

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

Marcio Gomes Barboza⁽²⁾

Engenheiro Civil pela UFAL. Mestre e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Titular do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira⁽³⁾

Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (*Campus II - Campina Grande*). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professora Titular do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Samira Nascimento dos Santos⁽⁴⁾

Engenheira Civil pela UFAL. Auxiliar de Engenharia ONETEK Engenharia.

Endereço⁽²⁾: Av. Lourival Melo Mota, s/n – Tabuleiro do Martins - Maceió - Alagoas - CEP: 57072-970 - Brasil- Tel: +55 (82) 32141275 - e-mail: gb.marcio@gmail.com.

RESUMO

A implementação do Saneamento Focado em Recursos surge como uma solução eficaz para preservar o meio ambiente e proteger a saúde pública, ao evitar os impactos adversos do descarte inadequado de resíduos, fezes, urina e águas servidas. Esta abordagem não apenas trata efluentes, mas também promove a reutilização de subprodutos, como lodo, biogás e efluente tratado, desempenhando um papel crucial na gestão responsável dos recursos hídricos. A reutilização da água, que envolve a aplicação de águas residuárias tratadas para diversas finalidades, visa maximizar o aproveitamento da água de reúso, tornando-a segura para usos específicos e contribuindo para a conservação dos recursos hídricos. A adoção de práticas de reúso de água representa um passo significativo em direção à economia circular. Neste contexto, o presente trabalho analisou o potencial de reúso de efluentes tratados provenientes da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Benedito Bentes, em Maceió-AL. A análise foi conduzida através de uma abordagem integrada, tanto quantitativa quanto qualitativa, com o propósito de avaliar a viabilidade e os benefícios do reúso sustentável desses efluentes, contribuindo para a gestão eficiente dos recursos hídricos da região. A metodologia empregada incluiu a descrição detalhada da área de estudo, o levantamento de dados qualitativos e quantitativos sobre o efluente, e a análise comparativa desses dados com a legislação e normas vigentes sobre reúso. Os resultados da análise do efluente tratado na ETE Benedito Bentes destacam um potencial significativo para o reúso não potável em diversas aplicações, embora alguns parâmetros exijam melhorias para atender a todos os padrões normativos. O estudo considerou o uso não potável da água de reúso para atividades como agricultura e irrigação de áreas públicas. Além disso, foram identificados potenciais consumidores para futuros estudos, ampliando a compreensão e as oportunidades para a implementação do reúso na região. A integração das informações qualitativas e quantitativas possibilitou uma compreensão abrangente da qualidade do efluente e sua adequação para diferentes finalidades, permitindo decisões mais assertivas sobre o uso de água de reúso na região. Também se ressalta a necessidade de uma legislação federal específica sobre o reúso de efluentes tratados. A criação de um marco regulatório abrangente e bem definido pode fornecer diretrizes claras e consistentes, auxiliando na harmonização das normas existentes em diferentes estados e municípios, assegurando a segurança e a qualidade do uso da água de reúso em todo o país.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de efluentes, água de reúso, legislação, qualidade da água.

INTRODUÇÃO

O acesso à água potável e ao saneamento básico é reconhecido pela ONU como um direito humano fundamental, mas a água doce é um recurso escasso, e com o crescimento populacional e econômico, a demanda por água tem aumentado, além de ser afetada por mudanças climáticas e desperdício. No Brasil, cerca de 40% da água produzida é perdida, e a demanda hídrica pode crescer 76% até 2040. O desperdício, especialmente no processo de distribuição, agrava a crise hídrica. Além disso, o lançamento inadequado de esgoto nos corpos hídricos compromete a qualidade da água e afeta os ecossistemas e a saúde pública. O tratamento inadequado de esgotos é um desafio para a segurança hídrica, afetando tanto a fauna e flora aquática quanto a população humana que depende dessas fontes para o abastecimento.

Em resposta, o Saneamento Focado em Recursos surge como uma solução inovadora e sustentável, utilizando sistemas naturais para neutralizar os impactos do despejo inadequado de efluentes. Essa abordagem promove o reaproveitamento dos subprodutos, como lodo, biogás e efluentes tratados, transformando o conceito de “resíduo” em “recurso”. Além disso, estudos sobre as transformações socioeconômicas e geoambientais nas cidades brasileiras indicam que o crescimento populacional nem sempre é acompanhado por infraestrutura de saneamento adequado, como ocorre em Maceió, a capital de Alagoas.

De acordo com dados de 2021, no Brasil, 54,1% do esgoto é coletado, mas apenas 49,1% recebem tratamento adequado. Em Alagoas, os índices são ainda menores, com apenas 22,35% da população tendo acesso à coleta de esgoto e 20% recebendo tratamento. Maceió, embora com infraestrutura mais avançada, apresenta necessidade de mais investimentos no saneamento. A cidade conta com várias bacias de esgotamento, incluindo um sistema próprio de esgotamento no bairro Benedito Bentes.

OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo analisar o potencial de reúso de efluentes tratados da Estação de Tratamento de Esgoto Benedito Bentes, considerando os benefícios desse processo para a gestão eficiente dos recursos hídricos. O reúso pode reduzir a pressão sobre fontes hídricas convencionais e promover a sustentabilidade, sendo uma alternativa eficaz para mitigar a escassez de água em áreas urbanas. Essa pesquisa também visa contribuir para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS nº 6 (Água Potável e Saneamento) e o ODS nº 11 (Cidades Sustentáveis), ao apresentar soluções para melhorar a qualidade de vida da população local e conservar os recursos hídricos.

DESCRÍÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A ETE Benedito Bentes (Figura 1) está localizada na parte alta da cidade de Maceió, no bairro do Benedito Bentes sob as coordenadas -9.54099, -35.71511. Atende à população dos bairros: Cidade Universitária, Benedito Bentes, Salvador Lyra, Tabuleiro dos Martins, Santa Lúcia, Conjunto Mainá, Clima Bom, Santos Dumont e Antares. Suas operações iniciaram em setembro de 2019 com uma capacidade de 180 L/s e dois reatores em série.



Figura 1: Localização Estação de Tratamento de Esgoto Benedito Bentes.
Fonte: Google Earth, 2024.

Atualmente, apresenta uma capacidade de 360 L/s e quatro reatores sendo dois em série e dois em paralelo. A malha da rede coletora conta com onze linhas de recalque, onze elevatórias de esgoto e 30 mil ligações de

domicílios à rede (SANAMA, 2024). A configuração da ETE (Figura 2) consta das seguintes operações unitárias: tratamento preliminar com gradeamento e caixas de areia, tratamento primário onde o esgoto é direcionado para tanques de decantação, tratamento secundário através dos reatores biológicos CFIC ® e tratamento terciário com a desinfecção final do efluente com hipoclorito de sódio (NaClO).



Figura 2: Configuração da ETE Benedito Bentes.

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

Fonte: SANAMA, 2024.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para este estudo, a metodologia foi dividida em três etapas principais: levantamento das demandas de água na área de estudo, levantamento de dados qualiquantitativos do efluente e análise dos dados.

O levantamento das demandas de água foi realizado considerando o contexto cultural da cidade, onde o uso doméstico de água de reúso ainda não é amplamente adotado. Focando nas Áreas Verdes de Lazer (AVL), a pesquisa identificou locais potenciais para o uso de água de reúso na irrigação. A localização e as dimensões dessas áreas foram mapeadas utilizando a plataforma *Google Earth*. Após identificar as unidades consumidoras, foram feitas estimativas dos usos urbanos não potáveis de água, baseadas em revisões bibliográficas que fornecem dados sobre as demandas de água para diferentes tipos de unidades consumidoras.

A coleta de dados primários qualiquantitativos do efluente envolveu a obtenção de informações diretamente da fonte, ou seja, os dados foram coletados especificamente para os objetivos da pesquisa. A amostragem não probabilística por conveniência foi a técnica escolhida, na qual a seleção da amostra foi feita com base na acessibilidade e disponibilidade dos elementos. Para a avaliação qualitativa, foram analisados os dados de vazão e qualidade do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Benedito Bentes, abrangendo todo o ciclo hidrológico.

Na parte quantitativa, a pesquisa investigou a demanda de água para usos urbanos não potáveis, ao mesmo tempo em que avaliou a disponibilidade de esgoto tratado. Foi feita uma análise da capacidade de tratamento instalada na ETE e uma avaliação da potencialidade de reúso da água, ou seja, a porcentagem da demanda de água que poderia ser atendida com o esgoto tratado.

A análise de dados teve como objetivo organizar e sintetizar as informações coletadas de maneira estruturada. Para a avaliação qualitativa, foi analisada a qualidade do esgoto tratado em relação às suas características físico-químicas e microbiológicas, verificando se atendiam aos requisitos para os usos identificados. Foi realizada também uma comparação entre a qualidade do efluente tratado e as diretrizes recomendadas para o reúso urbano.

Além disso, foi feito um estudo comparativo entre a produção de efluente tratado e a demanda identificada para usos não potáveis, tanto na própria ETE quanto na população local. Os dados qualitativos foram confrontados com os valores de referência fornecidos pela legislação nacional e pelas normas da ABNT sobre reúso de água, garantindo que o reúso proposto esteja em conformidade com as diretrizes estabelecidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

• Levantamento das demandas de água de reúso da população do entorno

As atividades de uso não potável consideradas para o reúso de água nesta pesquisa envolveram principalmente a agricultura e a irrigação de áreas públicas. As demandas de água de reúso na população do entorno foram analisadas com base nessas atividades, dado que o uso de água de reúso é uma prática que pode aliviar a pressão sobre os recursos hídricos potáveis, especialmente em áreas urbanas.

Quanto à agricultura, a área considerada para quantificar a demanda de água de reúso é apresentada na Figura 3. Esta área possui um perímetro de 1.269 metros e uma superfície total de 93.398 metros quadrados (m^2). Considerou-se a irrigação de salvação, onde planeja-se irrigar somente num período relativamente curto ou em um estágio do cultivo. No caso da cana-de-açúcar, a irrigação é feita em duas ou três irrigações de 60 milímetros por mês, após o plantio, para cana-planta, ou após os cortes, para cana-soca (REZENDE e ANDRADE JÚNIOR, 2023).



Figura 3: Área de cultivo de cana-de-açúcar.
Fonte: Google Earth, 2024.

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

O ciclo de crescimento da cana-de-açúcar é extenso, variando de 12 a 18 meses até a colheita. O tempo exato para a maturação da planta depende da variedade específica e das condições de cultivo. Durante esse período, excluindo o período da quadra chuvosa, que vai de abril a setembro, o consumo de água para uma área considerada pode atingir até 151.308 m^3 .

Utilizar água de reúso pode ser uma solução eficaz para economizar mais de 150 mil metros cúbicos de água que poderia ser utilizada para abastecimento público. Segundo dados da Companhia Espírito-Santense de Saneamento (Cesan), a água de reúso tratada com cloro tem um custo de R\$ 2,52 por metro cúbico, em

comparação com o custo de R\$ 15,57 por metro cúbico da água potável. Contudo, é importante considerar que o transporte da água, especialmente em grandes volumes, pode aumentar significativamente o custo total da irrigação.

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

Tabela 1: Identificação de Áreas Verdes

Descrição	Localização		Área (m²)	Demandas totais (m³/mês)	Bairro
	Latitude	Longitude			
Parque Esportivo do Benedito Bentes	-9.53616	-35.72187	12.418	149,016	Benedito Bentes
Praça do Cely	-9.53644	-35.72542	4.633	55,596	Benedito Bentes
Praça de Santa'Ana	-9.55534	-35.73662	2.450	29,4	Benedito Bentes
Praça Padre Cícero	-9.56049	-35.72479	19.395	232,74	Benedito Bentes
Praça do Carminha	-9.55951	-35.71249	1.730	20,76	Benedito Bentes
Praça Nossa Senhora das Graças	-9.56446	-35.71031	150	1,8	Benedito Bentes
Praça Escritor Graciliano Ramos	-9.54854	-35.75162	2.556	30,672	Cidade Universitária
Praça de São Vicente de Paulo	-9.54972	-35.74681	1.276	15,312	Cidade Universitária
Praça Dubeaux Leão	-9.56414	-35.74953	4.906	58,872	Tabuleiro dos Martins
Praça Principal do Salvador Lyra	-9.56069	-35.74825	2.231	26,772	Tabuleiro dos Martins
			Total	620,94	

Quanto aos potenciais consumidores de água de reúso, a Tabela 2 apresenta as fábricas de concreto pré-moldado localizadas nas proximidades da ETE que têm potencial para utilizar água de reúso na fabricação de suas peças.

Tabela 2: Potenciais Clientes (Construção Civil)

Cliente em Potencial	Localização	
	Latitude	Longitude
Pré Moldados Alagoas	-9.54783	-35.78137
Home Center Maceió Pré-Moldados	-9.56352	-35.75555
Cícero Pré-Moldados	-9.54727	-35.75567
PremoAL Artefatos de Concreto	-9.55206	-35.75524
JG Pré-Moldados	-9.54749	-35.79106
Concretec Indústria e Comércio de Pré-Moldados	-9.55488	-35.78062

- Avaliação quantitativa do efluente tratado

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Benedito Bentes atualmente produz 25 m³/hora de água de reúso, totalizando 18.000 m³ por mês. A vazão diária do efluente tratado é de 69,82 L/s, com um volume mensal de 182.559,3 m³/mês. Esses dados são fundamentais para compreender a capacidade da ETE em fornecer efluentes tratados para reúso, especialmente considerando as demandas de atividades não potáveis, como a agricultura e a irrigação.

- **Avaliação qualitativa do efluente tratado**

Os dados coletados para o ano de 2023 foram analisados com foco em parâmetros importantes para a qualidade da água de reúso, como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e o Cloro Residual.

A média observada para a DBO foi de 20,34 mg/L, com um desvio padrão de 5,53 mg/L. De acordo com a NBR 16783:2019, o valor permitido para a DBO é igual ou inferior a 20 mg/L. Embora a média de 20,34 mg/L ultrapasse ligeiramente o limite estabelecido pela norma, a situação atípica da perda de sólidos no adensador de lodo sugere que a qualidade da água está bastante próxima de atender aos requisitos para reúso. Além disso, ao comparar com regulamentações como a Classe B da Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01/2020 de São Paulo, que permite a DBO de até 30 mg/L para certos usos, observa-se que a água está dentro dos parâmetros permitidos.

A média de cloro residual foi de 1,35 mg/L, com um desvio padrão de 0,20 mg/L. A NBR 16783:2019 e outras regulamentações estabelecem que o cloro residual deve ser igual ou maior que 0,5 mg/L e igual ou menor que 2,0 mg/L. Portanto, a média de 1,35 mg/L está dentro dos limites estabelecidos para este parâmetro. No entanto, a Classe A da Resolução CONSEMA nº 419/2020 do Rio Grande do Sul, que abrange usos como irrigação paisagística em locais de acesso restrito, estabelece um limite de até 1,0 mg/L, e a média observada excede esse valor.

O parâmetro coliformes termotolerantes apresentou um valor elevado de 35.145 NMP/100 mL em abril, bem acima dos níveis observados nos outros meses. Esse aumento pode estar relacionado a um problema no processo de desinfecção. Embora o cloro residual médio no mês de abril tenha sido de 1,38 mg/L, adequado para desinfecção, a presença de alta DBO pode ter competido pelo cloro, dificultando a efetividade da desinfecção.

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

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

Essas análises qualitativas indicam que, embora os efluentes tratados apresentem algumas variações em relação aos parâmetros exigidos por regulamentações, os resultados estão, em sua maioria, dentro dos limites permitidos para reúso em atividades específicas. Isso reforça a viabilidade do uso de efluentes tratados para reúso, especialmente quando utilizados em atividades não potáveis como irrigação e agricultura. Contudo, ajustes na operação da ETE, como a melhoria da desinfecção, podem ser necessários para atender de forma consistente aos requisitos para todos os tipos de usos não potáveis.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

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

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

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO – ANA (Brasil). Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas / Agência Nacional de águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. CataloSan: catálogo de soluções sustentáveis de saneamento - gestão de efluentes domésticos / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde; Paula Loureiro Paulo, Adriana Farina Galbiati, Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho. – Campo Grande: UFMS, 2018. 50 p.
- BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P.C.S. Conceito de reúso de água. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, F.S. (Eds) *Reúso de Água*. Barueri, SP: Manole, 2003. p.21-36.
- CASAL. Companhia de Saneamento de Alagoas. Esgotamento Sanitário. Disponível em: <<https://www.casal.al.gov.br/esgotamento-sanitario/>> Acesso em 25.04.2025.
- CASTRO, C.N. Água, problemas complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica. Rio de Janeiro: Ipea, 2022. 281p.
- Consultoria Econômica. Trata Brasil. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Demanda_futura_por_agua_-_Instituto_Trata_Brasil_-_26-08-2020a.pdf> Acesso em 10.10.2024.
- KUZMA, S.; SACCOCCIA, L.; CHERTOCK, M. 25 Countries, Housing One-quarter of the Population, Face Extremely High Water Stress. World Resources Institute. Disponível em: <<https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries>> Acesso em: 10.10.2024.
- MEJIA, Mishelle; MELO, Marília Carvalho de; SANTOS, Ana Sílvia Pereira. Reúso: Instrumento de um novo modelo de Gestão das Águas. Águas do Brasil, jan/2021. Disponível em <<https://aguasdobrasil.org/artigo/reúso/>> Acesso em 25.02.2024.
- MOURA, P.G.; ARANHA, F.N.; HANDAM, N.B.; MARTIN, L.E.; SALLES, M.J.; CARVAJAL, E.; JARDIM, R.; SOTERO-MARTINS, A. Water reuse: a sustainable alternative for Brazil, *Eng. Sanit. Ambient.*, v.25, n.6, 791-808p. nov/dez 2020.
- REZENDE, R.S.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. Irrigação. Embrapa. 2023. Disponível em <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/manejo/irrigacao>> Acesso em 25.04.2025.
- SABESP. Norma técnica Sabesp NTS 181. Dimensionamento do ramal predial de água, cavalete e hidrômetro – Primeira ligação. São Paulo, 2017.