo método do VPL, que exige a definição de um período de análise para verificar a viabilidade econômica do investimento ao longo do tempo. Como é prática comum, utilizou-se a vida útil do sistema como referência, estabelecendo-se um período de 20 anos para esta análise.

Os valores estimados para o projeto de reúso estão detalhados na Tabela 11. No projeto, os custos anuais de energia, manutenção e operação somam R\$ 3.570,12. Adicionalmente, a cada dois anos, há uma despesa extra de R\$ 2.200,08 referente à substituição do recheio do filtro, elevando as despesas anuais para R\$ 5.770,20 nesses anos específicos. Assim, o fluxo de caixa líquido do sistema, que reflete a combinação de despesas e economias geradas, é de R\$ 5.274 nos dois primeiros anos e de R\$ 3.274 nos anos subsequentes com o custo adicional do filtro.

Essas estimativas econômicas são fundamentais para determinar o retorno do investimento e avaliar a sustentabilidade financeira do sistema de reúso no longo prazo.

Tabela 11 – Parâmetros para cálculo de análise econômica do projeto.

Parâmetro	Valor
Investimento inicial	R\$ 53.223,58
Despesas anuais	R\$ 5.570,12
Economia anual	R\$ 8.844,91
Taxa mínima de atratividade (ao ano)	11%
Payback descontado	11,37 anos
Valor Presente líquido	R\$ 38.384,72

Fonte: Autora, 2024.

Conforme os resultados obtidos com a análise econômica a implantação do sistema de reúso apresentou razoável atratividade financeira, sendo capaz de cobrir os gastos iniciais e dar retornos mínimos exigidos pelo investidor, visto que o VPL deu um valor positivo.

O período de retorno do investimento foi de 11,37 anos, o que significa que serão necessários aproximadamente 12 anos para que o investimento se recupere.

6 CONCLUSÕES

Este estudo verificou o potencial de reúso de efluente líquido de uma ETE e a viabilidade econômica do sistema a ser implementado em um complexo hoteleiro no município de Maceió Alagoas e tem como consumo médio diário de água 484m³/dia. Foram analisados os gastos com a produção e consumo de água pelo empreendimento e a economia que ele sofreria se aplicasse um sistema de reúso para suprir suas atividades de irrigação.

A partir desse princípio foi possível estimar o consumo e geração de água e esgoto no empreendimento associando as informações dos hidrômetros e medidores aos métodos convencionais de cálculo, fazendo uso do coeficiente de retorno estabelecido pela norma, desconsiderando as variações, já que a vazão que é destinada a irrigação é fixa.

O efluente possui um potencial para reúso; de maneira geral ele é um efluente que se enquadra nos padrões de lançamento, mas precisa de ajustes principalmente na etapa de desinfecção, para reduzir bruscamente a quantidade de coliformes termotolerantes em sua composição. Quanto a normativa do reúso, além da questão patogênica, faz-se necessário atenção a quantidade de partículas sólidas dissolvidas no efluente, que implicam em um alto teor de turbidez, bem como nos valores de DBO.

Na avaliação financeira, foi considerado os custos operacionais da ETE de reúso, desde a saída do efluente da ETE tradicional, até a distribuição. O sistema de reúso mostrou-se vantajoso financeiramente, com um período de retorno de 11,37 anos e um VPL de R\$ 38.384,72 ao longo de 20 anos.

Dessa forma, os sistemas se apresentam economicamente viáveis, embora o retorno financeiro aconteça lentamente. Além da viabilidade econômica, as implicações ambientais e as contribuições desses sistemas para a sustentabilidade ampliam sua relevância, reforçando a importância de soluções de reúso e aproveitamento de recursos hídricos para uma gestão ambiental responsável.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, G. O. *et al.* Bioremediation, biostimulation and bioaugmentation: a review. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*, v. 3, n. 1, p. 28-39, 2015
- Agência Gov (ebc.com.br). Petrobras assina contrato para fornecimento de água de reúso ao Gaslub. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202310/petrobras-assina-contrato-para-fornecimento-de-agua-de-reuso-ao-gaslub>.
- A. H. R.; NUNES, C. C.; CORSEUIL, H. X. Biorremediação de águas subterrâneas impactadas por gasolina e etanol com o uso de nitrato. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, vol. 14, n. 2, p. 265-274, 2009.
- ALMEIDA, R. G. Aspectos legais para a água de reúso. **VÉRTICES**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 31-43, maio 2011.
- ALRESHEEDI, M. T. *et al.* Sustainability of a Low-Cost Decentralized Treatment System for Wastewater Reuse: resident perception-based evaluation for arid regions. **WATER**, [S.L.], v. 15, n. 19, p. 3458, 30 set. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w15193458>.
- ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. *Eclética Química*, Campinas, p.17-43, 2010. Disponível em: Acesso em: 12 jul. 2015
- ANA. Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012/ Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2012
- ANGELUCCI, D. M.; TOMEI, M. C. Ex-situ bioremediation of chlorophenol contaminated soil: Comparison of slurry and solid-phase bioreactors with the two-step polymer extraction–bioregeneration process. **J Chem Technol Biotechnol**, 91:1577–84, 2016.
- ARAÚJO, J. **Pesquisadores do INSA/MCTI realizam visitas técnicas para implantação da Tecnologia SARA (Saneamento Ambiental e Reúso de Água) em oito estados do Semiárido**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/assuntos/noticias/pesquisadores-do-insa-mcti-realizam-visitas-tecnicas-para-implantacao-da-tecnologia-sara-saneamento-ambiental-e-reuso-de-agua-em-oito-estados-do-semiarido>.

Acesso em: 03 mar. 2023.

ARAÚJO, C. P. More em um cartão postal: a expansão imobiliária turística no litoral norte de Maceió (AL). In: V Colóquio Internacional sobre o comércio e a cidade: uma relação de origem, 2016, São Paulo. V **Colóquio Internacional sobre o comércio e a cidade: uma relação de origem**, 2016. p. 1-13. Disponível em: <<http://www.labcom.fau.usp.br/wp-content/uploads/2016/04/045-cris-tina.pdf>>.

ASANO, T.; BURTON, F. L.; LEVERENZ, H. L.; TSUCHIHASHI, R;

TCHOBANOGLOUS, G. **Water reuse: issues, technologies and applications**. 1ª ed. New York: McGraw-Hill Education, 2007. 1503 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO

(AESBE). Água de reúso é utilizada para irrigação de área verde em hotel no litoral norte baiano. Disponível em: <https://aesbe.org.br/novo/agua-de-reuso-e-utilizada-para-irrigacao-de-area-verde-em-hotel-no-litoral-norte-baiano/>. Acesso em: 29 nov. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9649**: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13969**: 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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 17076 /2024**: Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte ó Requisitos. Primeira edição:

24/06/2024. ABNT, 2024. 92p

AYOUB, J. P. (Org.). **Desvendando a engenharia: sua abrangência e multidisciplinaridade**. Guarujá, SP: Científica Digital, 2021. 1 recurso online. ISBN 978-65-89826-13-2. DOI 10.37885/978-65-89826-13-2

BALIAN, J. E. A.; BROM L. G. Análise de investimentos e capital de giro: conceitos e aplicações. São Paulo: **Saraiva**, 2007. 132 p

BENTO, F. M.; CAMARGO, F. A. O.; OKEKE, B.; FRANKENBERGER-JÚNIOR, W. T.

Bioremediation of soil contaminated by diesel oil. *Brazilian Journal of Microbiology*, São Paulo, v. 34, supl. 1, p. 65-68, 2003.

BEZERRA, V. G. S. **ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA NA CIDADE DE**

MOSSORÓ-RN. 2018. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2018.

BRASKEM. **Braskem economiza R\$ 154 milhões com tratamento e reúso de água**. Braskem Principal, 10 jun 2015. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/Braskem-economiza-R-154-milhoes-com-tratamento-e-reúso-de-agua>.

BRASKEM. Press Releases - Foz do Brasil e Sabesp inauguram o maior projeto de água de reúso do Brasil. <https://acquabrasilsp.com.br/servicos/reúso/>. 29 nov. 2012. Disponível em: <https://acquabrasilsp.com.br/servicos/reúso/>.

BRASIL. Banco Central do Brasil. Site institucional. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br>. Acesso em: 05 nov 2024.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 16 maio 2011. Seção 1, p. 89.

BRASIL. Centro de Vigilância Sanitária - Divisão de Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar. Manual das Doenças Transmitidas por Alimentos: *Escherichia coli* O157-

enterohemorrágica. São Paulo: **Centro de Vigilância Sanitária**, 2002.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). **Resolução CNRH nº 54, de 9 de março de 2006**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

BRASIL. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento-SNIS. Informações para planejar o Esgotamento Sanitário: Diagnóstico SNIS-AE 2019. Brasília: SNIS, 2020

BURATINI, S. V. Biodegradação. In. ZAGATTO, P.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia aquática, princípios e aplicações**. 2 ed. São Carlos: RiMa, p. 89-116, 2008.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAP: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Brasília, DF: Caixa Econômica Federal, 2022. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br>. Acesso em: 05 set. 2024.

CAMPOS, J. R. **TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS POR PROCESSO ANAERÓBIO E DISPOSIÇÃO CONTROLADA NO SOLO**. 1 ed. Rio de Janeiro: 1999, ABES – PROSAB. 464 p.

CARLA LEGNE (org.). **FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR: UMA OPÇÃO ATRAENTE NO TRATAMENTO DE ESGOTO**. 2021. Revista TAE. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/706/filtro-biologico-percolador-uma-opcao-atraente-no-tratamento-de-esgoto>. Acesso em: 03 mar. 2024.

CAVALCANTI, V. R.; FARIA, G. M G; COSTA, V. R.; SILVA, L. G. O.; MOURA, L. R.D. Empreendimentos e ações públicas e privadas em Maceió (AL) no início do milênio. **Paisagem e Ambiente**, p. 11-33, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i36p11-33>>.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: reatores anaeróbios**. Vol. 5. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2

CHERNICHARO, C. A. L. *et al.* Tratamento de Esgotos e Produção de Efluentes Adequados a Diversas Modalidades de Reúso da Água. In: PROSAB (Pernambuco) (comp.). **REÚSO DAS ÁGUAS DE ESGOTO SANITÁRIO, INCLUSIVE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO PARA ESSE FIM**. Recife: Abes, 2006. Cap. 3. p. 64-101.

CHERNICHARO, C. A. L. *et al.* **Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 2: Tratamento preliminar, bombeamento e distribuição de vazão.** *Revista DAE*, n. 214, v. 66, Edição Especial, novembro 2018.

CHERNICHARO, C. A. L. *et al.* **Estudos sobre o pós-tratamento de efluentes de reatores UASB através de bi filtros aerados submersos.** In: CONGRESO ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 25, 1996, México. Anais... Ciudad de México – México: AIDIS, 1996. 9 p.

CHOJNACKA, K. Biossorção e bioacumulação – as perspectivas para aplicações práticas. *Environ. Int.* **2010**, 36, 299–307.

COELHO, G. T. F. *et al.* Reúso de águas cinzas: avaliação da viabilidade de implantação do sistema em hotel. 27º Encontro Técnico AESABESP, 2015, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: AESABESP, 2015.

CORNELLI, R.; AMARAL, F. G.; DANILEVICZ, A.M. F.; GUIMARÃES, L. B. M. MÉTODOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS. **REVISTA DE ESTUDOS AMBIENTAIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**, [s. l], v. 16, n. 2, p. 20-36, jul. 2014.

CORRÊA, W. *et al.* Avaliação de desempenho de um filtro biológico Percolador de baixa taxa, em escala plena, como pós-tratamento de reator anaeróbio visando a nitrificação do efluente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XXIII., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais [...]** Curitiba:2019.

COUTINHO, P. W. R.; CADORIN, D. A.; NORETO, L. M.; GONÇALVES Jr, A. C. Alternativas de remediação e descontaminação de solos: biorremediação e fitorremediação. *Nucleus*, v. 12, n. 1, p. 1-10, abr. 2015. DOI: 10.3738/1982.2278.1400.

COSTA, E. S.; BARBOSA FILHO, O.; GIORDANO, G. Reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB): uma abordagem concisa. In: Série Temática: Tecnologias Ambientais. Rio de Janeiro: COAMB/FEN/UERJ, 2014. v. 5, p. 1-121

CUNHA, A. H. N. *et al.* O REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL: a importância da reutilização de água no país. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1225-1248, nov. 2011.

CUNHA, F.H.R. **Estudo do Comportamento Hidraulico e da Eficiencia na Sedimentação de Alta Taxa**. 1989. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Merstre em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

DANTAS, D. L.; SALES, A.; WILCKSON C. Aspectos Ambientais, Sociais e Jurídicos do Reúso da Água. **REVISTA DE GESTÃO SOCIAL E AMBIENTAL**, [S.L.], v. 3, n. 3, p. 04-19, 9 dez. 2009. RGSA- Revista de Gestão Social e Ambiental.
<http://dx.doi.org/10.24857/rgsa.v3i3.173>.

DE LUCA, P.; DE LUCA, P.; CANDAMANO, S.; MACARIO, A.; CREA, F.; NAGY, J.; 2018. Preparation and characterization of plasters with photodegradative action. *Buildings* 8 (9), 122.

ELEKTOROWICZ, M., 1994, Biorremediação de solo argiloso contaminado com petróleo com pré-tratamento, *Tecnologia Ambiental*, Vol. 15, 373-380

FEDERAÇÃO E CENTRO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – FIESP (São Paulo) (org.). **CONSERVAÇÃO E REÚSO DE ÁGUA**: manual de orientações para o setor industrial. São Paulo, 2004. 1 v.

FERNANDES, A. C. A. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA ETE DOM NIVALDO MONTE PARA FINS NÃO POTÁVEIS**: estudo de caso da ETE Mato Grande - Canoas, Rio Grande do Sul. 2018. 23 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

FERNANDES, C. E.; NETO, E. B.; OLIVEIRA, V. C.; FERNANDES, L. I. F. A. **Saneamento Ambiental: Os desafios da estação de tratamento de esgoto do DAIA em Anápolis** (GO). *Brazilian Journal of Development*, v.6, n.7, p.42426-42436, 2020.

FIESP. *Manual de conservação e reúso de água: manual de orientações para o setor industrial*. São Paulo: **Federação das Indústrias do Estado de São Paulo**, 2018.

C. C.; BELLINASO, M. D. L.; MANFIO, G. P. Biorremediação: Aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobioticos. **Biotechnologia Ciência & Desenvolvimento**, n. 34, jan./ jun., 2005

GONÇALVES, R. F.; CHERNICHARO, C. A. Associação em série de reatores UASB e biofiltros aerados submersos para o tratamento secundário de esgoto sanitário. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA e aMbiENTAL, 1997, Ravello, Itália. Anais. Ravello, 1997. p. 175-183

GONÇALVES, R. F. *et al.* Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilme. In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte: [s.n.], 2001. Cap. 4, p. 171-278

GONÇALVES, R. F. *et al.* Reúso de águas cinzas em edificações urbanas: estudo de caso em Vitória (ES) e Macaé (RJ). Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica, v. 3, n. 1, p. 120-131, 2010.

HAMILTON, W.P.; KIM, M.K.; THACKSTON, E.L. 2005. Comparison of commercially available Escherichia coli enumeration tests: implications for attaining water quality standards. Water Res 39:4869-4878

HESPANHOL, I. UM NOVO PARADIGMA PARA A GESTÃO DE RECURSOS

HÍDRICOS. Estudos Avançados, São Paulo, v. 63, n. 22, p. 131-158, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2022: População e Domicílios: Primeiros Resultados*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102011.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2024.

JAFFE, J. F.; ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W. Administração financeira. Tradução: Antônio Zoratto Sanvicente. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 776 p.

JORDÃO, E. P.; PESSOA C. A. **TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS**. 7. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2014. 1087 p.

LEONG, *et al.* Prospects of hybrid rainwater-greywater decentralised system for water recycling and reuse: A review. Journal of Cleaner Production, v.142, p.3014-3027, 2017.

MACEDO, C.R.S *et al.* Estudo do desmatamento através de imagem de satélite: bacia do rio Pratagy em Alagoas. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 1., 2002, SERGIPE. **Anais [...]**. SERGIPE: CPATC-EMBRAPA, 2002.

MAILA, M. P.; CLOETE, T. E. Bioremediation of petroleum hydrocarbons through landfarming: Are simplicity and cost-effectiveness the only advantages? **Rev. Environmental Science Biotechnology**, n. 3, p. 349-360, 2004.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, Hi. F. Reúso de Água. Editora Manole. São Paulo, 2003.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008. FAP-UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142008000200006>.

MARGESIN, R *et al.* Monitoring of bioremediation by soil biological activities. **Chemosphere**, [S.L.], v. 40, n. 4, p. 339-346, fev. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0045-6535\(99\)00218-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0045-6535(99)00218-0)

MARIANO, A. P. Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel. 2006. 162 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2006. Acesso em: 23 jun. 2024

MARIANO, A. P. *et al.* Laboratory study on the biorremediation of dissel oil contaminated soil from a petrol station. **Brazilian Journal of Microbiology**. São Paulo, v. 38, n. 2, p. 346-353, 2007

MARGOLAINE GIACCHINI (Paraná). Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná (org.). **Uso e Reúso da Água**. Curitiba: Crea-Pr, 2016. 28 p.

MAYER, M. C. *et al.* Tratamento de esgoto na zona rural visando ao reúso agrícola no semiárido brasileiro. **Revista DAE**, [S.L.], v. 69, n. 229, p. 104-114, 15 fev. 2021. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.36659/dae.2021.023>.

MELO, P; ALBUQUERQUE, A. A; ARAÚJO, L. L; SOUZA, S. P. L. **Caracterização de área para implementação de Zeis no litoral norte de Maceió-AL**. **Arq.Urb**, [S.L.], n. 33, p. 17-29, 13 abr. 2022. Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Arquitetura e Urbanismo da Universidade São Judas Tadeu. <http://dx.doi.org/10.37916/arq.urb.vi33.489>.

MENDONÇA, S. R. Sistemas sustentáveis de esgoto. São Paulo: Bücherltds, 2016. 68 p.

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

METCALF & EDDY, INC. Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 2003

MISAL, S.A.; LINGOJWAR, D.P.; SHINDE, R.M.; GAWAI, K.R. 2011. Purification and characterization of azoreductase from alkaliphilic strain *Bacillus badius*. *Process Biochem.* 46(6), 1264–1269. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.02.013>.

MONTOYA, *et al.* Simultaneous design of water reusing and rainwater harvesting systems in a residential complex. *Computers & Chemical Engineering*, v.76, p. 104-116, 2015

MOTTA, S. L. Tratamento de esgoto sanitário em biorreator aeróbio de leito submerso. 1995. 102 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Instituto de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995

MORUZZI, R. B. REÚSO DE ÁGUA NO CONTEXTO DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: IMPACTO, TECNOLOGIAS E DESAFIOS. **Olam: Ciência &**

LOBATO, M. B. Sistema de hierarquização de ações de conservação da água em edificações com aplicação do método Electre III. *Ambiente Construído*, v. 6, n. 1, 2006.

LEAHY, J G *et al.* Microbial degradation of hydrocarbons in the environment.

Microbiological Reviews, [S.L.], v. 54, n. 3, p. 305-315, set. 1990. American Society for Microbiology. <http://dx.doi.org/10.1128/mr.54.3.305-315.1990> Tecnologia, Rio Claro, v. 8, n. 3, p. 271, jul. 2008. Disponível em:

https://igce.rc.unesp.br/Home/Departamentos47/planejamentoterritorialegeoprocessamento640/md_rodrigo_artigos_reúso.pdf.

Petrobras e Águas do Rio assinam acordos para implantação dos maiores projetos industriais de reúso de água no Brasil. Agência Petrobras, 21 dez. 2022. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/petrobras-aguas-rio-reúso-agua/>.

PONCE-ROBLES, L, *et al.* WWTP Effluent Quality Improvement for Agricultural Reuse Using an Autonomous Prototype. **Water**, [S.L.], v. 12, n. 8, p. 2240, 9 ago. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w12082240>.

REIS, J. B.; CORDEIRO, L. F. A.; SANTOS, L. A.; SILVA, M. D. Analysis of the impact of technology on wastewater reuse at forum Des. Rodolfo Aureliano. *Revista Ibero Americana*

de Ciências Ambientais, v.13, n.5, p.306-322, 2022

RHYKERD, R. L.; CREWS, B.; MCINNES, K. J.; Weaver, R.W. (1999). Impact of bulking agents forced aeration and tillage on remediation of oil-contaminated soil. *Bioresource Technology*, 67, 279–285.

RYTCHYSKY, J. M. F.; ALMEIDA, C. A. S. M.; CEDRIM, M. B. M. REÚSO DA ÁGUA: uma revisão do ponto de vista legal. **Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 10, n. 1, p. 470-485, maio 2021.

SANTOS, A. S. P.; GONÇALVES, R. F.; MELO, M. C. de; LIMA, M.A. M.; ARAÚJO, B. M. Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e de reúso no Brasil. **SUSTINERE**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 437-462, jul.-dez. 2020.
<http://dx.doi.org/10.12957/sustinere.2020.48976>

SAUTCHUK, C. *et al.* Conservação e reúso da água em edificações. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005. 151 p. WATEREUSE. Glossary. 2019. Disponível em:
<https://watereuse.org/educate/water-reuse-101/glossary/>

SCHAER-BARBOSA, M. *et al.* Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], v. 17, n. 2, p. 17-32, jun. 2014. FAP-UNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1414-753x2014000200003>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/asoc/a/qn7khwN57XZDgYVpPhTDcfN/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 dez. 2023.

SHAH, A.; SHAH, M. Characterisation and bioremediation of wastewater: A review exploring bioremediation as a sustainable technique for pharmaceutical wastewater. *Groundwater for Sustainable Development*, v. 11, p. 100383, 2020. ISSN 2352-801X. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352801X19302607>

SHANNON, M.J.; UNTERMAN, R. (1993) Evaluating bioremediation: distinguishing fact from fiction. *Annual Review of Microbiology* v47. (Annual 1993): pp715(24)

SILVA, M. D.*et al.* Analysis of the impact of technology on wastewater reuse at forum Des. Rodolfo Aureliano. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.5, p.306-322, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.005.0023>

SILVA, M.C.C. **Avaliação Econômico-Financeira de Sistemas de Manejo de Águas Residuárias de Origem Doméstica em Empreendimentos Habitacionais**. 2015. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. I. Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos. São Paulo: Varela, 1997. 295 p.

SILVA J., R. I.; LIMA, J. C.; VILAS BOAS, L. C.; SOUZA, V. C. B.; PEDROSA, V. A. Estimativas de oferta e demanda hídricas no rio Pratagy, utilizando técnicas de regionalização. 2005. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 07 nov. 2024

SOUZA, J. B; SARTORI, L.; DANIEL, L. A. Influência da cor e turbidez na desinfecção de águas de abastecimento utilizando-se cloro e radiação ultravioleta. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., ABES –

Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... São Carlos, SP, 2000. 6 p
SOBRINHO, P. A.; TSUTIYA, M. T. Coleta e transporte de esgoto sanitário. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. 548p.

WEBER, B. D.; SANTOS, A. A. Utilização da Biorremediação como ferramenta para o controle da degradação ambiental causada pelo petróleo e seus derivados. **Engenharia ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 10, n. 1, p. 114-133, 2013.

MARTINS, V. F. Comparação do comportamento hidrodinâmico de reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB) em diferentes escalas. 2013. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

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

VON SPERLING, M. Lodos ativados. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1997. v. 4, 415 p.

VON SPERLING, M. **PRINCÍPIOS DO TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS**. 4. ed. Belo Horizonte: 2014, UFMG. 472 p.

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

ZOUBOULIS, A.; MOUSSAS, P. Groundwater and soil pollution: Bioremediation. In: NRIAGU, J. (Ed.). Encyclopedia of Environmental Health. Burlington: Elsevier, 2011. p.1037 – 1044. ISBN 978-0-444-52272-6.