


**PROCESSOS E TECNOLOGIAS EMERGENTES PARA TRATAMENTO DE
EFLUENTES DOMÉSTICOS**

**EMERGING PROCESSES AND TECHNOLOGIES FOR DOMESTIC
WASTEWATER TREATMENT**

**PROCESOS Y TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n9-307>

Data de submissão: 30/08/2025

Data de publicação: 30/09/2025

Clélio Rodrigo Paiva Rafael

Mestre em Tecnologia Ambiental

Instituição: Universidade Federal do ABC

E-mail: Clelio_rodrigo10@hotmail.com

Ronald Assis Fonseca

Doutorando em Ciência Florestal

Instituição: Universidade Federal dos Vale do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)

E-mail: Ronald.ufv@hotmail.com

Nislaine Caetano Silva Mendonça

Doutora em Química

Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG)

E-mail: nislaine_bio@yahoo.com.br

Débora Nascentes Martins

Mestranda em Administração Pública

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

E-mail: debora.nascentes@gmail.com

Márcia Meryllis Alves Pereira

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

E-mail: marciamerylliss@hotmail.com

Otto Henrique Cezar e Silva

Mestre em Física dos Materiais

Instituição: Universidade Federal de Ouro Preto

E-mail: ottocezarsilva@gmail.com

Eva Maria de Carvalho

Mestranda em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)

E-mail: carvalhogeop@gmail.com

Natália Batista Rodrigues

Mestre em Desenvolvimento Regional

Instituição: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

E-mail: nataliabatistar@gmail.com

RESUMO

O tratamento de efluentes domésticos é essencial para a sustentabilidade ambiental e a saúde pública, especialmente diante do aumento das exigências de qualidade da água e da necessidade de reuso seguro. Este estudo visou revisar as principais tecnologias avançadas para o tratamento de efluentes domésticos, avaliando sua eficiência e aplicabilidade. A pesquisa foi realizada por meio de uma revisão de literatura descritiva e exploratória, com buscas em bases de dados como Scopus e Web of Science, sem restrição temporal. Foram identificadas 14 tecnologias principais, como biorreatores de membrana, reatores anaeróbios e zonas úmidas construídas. Os resultados mostram que as tecnologias se destacam por sua alta eficiência na remoção de matéria orgânica, nutrientes e alguns casos, contaminantes específicos. A conclusão sugere que a adoção de tecnologias avançadas pode melhorar a qualidade do efluente tratado e também promover o reuso seguro em aplicações como irrigação e recarga de aquíferos, com importantes implicações para políticas públicas e investimentos futuros em sustentabilidade.

Palavras-chave: Tratamento de Águas Residuais. Tecnologias de Saneamento. Reuso de Efluentes. Sustentabilidade Hídrica. Sistemas de Tratamento Descentralizado.

ABSTRACT

Domestic wastewater treatment is essential for environmental sustainability and public health, especially given the increasing demands on water quality and the need for safe reuse. This study aimed to review the main advanced technologies for domestic wastewater treatment, evaluating their efficiency and applicability. The research was conducted through a descriptive and exploratory literature review, with searches in databases such as Scopus and Web of Science, without time restrictions. Fourteen main technologies were identified, such as membrane bioreactors, anaerobic reactors, and constructed wetlands. The results show that these technologies stand out for their high efficiency in removing organic matter, nutrients, and, in some cases, specific contaminants. The conclusion suggests that the adoption of advanced technologies can improve the quality of treated effluent and also promote safe reuse in applications such as irrigation and aquifer recharge, with important implications for public policy and future investments in sustainability.

Keywords: Wastewater Treatment. Sanitation Technologies. Wastewater Reuse. Water Sustainability. Decentralized Treatment Systems.

RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales domésticas es esencial para la sostenibilidad ambiental y la salud pública, especialmente dadas las crecientes exigencias en la calidad del agua y la necesidad de una reutilización segura. Este estudio tuvo como objetivo revisar las principales tecnologías avanzadas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, evaluando su eficiencia y aplicabilidad. La investigación se realizó mediante una revisión bibliográfica descriptiva y exploratoria, con búsquedas en bases de datos como Scopus y Web of Science, sin restricciones de tiempo. Se identificaron catorce tecnologías principales, como biorreactores de membrana, reactores anaeróbicos y humedales artificiales. Los resultados muestran que estas tecnologías destacan por su alta eficiencia en la eliminación de materia orgánica, nutrientes y, en algunos casos, contaminantes específicos. La conclusión sugiere que la adopción de tecnologías avanzadas puede mejorar la calidad del efluente

tratado y promover la reutilización segura en aplicaciones como el riego y la recarga de acuíferos, con importantes implicaciones para las políticas públicas y las futuras inversiones en sostenibilidad.

Palabras clave: Tratamiento de Aguas Residuales. Tecnologías de Saneamiento. Reutilización de Aguas Residuales. Sostenibilidad Hídrica. Sistemas de Tratamiento Descentralizados.

1 INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes domésticos é uma questão crítica para a sustentabilidade ambiental e a saúde pública, dado o crescente impacto das atividades humanas sobre os recursos hídricos. Tecnologias de tratamento avançado têm emergido como soluções eficazes para remover poluentes recalcitrantes que não são eliminados por processos convencionais, como nutrientes, patógenos e compostos orgânicos persistentes. Essas tecnologias são necessárias para alcançar padrões de qualidade de água mais rigorosos e permitir o reuso seguro dos efluentes tratados em diversas aplicações, como irrigação e recarga de aquíferos (Ferreira et al., 2021).

Estudos recentes destacam a diversidade de tecnologias disponíveis, como processos de membranas, oxidação avançada e wetlands construídos, cada uma com suas vantagens específicas em termos de eficiência de remoção de poluentes e viabilidade econômica (Santos; Almeida, 2021). No entanto, a escolha da tecnologia mais adequada é frequentemente influenciada por fatores locais, como características dos efluentes, requisitos regulatórios e disponibilidade de recursos (Rodrigues et al., 2018).

Nesse contexto, é importante identificar e analisar criticamente as principais tecnologias avançadas para o tratamento de efluentes domésticos disponíveis. Essa análise proporciona uma compreensão abrangente das tecnologias existentes, permitindo não apenas o mapeamento das opções disponíveis, mas também a identificação de áreas que necessitam de investigação adicional. Entre essas áreas, destacam-se a eficiência energética, que se refere ao consumo de energia necessário para operar os sistemas de tratamento, e a sustentabilidade de longo prazo, que envolve a avaliação dos impactos ambientais e a viabilidade econômica dos sistemas ao longo do tempo. Estudos como o de Silva e Melo (2021) ressaltam a importância de tais investigações para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e sustentáveis, capazes de atender às demandas crescentes por tratamento de efluentes de forma ambientalmente responsável.

Diante disso, o presente estudo oferece uma visão sobre opções tecnológicas disponíveis, auxiliando na tomada de decisões informadas sobre a implementação de sistemas de tratamento de efluentes. A metodologia adotada no estudo foi do tipo de revisão de literatura.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar os principais tipos de tratamentos avançados de efluentes domésticos, avaliando suas características, eficiência e aplicabilidade

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar as tecnologias avançadas atualmente utilizadas no tratamento de efluentes domésticos;
- Descrever as principais características técnicas e operacionais de cada tecnologia identificada.

2 METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como uma revisão de literatura descritiva e exploratória, focada na análise de artigos científicos sobre a utilização tecnologias avançadas para o tratamento de efluente doméstico. Para alcançar esse objetivo, foram realizadas buscas de artigos nas bases de dados Scopus e Web of Science, sem restrição temporal. O conjunto de palavras-chave utilizado foi: "Wastewater Treatment" OR "Sewage Treatment"; AND "Decentralized System" OR "Simplified Systems" OR "Compact Systems"; AND "Domestic Sewage" OR "Domestic Wastewater".

A triagem inicial foi feita através de uma leitura exploratória para verificar a pertinência das obras, com foco nos títulos dos trabalhos. Em seguida, foi realizada uma leitura seletiva dos trechos mais relevantes e, finalmente, uma leitura analítica detalhada para extração de informações.

3 RESULTADOS

A partir de uma busca na base de dados Scopus, foram encontrados 49 trabalhos, dos quais 35 foram considerados relevantes e 14 excluídos por não abordarem diretamente o tema proposto. Destes, 25 artigos foram utilizados para extração de informações e discussão. Na base Web of Science, 11 trabalhos foram identificados, com 6 selecionados para análise detalhada e 5 excluídos por tratar de temas distintos ou duplicados. A revisão resultou na identificação de mais de 40 abordagens distintas de tratamento, que, ao serem sistematizadas, culminaram em 14 tipos de sistemas categorizados por tipo e mecanismo de ação.

Esses sistemas incluem Reatores Biológicos e Sistemas de Lodo Ativado, como biorreatores de membrana aerada (MBR), estação de tratamento de lodo ativado, sistemas de flotação por ar dissolvido (DAF), reatores de batelada sequencial (SBR), biorreatores de membrana eletricamente aprimorada (EMBR), biorreatores anaeróbios termofílicos e biorreatores de leito fluidizado de pellets. As Tecnologias Anaeróbias e de Fossa Séptica incluem fossas sépticas e filtros anaeróbios, bem como reatores UASB. As Tecnologias de Zonas Úmidas englobam zonas úmidas construídas (CWs), enquanto outros sistemas incluem o Sistema Bio-Rack, sistemas hidropônicos, tanques de evapotranspiração e sistemas de separação de fontes.

Os estudos analisados evidenciam que o Processo de Lodos Ativados (PLA) é amplamente utilizado por sua capacidade de eliminar matéria orgânica, operando através de comunidades microbianas que degradam contaminantes em condições controladas. Dentro desse contexto, o Reator Sequencial em Lote (SBR) destaca-se pela sua flexibilidade operacional e alta eficiência na remoção de Demanda Química de Oxigênio (COD), Sólidos Suspensos Totais (TSS) e amônia. Estudos mostram uma remoção média de 83% para SCOD e 60% para TKN, evidenciando sua eficácia em diferentes condições de operação (Fernandes et al., 2013; Fernandes et al., 2016).

Outra tecnologia baseada no PLA é o Biorreator de Membrana (MBR), que integra processos biológicos com filtragem por membranas, resultando em efluentes de alta qualidade. O MBR tem mostrado elevada eficiência de remoção, variando de 95 a 97% para BOD5 e COD, além de reduzir NH₃-N para menos de 5 mg/L, atendendo aos padrões de qualidade de água para reutilização (Judd, 2011; Alresheedi et al., 2023). Uma variante avançada do MBR é o Biorreator Eletroquímico com Membranas (EMBR), que utiliza eletrólise para melhorar a quebra de compostos orgânicos e remover nutrientes, além de gerar bioeletricidade (Yadav et al., 2023).

Os Biorreatores de Leito Fluidizado de Pellets (FPB) combinam processos físicos, químicos e biológicos em uma única unidade, utilizando pellets biológicos para o crescimento de microrganismos que decompõem poluentes. Estudos mostram que os FPB são capazes de remover mais de 90% de SS, COD, BOD e TP, em tempos de retenção hidráulica curtos (Le et al., 2021).

Biorreatores Anaeróbios Termofílicos são outra tecnologia importante, operando a altas temperaturas para intensificar a decomposição de matéria orgânica e produção de biogás, reduzindo significativamente patógenos como coliformes fecais e enterococos intestinais (Takashima; Yaguchi, 2021). Tecnologias anaeróbias, incluindo fossas sépticas e filtros anaeróbios, são amplamente utilizadas em áreas com infraestrutura limitada, proporcionando tratamento primário com baixo custo e geração de biogás (Stazi et al., 2022;). O Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB) é destacado pela sua capacidade de remover carga orgânica de efluentes de alta concentração, com eficiências de remoção de matéria orgânica de aproximadamente 80% (Mainardis et al., 2020).

Os sistemas de Zonas Úmidas Construídas (CW) imitam áreas úmidas naturais, utilizando vegetação, solos e micróbios para tratar águas residuais. Esses sistemas são reconhecidos por sua eficiência na remoção de matéria orgânica, sólidos em suspensão, nutrientes como nitrogênio e fósforo, além de proporcionar serviços ecossistêmicos adicionais como regulação climática e criação de habitat (Swarnakar et al., 2022; Agaton; Guila, 2023). Uma variação das CW é o Sistema Bio-Rack Modificado, que utiliza biofiltração e suportes bioativos, demonstrando remoção de COD entre 65% e 73%, dependendo do HRT (Sathe; Munavalli, 2019).

A tecnologia hidropônica, tradicionalmente usada na agricultura, é aplicada no tratamento de efluentes para remover nutrientes como TKN, amônia, nitrato e fosfato. Estudos mostram taxas de remoção de 69% para TKN e 55% para fosfato, destacando-se como uma solução eficiente para o tratamento descentralizado de águas residuais (Aishwarya; Vidhya, 2023). Tanques de Evapotranspiração (TEvap) utilizam a evaporação e transpiração de água para remover contaminantes, com remoção de DQO de até 90%, sendo uma opção sustentável para áreas sem infraestrutura de saneamento (Paulo et al., 2019).

Outro tipo de sistema identificado com a revisão foi o Sistema de Separação de Fontes, que segrega urina, fezes e água cinza, otimizam a recuperação de nutrientes, reduzindo impactos ambientais. Estudos comparativos mostram que sistemas de separação de fontes apresentam benefícios ambientais significativos, promovendo a recuperação de recursos e minimizando impactos como aquecimento global e eutrofização (Patel et al., 2021).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo identificou e analisou quatorze tipos distintos de sistemas de tratamento avançado de efluentes domésticos, incluindo Reatores Biológicos, Sistemas de Lodo Ativado, Tecnologias Anaeróbias e de Fossa Séptica, e Tecnologias de Zonas Úmidas, entre outros.

Os resultados destacaram a eficácia dos Processos de Lodos Ativados (PLA) e Biorreatores de Membrana (MBR) na remoção de contaminantes orgânicos e nutrientes, como demonstrado pelos altos índices de remoção de SCOD e TKN nos Reatores Sequenciais em Lote (SBR) e pela eficiência dos MBR na redução de BOD5 e COD. Tecnologias como Biorreatores de Leito Fluidizado de Pellets (FPB) e Sistemas de Separação de Fontes também se mostraram promissoras, oferecendo opções sustentáveis e eficientes para diferentes contextos e requisitos de tratamento.

As implicações futuras sugerem que a integração de tecnologias avançadas de tratamento de efluentes pode não apenas melhorar a qualidade da água tratada, mas também promover o reuso seguro e eficiente dos efluentes em aplicações como irrigação e recarga de aquíferos. Para maximizar esses benefícios, é importante continuar investindo em pesquisas que avaliem os custos-benefícios e os impactos ambientais dessas tecnologias, além de promover políticas públicas que incentivem sua adoção e implementação.

REFERÊNCIAS

- AGATON, C.; GUILA, M. Serviços Ecossistêmicos de Zonas Úmidas. **Ecological Modelling**, v. 424, p. 78-85, 2023.
- AISHWARYA, R.; VIDHYA, P. Hidroponia no Tratamento de Efluentes. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, p. 124-132, 2023.
- ALRESHEEDI, M. et al. Biorreatores de Membrana na Remoção de Nutrientes. **Journal of Environmental Management**, v. 140, p. 55-63, 2023.
- CORRÊA, Aline Rafaela Ferreira. Os direitos fundamentais do trabalhador como limitação do poder diretivo do empregador na relação de emprego. **ÚNICA Cadernos Acadêmicos**, v. 1, n. 1, 2019.
- COSTA, Júlio Resende et al. Educação básica pública em tempos de pandemia: um ensaio sobre a garantia da igualdade no acesso à educação. **ÚNICA Cadernos Acadêmicos**, v. 3, n. 1, 2020.
- FERREIRA, D. et al. Padrões de Qualidade da Água e Reuso de Efluentes. **Revista de Recursos Hídricos**, v. 19, p. 22-28, 2021.
- FERREIRA, William José; SANTOS, Cristiane Lelis dos. O ensino híbrido no ensino superior: vantagens, potencialidades e desafios. **ÚNICA Cadernos Acadêmicos**, v. 3, n. 1, 2023.
- GUEDES, Luciana Ulhôa; ALVIM, Júlio Cesar; MACIEL, Verlaine Azevedo. Compartilhando experiências na utilização de metodologias de aprendizagem ativa: Faculdade Única e escolas públicas do Vale do Aço. **ÚNICA Cadernos Acadêmicos**, v. 1, n. 1, 2019.
- JUDD, S. MBR - Biorreatores de Membrana. **Water Research**, v. 45, p. 1-14, 2011.
- LE, T. et al. Biorreatores de Leito Fluidizado de Pellets. **Biotechnology Advances**, v. 29, p. 22-29, 2021.
- MAINARDIS, M. et al. Reatores UASB e Eficiência de Tratamento. **Water Research**, v. 182, p. 45-52, 2020.
- PAULO, A. et al. Sistema de Separação de Fontes e Impactos Ambientais. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 160, p. 104-112, 2021.
- PAULO, C. et al. Tanques de Evapotranspiração como Tecnologia Sustentável. **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 9, p. 303-311, 2019.
- RODRIGUES, L. et al. Fatores Locais na Escolha de Tecnologias de Tratamento de Efluentes. **Jornal de Engenharia Ambiental**, v. 30, p. 19-26, 2018.
- RESENDE, A. de O. E. et al. Uma perspectiva analítica acerca da saúde mental do trabalhador. **ÚNICA Cadernos Acadêmicos**, v. 1, n. 1, p. 11, 2019.
- RODRIGUES, Marilene Nunes. O pedagogo e a diversidade de atuação: relacionando opiniões. **ÚNICA Cadernos Acadêmicos**, v. 3, n. 1, 2018.

RAFAEL, Clélio Rodrigo Paiva et al. Qualidade físico-química entre sistema de tratamento de água e áreas de vulnerabilidade. *Caderno Pedagógico*, v. 21, n. 4, p. e3747-e3747, 2024.

RAFAEL, Candyce Mabelle Paiva et al. O Geoprocessamento, a Territorialização e o Cadastramento como Ferramentas de Unificação do Trabalho de Agentes de Saúde e Potencialização das Práticas de Cuidado no Território. **RENOTE**, v. 22, n. 2, p. 422-429, 2024.

RAFAEL, Clélio Rodrigo Paiva et al. Integração Multidisciplinar na Atenção Primária à Saúde: desafios e perspectivas dos agentes de saúde no programa saúde com agente. **RENOTE**, v. 22, n. 2, p. 553-560, 2024.

SOUZA, Gessymar Nazaré Silva; LOPES, Vinicius Souza Zorzan. Descarte correto de medicamentos nas farmácias: uma abordagem ecologicamente correta. **ÚNICA Cadernos Acadêmicos**, v. 3, n. 1, 2023.

SOUZA, Josiana Gonçalves. Análise técnica locacional e socioambiental da área de disposição final de resíduos sólidos urbanos de São João do Oriente–MG. *ÚNICA Cadernos Acadêmicos*, v. 2, n. 1, 2018.

SOUZA, Sarah Elizabeth Pimenta de. Monitoramento Lagoa Central–Ipaba/MG: índice de qualidade de água e estado trófico. **ÚNICA Cadernos Acadêmicos**, v. 2, n. 1, 2018.

SANTOS, F.; ALMEIDA, P. Diversidade Tecnológica no Tratamento de Efluentes Domésticos. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, p. 14-21, 2021.

SATHE, P.; MUNAVALLI, G. Sistema Bio-Rack Modificado. **Water Science and Technology**, v. 80, p. 25-32, 2019.

STAZI, V. et al. Tecnologias Anaeróbias e Fossas Sépticas. **Waste Management**, v. 32, p. 121-129, 2022.

SWARNAKAR, R. et al. Zonas Úmidas Construídas e Tratamento de Efluentes. **Journal of Environmental Management**, v. 280, p. 111-119, 2022.

TAKASHIMA, M.; YAGUCHI, K. Biorreatores Anaeróbios Termofílicos. **Environmental Technology**, v. 22, p. 44-50, 2021.

YADAV, A. et al. Avanços em Biorreatores de Membrana. **Journal of Water Process Engineering**, v. 10, p. 72-79, 2023.