

Algas: A solução verde para o saneamento básico

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.018-006>

Keyla Nunes Farias Gomes

Universidade Federal do Rio de Janeiro - Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal e Bioprocessos, Centro de Ciências da Saúde.

Laboratório de Avaliação e Promoção da Saúde Ambiental, Instituto Oswaldo Cruz.

Laboratório de Tecnologia de Produtos Naturais, Universidade Federal Fluminense.

Julianne Soares Pereira

Universidade Federal Fluminense - Programa de Pós-Graduação em Ciências e Biotecnologia, Niterói, RJ, Brasil.

Laboratório de Avaliação e Promoção da Saúde Ambiental, Instituto Oswaldo Cruz.

Laboratório de Biomoléculas, Faculdade de Ciências Agrárias do Vale da Ribeira/UNESP, Campus Registro, São Paulo, Brasil.

Laboratório de Tecnologia de Produtos Naturais, Universidade Federal Fluminense.

Geovana Espíndola Jardim

Laboratório de Avaliação e Promoção da Saúde Ambiental, Instituto Oswaldo Cruz.

Patrícia Soares Santiago

Laboratório de Biomoléculas, Faculdade de Ciências Agrárias do Vale da Ribeira/UNESP, Campus Registro, São Paulo, Brasil.

Leandro Rocha

Universidade Federal do Rio de Janeiro - Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal e Bioprocessos, Centro de Ciências da Saúde.

Laboratório de Tecnologia de Produtos Naturais, Universidade Federal Fluminense.

Robson Xavier Faria

Universidade Federal Fluminense - Programa de Pós-Graduação em Ciências e Biotecnologia, Niterói, RJ, Brasil.

Laboratório de Avaliação e Promoção da Saúde Ambiental, Instituto Oswaldo Cruz.

RESUMO

O uso de algas no saneamento básico e na purificação da água é uma abordagem promissora. As algas, tanto as microalgas quanto as macroalgas, são organismos fotossintéticos que desempenham um papel crucial na remoção de nutrientes e contaminantes dos efluentes. Eles têm sido extensivamente estudados e aplicados em sistemas de tratamento de água e efluentes devido à sua capacidade eficaz e sustentável de absorver nutrientes como nitrogênio, fósforo e poluentes orgânicos. Em comparação com os métodos convencionais, as tecnologias baseadas em algas oferecem benefícios ambientais significativos, incluindo menor consumo de energia e menor dependência de produtos químicos. Exemplos de sucesso em todo o mundo, como em Qingdao (China) e São Francisco (EUA), demonstram casos de implementação bem-sucedidos, resultando na melhoria da qualidade da água, na promoção da sustentabilidade e na proteção dos ecossistemas aquáticos. No futuro, é essencial continuar investindo em pesquisa e desenvolvimento para otimizar essas tecnologias e promover sua implementação global, visando enfrentar os desafios globais relacionados à escassez de água doce e à poluição da água.

Palavras-chave: Filtragem natural, Sustentabilidade hídrica, Tratamento de água, Meio ambiente, Saúde pública.

1 INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO ÀS ALGAS E SUA IMPORTÂNCIA AMBIENTAL

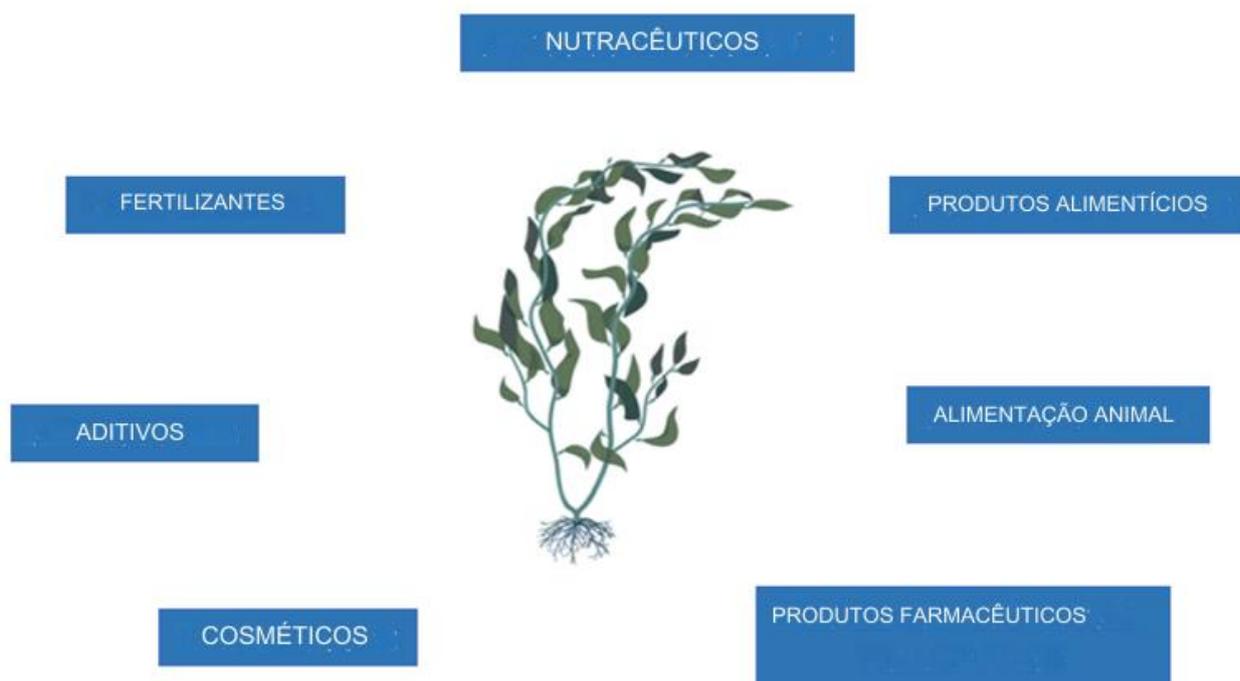
As algas são organismos aquáticos fotossintéticos e eucarióticos que podem ser unicelulares ou multicelulares e podem ser identificados com base na cor, forma e ciclo de vida (Chaudhary, 2020). Esses organismos são os principais produtores de biomassa em ambientes marinhos e possuem diversas substâncias bioativas que podem ser utilizadas para a saúde humana e animal (Pereira e Faria, 2023; Pereira et al., 2023).

Podem ser classificadas em macroalgas e microalgas. As macroalgas são grandes plantas fotossintéticas que podem ser observadas sem um microscópio. As microalgas são microscópicas e têm um impacto significativo e são importantes para suas aplicações. As algas são classificadas com base na liberação de sua pigmentação nas categorias marrom (feófitas), verde (clorofitas) e vermelha (rodófitas) (Chaudhary, 2020; Lee e Ryu, 2021; Pereira et al., 2023).

As algas desempenham um papel essencial no meio ambiente. Esses organismos contribuem de várias maneiras, principalmente por meio da absorção de nutrientes, defesa costeira contra ondas perigosas e redução de carbono no meio ambiente (Araújo et al., 2021).

As algas estão sendo utilizadas atualmente em vários setores comerciais. Eles são amplamente estabelecidos na Ásia como alimentos e suplementos devido às suas propriedades nutricionais e terapêuticas. Eles também são usados nas indústrias farmacêutica, biomédica e biotecnológica. Outras aplicações incluem suplementos alimentares para gado, fertilizantes, bioestimulantes para plantas e bioprodutos na indústria de cosméticos (Figura 1) (Araújo et al., 2021).

Figura 1: Aplicações de algas em vários setores comerciais e industriais.



Fonte: Imagem criada usando o aplicativo Biorender.

1.2 DESAFIOS DO SANEAMENTO BÁSICO

A água é um recurso essencial para apoiar uma vida saudável. Sua importância transcende seu papel fundamental como matéria-prima em diversas indústrias, incluindo farmacêutica, petroquímica, alimentícia, agroquímica, óleo e gás, além de desempenhar um papel crucial na agricultura e nos usos domésticos (Abdelfattah et al., 2023; Rashid et al., 2021).

O aumento do consumo de água resulta inevitavelmente em maiores volumes de efluentes de águas residuais. Embora mais de 70% da superfície da Terra seja coberta por água, apenas 3% é potável para consumo humano, enquanto os 97% restantes são água salgada. Aproximadamente quatro bilhões de pessoas em todo o mundo enfrentam escassez de água por pelo menos um mês a cada ano (Rashid et al., 2021).

O descarte direto de água contaminada dessas aplicações representa graves riscos ambientais e é uma preocupação crescente devido à diversidade de contaminantes presentes. Existem diferentes fontes de poluição da água, como esgoto, pesticidas, resíduos industriais e resíduos agrícolas (Abdelfattah et al., 2023).

Além dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado, a falta de saneamento básico causa problemas significativos em diversos setores socioeconômicos, especialmente nas áreas da saúde. As doenças transmitidas por efluentes acometem tanto a população diretamente exposta

quanto a indiretamente impactada. Portanto, a conscientização e a implementação de medidas preventivas, como o tratamento adequado de esgoto, são essenciais para promover condições de vida mais saudáveis e sustentáveis (Almeida et al., 2020; Costa et al., 2022).

No Brasil, o sistema predominante é a rede de esgoto, que é a opção mais adequada. No entanto, outras realidades incluem o uso de fossas rudimentares e sépticas e o despejo direto em rios, córregos e nascentes, que contaminam o solo e as águas subterrâneas, que são fontes vitais para a vida humana. Por isso, é fundamental estudar a construção de estações de tratamento de esgoto, visando alcançar um nível mais adequado de disposição desses resíduos no meio ambiente a um custo mais acessível, o que pode impactar positivamente na qualidade de vida dos cidadãos. O saneamento básico é fundamental para o bem-estar humano, pois controla a saúde pública ao eliminar fatores de risco à saúde e promover condições sociais e ambientais propícias à boa sobrevivência (Costa et al., 2022).

1.3 POTENCIAL DAS ALGAS NA PURIFICAÇÃO DA ÁGUA

Várias tecnologias, incluindo métodos biológicos, físicos e químicos, têm sido aplicadas para remover contaminantes em ambientes aquáticos. As tecnologias avançadas incluem adsorção, cloração, filtragem de carvão ativado, processos de membrana, oxidação avançada, fotocatalise e uso de nanomateriais. No entanto, esses métodos têm limitações significativas, como altos custos associados à escolha do adsorvente, reagentes químicos caros e a potencial geração de poluentes secundários nos processos (Li et al., 2021; Li et al., 2022).

Os tratamentos biológicos oferecem benefícios distintos em comparação com os métodos físicos e químicos e são mais sustentáveis do ponto de vista ambiental e economicamente viáveis (Rambabu et al., 2020). As algas, por exemplo, são conhecidas por suas capacidades de remediação em ecossistemas aquáticos devido ao seu rápido ciclo de crescimento, sensibilidade a poluentes e mecanismos de resposta ao estresse (Li et al., 2022).

Técnicas de remediação baseadas em algas têm sido exploradas desde a década de 1950 para remover nutrientes e carbono dissolvido do esgoto, especialmente por causa de sua eficiência sem demanda adicional de energia para remoção de poluentes (Li et al., 2022 parte 1), ao contrário de abordagens convencionais como microfiltração e ativação de lodo, que requerem alto consumo de energia (Li et al., 2022). Além disso, a tecnologia baseada em microalgas removeu com sucesso até 65% dos microcontaminantes orgânicos, como pesticidas e antibióticos, das águas subterrâneas (Ferrando e Matamoros, 2020). As principais vias de remoção em algas foram identificadas, incluindo bioadsorção, biodegradação, bioacumulação, fotodegradação, volatilização e hidrólise.

A bioadsorção é um processo físico-químico no qual materiais biológicos, como paredes celulares de algas ou substâncias poliméricas extracelulares (EPSs), são usados para remover substâncias, incluindo antibióticos, das águas residuais. Essas interações são passivas e não

metabólicas, permitindo a remoção de contaminantes de alta eficiência. Por exemplo, após a extração lipídica, *Chlorella vulgaris* e *Chlorella* sp. demonstraram adsorção significativa de diferentes compostos, como metronidazol e cefalexina, respectivamente (Nguyen et al., 2020; Li et al., 2022).

A biodegradação é um processo fundamental na natureza e na engenharia ambiental no qual compostos orgânicos complexos são transformados em produtos mais simples por meio de reações catalisadas por enzimas. Esse processo ocorre principalmente em microrganismos, que utilizam compostos como fonte de energia ou nutrientes, resultando na decomposição completa ou parcial desses materiais orgânicos (Tiwari et al., 2017; Li et al., 2022).

De acordo com a tabela abaixo, destacam-se diversas aplicações de processos biológicos envolvendo algas, destacando-se a versatilidade e utilidade de métodos como a biodegradação e a bioadsorção na solução de desafios ambientais e industriais, com foco na remoção desses poluentes.

Tabela I: Técnicas biológicas usando algas para remover diferentes poluentes.

Alga	Mecanismo	Poluente
<i>Chlamydomonas</i> sp.	Biodegradação	Tetraciclina
<i>Tetraselmis suecica</i>	Bioadsorção	Tetraciclina
<i>Chlamydomonas</i> sp.	Biodegradação	sulfametoxazol
<i>Chlamydomonas</i> sp.	Biodegradação	Sulfadiazina
<i>Spyrogira</i> sp.	Biodegradação	sulfatiazol
<i>Cenadesmus dimorphus</i>	Bioadsorção	Ciprofloxacina
<i>Clorela vulgar</i>	Biodegradação	Levofloxacina
<i>Clorela vulgar</i>	Biodegradação	Azitromicina
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Biodegradação	Amoxicilina
<i>Scenedesmus chlorelloides</i>	Biodegradação	molibdénio
<i>Chlamydomonas</i>	Biodegradação	Chumbo
<i>Chlorella vulgaris</i>	Biodegradação	zinco, cádmio e cobre
<i>Oscillatoria spp</i>	Biodegradação	zinco, cádmio e cobre

Fonte: Adaptado de Li et al., 2022.

De acordo com Pedro e colaboradores (2021), os gêneros *Chlamydomonas*, *Chlorella* e *Scenedesmus* se destacam como escolhas frequentes para bioensaios destinados a avaliar a toxicidade de diversos contaminantes em ecossistemas aquáticos. Essas microalgas fornecem avaliações eficazes e econômicas dos riscos ambientais e desempenham um papel crucial na melhoria da qualidade da água. Além de detectar toxicidade, essas espécies têm a capacidade de contribuir significativamente

para a purificação de corpos d'água, especialmente por meio da absorção de nitrito e fósforo, tornando-as ferramentas valiosas em iniciativas de gestão ambiental e monitoramento de recursos hídricos.

1.4 TECNOLOGIAS DE BIOFILTRAÇÃO DE ALGAS

As algas são fundamentais para o meio ambiente porque são produtoras primárias e ajudam a manter a vida nos rios, mares e oceanos. Eles também são cruciais para ciclos biogeoquímicos, como o ciclo de carbono e enxofre. Além disso, eles se beneficiam economicamente em diversos países e são usados para diferentes propósitos (Vidotti, 2004).

No contexto da biofiltração de algas no saneamento básico, o uso desses organismos é altamente promissor devido à sua eficácia na purificação da água. A integração de algas em sistemas de tratamento permite reduzir significativamente a necessidade de produtos químicos, minimizando assim os impactos ambientais adversos associados ao seu uso. Além disso, essa abordagem promove práticas sustentáveis e representa uma opção economicamente vantajosa para empresas e governos (Vidotti, 2004).

Metais pesados, microrganismos, produtos químicos tóxicos e fertilizantes são exemplos de contaminantes que se derramam em rios e mares e que acabam para consumo humano quando não há tratamento básico adequado para beber, causando sérios danos à população e ao ecossistema (Trajano et al., 2020).

Houve um aumento no número de estudos biotecnológicos nos últimos anos, com o intuito de gerar saneamento básico rentável e mais acessível; assim, surgiram pesquisas sobre o projeto de sistemas de biofiltração utilizando algas para remover esses poluentes. Um exemplo é o estudo da instituição peruana, onde a macroalga *Chondracanthus chamissoi* (Figura 2) foi avaliada para remoção de metais pesados, como o cromo, utilizando o método de biofiltro biotecnológico. Este estudo foi bem-sucedido em atingir uma taxa de absorção de 100%. Além de serem facilmente encontradas na natureza, as algas podem se ligar eficientemente a íons metálicos (Siccha, 2014).

Figura 2: *Chondracanthus chamissoi*



Fontes: José Avila Peltroche, Biodiversity4L, 2015.

Alguns estudos têm utilizado esse sistema para reutilizar a água, como na aquicultura. Quando a água muda durante certos períodos do ano para remover nitrato e economizar dinheiro, a água é recirculada para manejo, beneficiando-se da biofiltração por macroalgas, como *Chaetomorpha* sp. (Holm-Hansen et al., 1963; Xu et al., 2010).

Em 2019, a Archimede Ricerche, empresa italiana, desenvolveu um projeto de uso de algas para tratar águas residuais. No projeto, durante a fase de purificação da água, as *microalgas Spirulina* são colocadas em tanques junto às águas residuais a serem cultivadas. Assim, em um ambiente favorável, com luz solar e poluentes que enriquecem seu crescimento, como o nitrato, as algas são armazenadas por meio da fotossíntese em seus tecidos e se desenvolvem. Esta absorção contribui para a purificação da água contra contaminantes e aumenta a quantidade de biomassa de algas disponível para outros fins, como a produção de cosméticos (Euronews, 2019).

1.5 APLICAÇÕES PRÁTICAS E ESTUDOS DE CASO

1.5.1 Uso de algas em estações de tratamento de água e esgoto

O uso de algas em estações de tratamento de água e esgoto tem ganhado destaque como uma abordagem promissora para a melhoria da qualidade da água e redução da carga de poluentes nos corpos hídricos. As algas, particularmente as microalgas e macroalgas, demonstraram habilidades únicas para remover nutrientes e contaminantes orgânicos dos efluentes (Ho et al., 2019).

Nas estações de tratamento de água, as algas são frequentemente integradas em sistemas de biofiltração para remover contaminantes como nitrogênio, fósforo e matéria orgânica. Esses organismos fotossintéticos podem absorver nutrientes dissolvidos na água durante seu crescimento, ajudando a removê-los dos efluentes de forma eficiente. Além disso, as algas podem contribuir para a oxigenação da água por meio da fotossíntese, melhorando ainda mais a qualidade da água tratada (Smith et al., 2018).

No tratamento de esgoto, as algas também desempenham um papel essencial na remoção de nutrientes e na purificação de efluentes. Os sistemas lagunares de algas, por exemplo, são usados para aumentar a biomassa de algas em grandes volumes de águas residuais, onde as algas absorvem nutrientes como nitrogênio e fósforo para o crescimento. Alguns exemplos comuns de microalgas usadas incluem *Chlorella*, *Spirulina*, *Scenedesmus* e *Chlamydomonas*. Entre as macroalgas, espécies como *Ulva*, *Gracilaria* e *Enteromorpha* podem ser utilizadas. Além disso, a fotossíntese realizada pelas algas nas lagoas também ajuda a oxigenar a água e decompor a matéria orgânica (Wang et al., 2020).

A implementação bem-sucedida de tecnologias de tratamento de água e efluentes à base de algas depende da seleção apropriada de espécies de algas, do projeto e operação eficientes dos sistemas e da otimização dos parâmetros ambientais para promover o crescimento e a atividade das algas. A

pesquisa contínua nesta área visa desenvolver sistemas mais eficazes e sustentáveis, visando atender às crescentes demandas por tratamento de água e esgoto em todo o mundo, promovendo a conservação dos recursos hídricos e a proteção do meio ambiente (Henderson et al., 2019; Xu et al., 2017; Martin et al., 2021).

1.5.2 Exemplos de comunidades ou regiões que implementaram com sucesso soluções de saneamento à base de algas

Várias comunidades e regiões em todo o mundo adotaram soluções inovadoras de saneamento à base de algas para melhorar a qualidade da água, reduzir a poluição e promover a sustentabilidade ambiental. Um exemplo notável é a cidade de Qingdao, na China, que implementou um sistema de tratamento de esgoto baseado em lagoas de algas. Esse sistema utiliza algas para remover nutrientes como nitrogênio e fósforo dos efluentes de esgoto, promovendo a recuperação de água de alta qualidade para reúso e minimizando o descarte de poluentes nos corpos d'água locais (Xu et al., 2017).

Outro caso de sucesso é o projeto piloto em São Francisco, nos Estados Unidos, onde as algas foram integradas ao tratamento de água potável. Neste projeto, as algas foram utilizadas em sistemas de biofiltração para remover contaminantes orgânicos e melhorar a qualidade da água tratada, contribuindo para a redução do uso de produtos químicos e proteção dos recursos hídricos locais (Smith et al., 2018).

Várias comunidades costeiras também exploraram o cultivo de algas como parte do tratamento de efluentes e estratégias de recuperação de nutrientes. Por exemplo, Noli, na Itália, adotou sistemas de cultivo de macroalgas em suas águas costeiras para absorver nutrientes e melhorar a qualidade da água, promovendo a aquicultura sustentável e a proteção do ecossistema marinho (Giacometti et al., 2020).

Esses exemplos destacam o potencial das soluções de saneamento à base de algas para enfrentar os desafios ambientais e de saúde pública associados ao tratamento de água e efluentes. Ao adotar abordagens inovadoras e sustentáveis, essas comunidades demonstram como as algas podem desempenhar um papel crucial na melhoria da qualidade da água e na promoção da saúde e do bem-estar das populações locais (Xu et al., 2017).

2 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Em resumo, os benefícios do saneamento básico para as algas são notáveis. Conforme discutido ao longo deste capítulo, as algas mostraram uma capacidade única de purificar a água, remover nutrientes e poluentes das águas residuais e melhorar a qualidade da água em sistemas de tratamento de água e águas residuais. Além disso, sua aplicação reduz a dependência de produtos químicos e promove práticas mais sustentáveis no tratamento de resíduos.



No futuro, o papel das algas na melhoria contínua do saneamento e da qualidade da água é promissor. Com os avanços tecnológicos e a crescente conscientização sobre a importância da preservação ambiental, espera-se que as soluções de saneamento à base de algas sejam cada vez mais adotadas em comunidades e regiões em todo o mundo. Essa tendência é impulsionada pela necessidade de enfrentar os desafios ambientais globais, como a escassez de água potável e a poluição dos recursos hídricos.

Portanto, é essencial continuar investindo na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias relacionadas às algas para otimizar sua eficácia no tratamento de água e esgoto. Além disso, a educação pública e a conscientização sobre os benefícios das algas no saneamento básico são essenciais para promover sua ampla implementação e garantir a sustentabilidade dessas soluções a longo prazo.

Em suma, as algas são fundamentais para promover a saúde pública, preservar o meio ambiente e garantir o acesso a água limpa e segura. Ao continuar a explorar seu potencial e integrá-los de forma inovadora aos sistemas de saneamento, podemos alcançar avanços significativos na qualidade da água e promover o bem-estar humano em escala global.

REFERÊNCIAS

Abdallah, A., Sameh, S. A., Hassan, R., Eslam, I. E., Reham, E., Shih-Hsin H., Tamer, E., Shengnan, L., Mostafa, M. E., Michael, S., Michael, K., Jianzhong, S., Microalgae-based wastewater treatment: Mechanisms, challenges, recent advances, and future prospects, *Environmental Science and Ecotechnology*, Volume 13, 2023, 100205, ISSN 2666-4984, <https://doi.org/10.1016/j.ese.2022.100205>.

Almeida, L. S., Cota, A. L. S., Rodrigues, D. F. Saneamento, arboviroses e determinantes ambientais: impactos na saúde urbana. *Ciência e Saúde Coletiva*. v. 25(10), 2020.

Araújo, R. Calderón, F. V. López J. S. et al. Current Status of the Algae Production Industry in Europe: An Emerging Sector of the Blue Bioeconomy. *Frontiers in Marine Science*. 2020. 7. DOI = 10.3389/fmars.2020.626389.

Chaudhary, R., Nawaz, K., Khan, A. K., Hano, C., Abbasi, B. H., Anjum, S. An Overview of the Algae-Mediated Biosynthesis of Nanoparticles and Their Biomedical Applications. *Biomolecules*. 2020; 10(11):1498. <https://doi.org/10.3390/biom10111498>.

Costa, G. R., Silva, M. H., Corrêa, R. I. L., Ribas, E. B. Saneamento básico: Sua relação com o meio ambiente e a saúde pública. *Revista Paramétrica*. v. 14, n. 1, 2022.

Euronews. Uso de algas no tratamento das águas residuais é barato e ecológico. Disponível em: <<https://pt.euronews.com/next/2019/08/26/uso-de-algas-no-tratamento-das-aguas-residuais-e-barato-e-ecologico>> Acesso em: 02 março 2024.

Ferrando, L., Matamoros, V. Attenuation of nitrates, antibiotics and pesticides from groundwater using immobilized microalgae-based systems, *Science of The Total Environment*, Volume 703, 2020, 134740, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134740>.

Giacometti, A., et al. (2020). Integrated approach for macroalgae cultivation for wastewater treatment and potential biomethane production: A case study in Noli Bay, Italy. *Algal Research*, 51, 102036.

Henderson, R. K., et al. (2019). Microalgal-based technologies for municipal wastewater and flue gas treatment. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(7), 2969-2985.

Ho, S.-H., et al. (2019). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 98, 491-499.

Holm-Hansen, O. et al. Algae: Nitrogen Fixation by Antarctic Species. *Science*, [s.l.], v. 139, n. 3559, p.1059-1060, 15 mar. 1963. American Association for the Advancement of Science (AAAS).

Lee, S.; Ryu, C. Algae as a New Kids in the Beneficial Plant Microbiome. *Frontiers in Plant Science* 2021; 12. DOI=10.3389/fpls.2021.599742. ISSN=1664-462X.

Martin, C., et al. (2021). Economic analysis of microalgal wastewater treatment and bioenergy production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139, 110760

Nguyen, HT et al. (2020) 'A aplicação de microalgas na remoção de micropoluentes orgânicos em águas residuais', *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* , 51(12), pp. doi: 10.1080/10643389.2020.1753633.



Peltroche, J. A., biodiversity4all, 2015. Imagem *Chondracanthus chamissoi*. Disponível em: <<https://www.biodiversity4all.org/observations/1873558>> Acesso em: 11 fevereiro 2024.

Pereira, J. S.; Gomes, K. N. F.; Pereira, C. de S. F.; Jardim, G. E.; Santiago, P. S.; Rocha, L. M.; Faria, R. X. Microalgae and the medicine of the future. Seven Editora, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/3218>. Acesso em: 12 mar. 2024.

Pereira, S. J. e Faria, X. R.*, Molecular Aspects of Carrageenan in the Pharmaceutical and Food Industries, Current Nutrition & Food Science 2023; 20 (4). <https://dx.doi.org/10.2174/1573401319666230418123401>

Rambabu, K., Fawzi B., Quan, M. P., Shih-Hsin, H., Nan-Qi, R., Pau, L. S. Biological remediation of acid mine drainage: Review of past trends and current outlook, Environmental Science and Ecotechnology, Volume 2, 2020, 100024, ISSN 2666-4984, <https://doi.org/10.1016/j.ese.2020.100024>

Rashid, R., Shafiq, I., Akhter, P. et al. Uma revisão do estado da arte sobre técnicas de tratamento de águas residuais: a eficácia do método de adsorção. Environ Sci Pollut Res 28 , 9050–9066 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12395-x>.

Shengnan, L., Pau, L. S., Huu, H. N., Shih-Hsin, H. Algae-mediated antibiotic wastewater treatment: A critical review, Environmental Science and Ecotechnology, Volume 9, 2022, 100145, ISSN 2666-4984, <https://doi.org/10.1016/j.ese.2022.100145>.

Shengnan, L., Xue, L., Shih-Hsin, H. Microalgae as a solution of third world energy crisis for biofuels production from wastewater toward carbon neutrality: An updated review, Chemosphere, Volume 291, Part 1, 2022, 132863, ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132863>.

Siccha Macassi, A. L. (2014). Diseño de un biofiltro a base del alga roja cochayuyo (*Chondracanthus Chamissoi*) para la remoción de cromo de efluentes de la industria del curtido.

Smith, J. A. C., et al. (2018). Evaluation of Algal Treatment for Municipal Wastewater and Potential Future Integration with Energy Production. Water Environment Research, 90(5), 436-445.

Tiwari, B., Sellamuthu, B., Ouarda, Y., Drogui, P., Tyagi, R. D., Buelna, G. Review on fate and mechanism of removal of pharmaceutical pollutants from wastewater using biological approach, Bioresource Technology, Volume 224, 2017, Pages 1-12, ISSN 0960-8524.

Trajano et al. (2020). Abordando a temática poluição hídrica no ensino médio: uma proposta de sequência didática com foco nos contaminantes emergentes para o ensino de funções orgânicas mistas. Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática [S. l.], v. 2, n. 2, 2020.

Vidotti, E. C., & Rollemberg, M. D. C. E. (2004). Algas: da economia nos ambientes aquáticos à bioremediação e à química analítica. *Química nova*, 27, 139-145.

Wang, H., et al. (2020). Microalgae-based wastewater treatment for nutrient recovery and reuse: A comprehensive review. Bioresource Technology, 295, 122245.

Xiang, L., Zhanwen, C., Chenyuan, D., Miao, Z., Yan, Z., Yu, X. Metagenomic and viromic data mining reveals viral threats in biologically treated domestic wastewater, Environmental Science and Ecotechnology, Volume 7, 2021, 100105, ISSN 2666-4984, <https://doi.org/10.1016/j.ese.2021.100105>

Xu, H., et al. (2017). Nitrogen and phosphorus removal from municipal wastewater effluent using the green microalga *Scenedesmus obliquus*. Bioresource Technology, 244(Pt 1), 1378-1385.



Xu, Y., Lin, J. & Chen, S. Policultura do cavalo-marinho forrado, *Hippocampus erectus* Perry, 1810 com duas espécies de macroalgas em aquários. *Acta Oceanol. Pecado.* 29, 26–32 (2010).