Macrófitas aliadas na restauração ambiental: prospecção tecnológica para biorremediação de águas contaminadas

José Nattan da Rocha Silva Reis[1]; Ana Beatriz Borges de Sousa[2];
Luiz Felipe Cruz Silva[3]; Michely Correia Diniz[4]

[1]Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, PE, Brasil - jose.reis@discente.univasf.edu.br
[2]Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, PE, Brasil - ana.beatriborges@discente.univasf.edu.br
[3]Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, PE, Brasil - luiz.cruz@discente.univasf.edu.br
[4]Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, PE, Brasil - michely.diniz@univasf.edu.br

Resumo

Os corpos hídricos são alvos diretos de ações humanas, o que contribui para a degradação desses ambientes. Com base nisso, estudos descrevem a importância das macrófitas aquáticas na biorremediação de águas contaminadas, explanando a capacidade desses organismos em conter poluentes, auxiliar na ciclagem dos nutrientes, retirar e degradar compostos xenobióticos, além de atuarem como bioindicadores na fitorremediação, sendo uma tecnologia sustentável de baixo custo. O objetivo deste trabalho foi levantar e analisar documentos de patentes que contemplam tecnologias baseadas em macrófitas com potencial fitorremediativo na melhoria da qualidade da água e na gestão de ecossistemas aquáticos. Foram utilizadas as bases WIPO, Lens e INPI,com os termos Macrophyte and Water and Bioremediation. Os resultados indicaram uma quantidade significativa de patentes associadas ao conjunto dos termos, 94 para o WIPO, 90 para o Lens e 18 no INPI, com destaque para a distribuição por país, sendo os EUA o líder nesse aspecto. Por fim, foi possível constatar a relevância contínua do desenvolvimento e uso de macrófitas para a restauração ambiental e a sustentabilidade dos recursos hídricos, diante de um manejo e controle adequado das plantas.

Palavras-chave: plantas aquáticas, restauração, corpos hídricos.

Macrophytes allied in environmental restoration: an exploration of technological prospection of patents for bioremediation of contaminated water

Abstract

Water bodies are direct targets of human actions, which contribute to the degradation of these environments. Based on this, studies describe the importance of aquatic macrophytes in the bioremediation of contaminated waters, explaining the capacity of these organisms to contain pollutants, assist in the cycling of nutrients, remove and degrade xenobiotic compounds, in addition to acting as bioindicators in phytoremediation, being a low-cost sustainable technology. The objective of this work was to collect and analyze patent documents that contemplate technologies based on macrophytes with phytoremediation potential in improving water quality and in the management of aquatic ecosystems. The WIPO, Lens and INPI databases were used, with the terms Macrophyte and Water and Bioremediation. The results indicated a significant number of patents associated with the set of terms, 94 for WIPO, 90 for Lens and 18 in INPI, with emphasis on the distribution by country, with the USA being the leader in this aspect. Finally, it was possible to confirm the continued relevance of the development and use of macrophytes for environmental restoration and the sustainability of water resources, given adequate plant management and control.

Keywords: *aquatic plants, restauration, bodies of water.*

1. INTRODUÇÃO

Por caracterizar-se como recurso natural limitado que integra as necessidades básicas de todo ser vivo, além de servir como meio para transportes e abrigar elementos da fauna (DE OLIVEIRA, 2020; DE LIMA, 2022), os corpos hídricos são frequentemente explorados e interferidos diretamente pelas ações humanas, contribuindo para a degradação desses ambientes. Com a contaminação dos cursos de água por substâncias orgânicas e químicas, o ambiente torna-se suscetível a processos bioquímicos envolvidos nas interações dos componentes bióticos e abióticos, as quais podem modificar e comprometer a qualidade da água (DOS SANTOS, 2020). Nessa realidade, a democratização do acesso, por parte da população, aos recursos hídricos que dispõem da qualidade adequada para consumo e utilização doméstica tornou-se um desafio que várias instituições governamentais ao redor do globo terrestre tentam contornar.

Dentro do âmbito da biorremediação, na qual utiliza-se de organismos biológicos para promover a restauração ambiental, é notória a contribuição de organismos integrantes da flora como componentes que atuam para auxiliar nesses processos. Com isso, recebe o nome de fitorremediação a técnica que consiste na descontaminação de áreas biodegradadas através da utilização de plantas, muitas vezes envolvendo estratégias que buscam isolar, remover ou degradar as substâncias contaminantes (Yan et al., 2020 *apud in* FERREIRA 2022). Tal técnica vem sendo frequentemente utilizada, principalmente em países com grandes riquezas de bacias hidrográficas e "*wetlands*" (áreas úmidas de terras alagáveis, muitas vezes associadas à pântanos e mangues), os quais apresentam recorrentemente problemas sanitários com esgotos e efluentes (DOS SANTOS NOGUEIRA, 2022).

As macrófitas, por sua vez, são plantas aquáticas dotadas de propriedades fisiológicas com capacidade de conter poluentes dispersos no ambiente, sendo capazes de acumular metais pesados tóxicos dispersos no ambiente e realizar remediação de compostos xenobióticos (BERNADO, 2023). Ademais, esses organismos utilizam-se de matéria orgânica como nitrogênio e fósforo em seu metabolismo, portanto, ambientes aquáticos com presença de luz, sob influência de esgotos e outros poluentes orgânicos, tornam-se locais favoráveis para sua sobrevivência e reprodução (CARIS, 2008; PEZZATO, 2007). Tais propriedades permitem que as macrófitas atuem como bioindicadores na fitorremediação, além de apresenta-se como uma tecnologia sustentável de baixo custo devido a facilidade de criação e a alta tolerância desses organismos à poluição,

permitindo a o tratamento a ser realizado *in situ* ou *ex situ* (DOS SANTOS, 2020).

A preocupação com relação às tecnologias de tratamento de efluentes e águas residuárias tornaram as macrófitas, plantas com alta acessibilidade e desempenho nessas questões, componentes fundamentais para a confecção de sistemas e produtos voltados para tratamentos de água. Diante desse cenário, espera-se que instituições e empresas busquem patentear, isto é, proteger legalmente suas invenções ao obter direito exclusivo sobre elas, tais sistemas e mecanismos que utilizem das macrófitas para o papel biorremediador. O objetivo deste artigo foi realizar um levantamento de documentos de patentes que utilizem macrófitas para com seu potencial fitorremediativo.

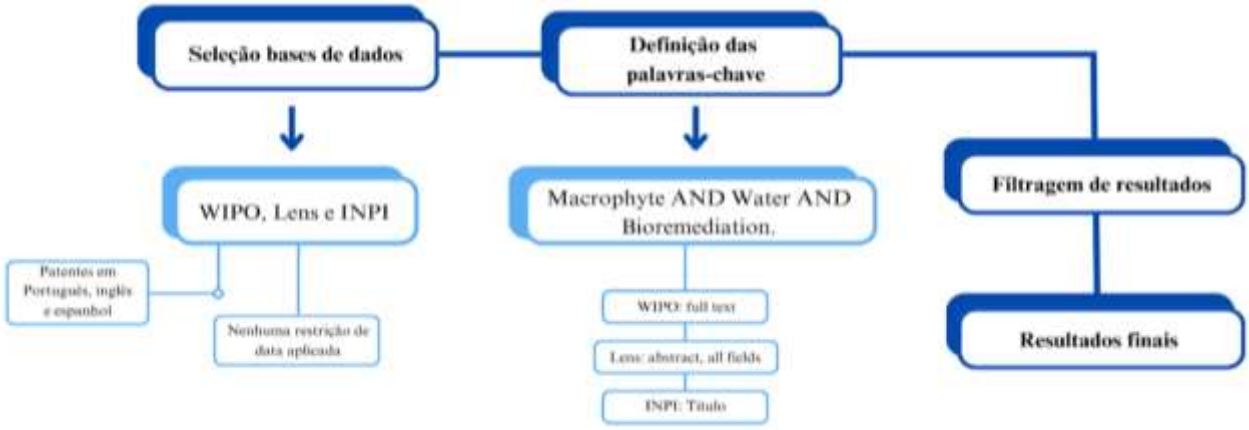
2. METODOLOGIA

Foram contabilizados os documentos de patentes registrados em bancos de dados internacionais e nacionais, para que, dessa forma, houvesse maior abrangência nos resultados. As informações foram coletadas no mês de abril de 2024 e as plataformas escolhidas para o levantamento foram *World Intellectual Property Organization* (WIPO), *The* Lens e Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI).

Para manter a coesão entre as informações obtidas foram utilizados filtros de pesquisas, ademais, foram separadas as principais palavras-chave que seriam utilizadas para a busca. Na plataforma WIPO foi selecionado no campo dos filtros "*full text*" através da busca simples. Para a pesquisa realizada na plataforma INPI foi selecionado que as palavras-chave estivessem contidas no "titulo". Enquanto na plataforma Lens os campos estabelecidos na pesquisa foram "*all fields*" e "*abstract*" através de uma busca estruturada. Os resultados registrados tiveram os números totais contabilizados ao realizar as buscas, e um número filtrado a partir do conteúdo dos documentos.

Estão presentes no fluxograma representado na Figura 1, as etapas seguidas em todas as plataformas durante as pesquisas realizadas, mostrando também as restrições colocadas durante as pesquisas utilizando os predicados "*AND*" e "*OR*". As patentes foram classificadas em acordo com a Classificação Internacional de Patente (CIP), e o levantamento foi feito sem restrições relacionadas ao ano de expedição.

Figura 1: Fluxograma explicativo sobre as etapas metodológicas realizadas durante o levantamento de dados de patentes e as palavras-chave pesquisadas.



Fonte: Autoria própria (2024)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pedidos de patentes foram avaliados por base de dados de acordo com os termos utilizados nas buscas (Tabela 1). Muitas patentes foram encontradas envolvendo os termos combinados "*Water*" (água) com predominância no Lens 208.871 (52,9%), seguido do WIPO 185.774 (47%), enquanto no INPI apenas 77 (0,01%) foram encontrados. O termo *Bioremediation* (Biorremediação), por outro lado, foram encontradas 42 patentes no INPI (0,16%), 13.487 no Lens (52,1%), e 12.334 no WIPO (47,7%). Na última busca realizada nos três bancos de dados, para o termo "*Macrophyte*" (Macrófita), houve uma diminuição no número total de patentes pedidas, com o Lens tendo obtido o maior número de patentes 931 (53%), uma quantidade superior quando comparada ao WIPO, 807 (46%), e muito superior aos 18 resultados encontrados no INPI (1%). Ao somar os valores dos processos de patentes de cada palavra-chave utilizada na busca, mostrou-se que o banco de dados Lens apresentou o maior número de depósitos com 223.289 (52,86%), seguido do WIPO com 198.915 (47,09%) e INPI com 137 (0,03%).

Tabela 1 – Distribuição de patentes em cada Base de Dados

	WIPO	**Lens**	**INPI**
Bioremediation (Biorremediação)	12.334	13.487	42
Macrophyte (Macrófita)	807	931	18
Water (Água)	185.774	208.871	77
Palavras-chave combinadas	94	90	18

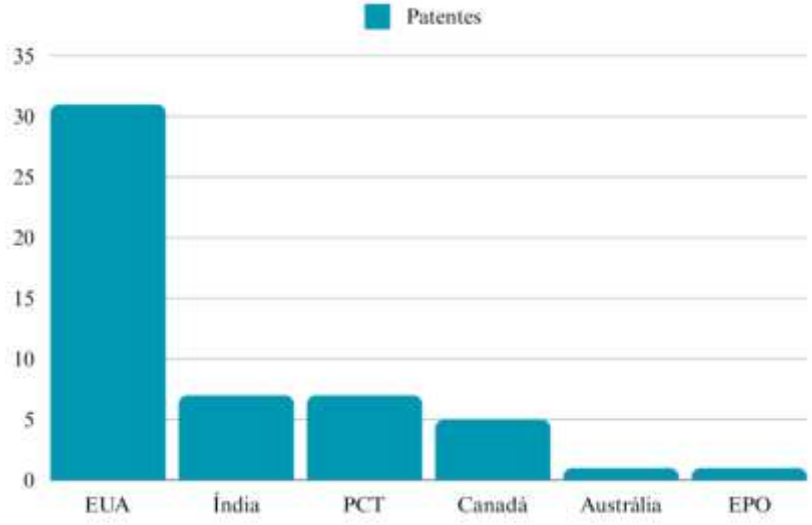
Fonte: Autoria própria (2024)

É importante salientar, entretanto, que a busca quantificou temas que não estão associados ao uso de macrófitas na biorremediação de águas contaminadas. Por exemplo, em "*Macrophyte*" (Macrófita) foram encontrados depósitos que usam essas plantas na produção de bioplástico, e para "*Bioremediation*" (Biorremediação) foram encontrados depósitos de sistemas de biorremediação utilizando culturas de fungos.

Com isso, o quantitativo acumulado das buscas apresentou uma superestimação dos resultados devido a registros de patentes nas quais as palavras-chave estavam associadas a outros contextos os quais não condizem com o tema, além da ocorrência de patentes da mesma família no mesmo banco. Dessa forma, as buscas foram refinadas, no qual cada patente resultante da pesquisa da junção de todas as palavras-chave foi revisada individualmente para verificar se estavam de acordo com o tema desejado. No total, por fim, 21 documentos foram compatíveis com a busca e foco da prospecção.

Com o banco de dados WIPO foi possível ainda visualizar a conjuntura da distribuição de patentes por país (Figura 2). Segundo o banco, o país que mais apresentou patentes associadas à macrófitas, biorremediação e água residual foram os Estados Unidos da América com 31 patentes, seguido da Índia com 7 depósitos e do PCT, "*Patent cooperation treaty*", o Tratado internacional de cooperação na proteção de invenções que engloba até 153 países, também com 7. Por último, o Canadá apresentou 5 patentes na base de dados, enquanto a Austrália e o EPO (*European Patents Office*) apresentaram apenas 1 patente registrada.

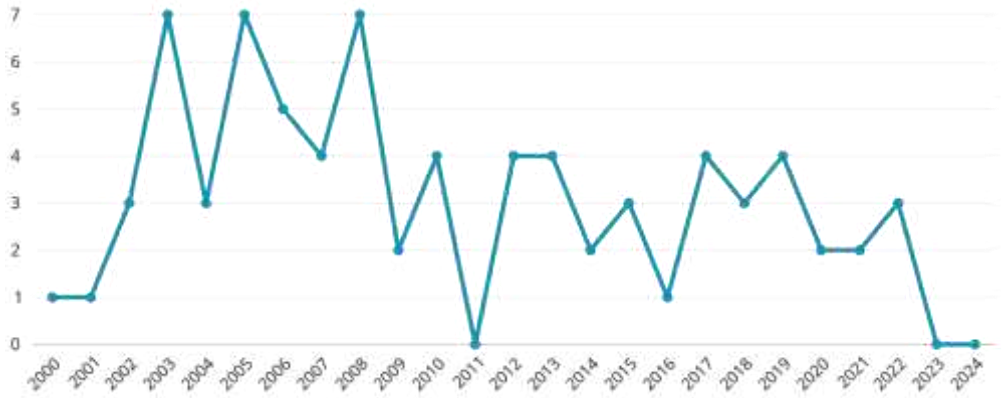
Figura 2 – Distribuição de patentes por país segundo a WIPO



Fonte: Autoria própria (2024)

Quanto ao ano de publicação de patentes em relação à busca no banco de dados Lens, com as palavras chaves combinadas "*Macrophyte*, *bioremediation*, *water*", houve patentes entre o intervalo dos anos de 2000 a 2024. O maior número ocorreu em 2003, 2005 e 2008, com 7 patentes publicadas em cada um deles. A partir de 2023 até a data atual deste estudo, 2024, o número de pedidos de patentes no banco de dados foi zero, assim como ocorreu no ano de 2011. As apurações sugerem que os estudos e tecnologias relacionadas à biorremediação de águas contaminadas aliada ao uso de macrófitas manteve resultados positivos desde o ano 2000 até 2010. Houve picos nos anos de 2003, 2005 e 2008, com uma queda brusca no ano de 2011, seguida de uma nova progressão nos pedidos entre os anos de 2012 a 2022 com um intervalo nulo de resultados para o ano de 2023 e até a data deste estudo como demonstra a Figura 3.

Figura 3 – Distribuição de patentes por ano segundo o Lens



Fonte: Autoria própria (2024)

O Quadro 1 apresenta alguns exemplos de patentes nacionais e internacionais, assim como são apresentados seus respectivos depositantes e situação de concessão. Foram analisados alguns dos resultados filtrados dos bancos de dados WIPO e INPI utilizados na prospecção. Durante a pesquisa foi constatado que o processo de concessão, algumas vezes, demora muito tempo desde a data do pedido, demonstrando o quanto a questão do tempo de concessão interfere para que o invento tenha seu direito assegurado.

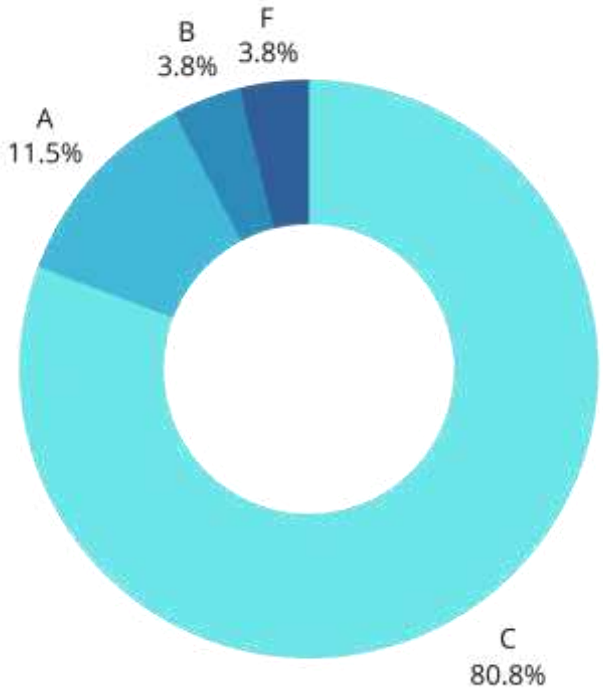
Quadro 1 – Situação dos pedidos de patente nos bancos de dados WIPO e INPI

Número de patente	Depositante	Situação	Data de depósito
BR 20 2012 020413 0 Y1	Anilton Squena de Oliveira	Concedida	15/08/2012
BR 10 2014 024143 4 A2	CENTRO DE GESTÃO DE TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - CGTI	Depositada	29/09/2014
US20110297596	Hondulas John L.	Concedida	06/04/2010
IN3390/MUM/2015	PROF. (DR). SATISH S. PATIL VINAYAK POPAT DHULAP	Depositada	09/03/2015

Fonte: Autoria própria (2024)

O CIP é um sistema de classificação internacional instituído pelo Acordo de Estrasburgo (1971), sendo um sistema hierárquico de símbolos independentes da linguagem para a classificação das patentes, onde as áreas tecnológicas são divididas em classes de A a H. Conforme o sistema de classificação, cerca de 80% das patentes se encaixam na seção C (Tratamento biológico de água, águas residuais, ou esgotos), seguido pela seção A (Agricultura, silvicultura e pesca), conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Distribuição de patentes pela classificação internacional



Fonte: Autoria própria (2024)

A patente brasileira BR 20 2012 020413 0 Y1, intitulada por "Sistema de filtro de plantas macrófitas em flutuação", foi a única concedida do banco de dados INPI, depositada em 15/08/2012 e concedida no dia 12 de fevereiro de 2019, estando incluída nas patentes de categoria "C" do CIP, como constatado na Figura 4. Consiste em uma estrutura de aplicação, para ser utilizada em águas residuais de zonas úmidas, rios, pântanos e lagoas contaminadas, por não apresentar nenhum malefício ao meio ambiente, é uma alternativa sustentável. Seu diferencial está presente no fato de utilizar-se de plantas adultas em seu sistema, tornando o processo de filtragem das águas mais ágil.

Outra patente brasileira BR 10 2014 024143 4 A2, intitulada por "Processo híbrido de tratamento de águas oleosas pelo emprego simultâneo de câmaras de flotação e área alagada construída povoada por macrófitas flutuantes", depositada no dia 29/09/2014, está incluída nas patentes de categoria "C" do CIP. Consiste em um processo de tratamento de

afluente composto por águas oleosas, constituído de duas etapas: tratamento inicial pelo processo de flotação, seguido pelo processo biológico utilizando o tratamento por área alagada construída, povoada com macrófitas flutuantes da espécie *Eichhornia crassipes*. A produção reduzida de resíduos o que permite, além da recuperação do óleo residual, a produção de água de reuso, com opção de retorno aos recursos hídricos localizados nas proximidades do entorno das instalações do sistema de tratamento é o seu diferencial.

A Patente US20110297596, intitulada por "A*pparatus merging wetland plants with a floating substrate to treat pollution in any river, lake or body of water*" (Aparelho que combina plantas de zonas húmidas com um substrato flutuante para tratar a poluição em qualquer rio, lago ou massa de água), concedida em 26/02/2013, consiste em um aparelho para tratar a poluição em rios, córregos, lagos, baías, portos e todos os corpos d'água, empregando como metodologia plantas pantanosas ou macrófitas que crescem sobre uma cesta de arame ou estrutura rígida preenchida com polígonos ou outros objetos de formas irregulares de diversas configurações. A referida patente está incluída nas patentes de categoria C no CIP.

4. CONCLUSÃO

Com base na análise dos dados obtidos nas bases de patentes, é possível notar que a expansão industrial, agrícola e demográfica ocasionou a necessidade de tornar viável a utilização de bioindicadores e fitorremediadores no tratamento de água. A extensão e aplicabilidade desse sistema pode ser um dos fatores a impulsioná-lo como alternativa no tratamento de águas e efluentes gerados em larga escala em razão do custo e benefício, uma vez que as macrófitas são organismos resistentes e desempenham inúmeras funções nos ecossistemas aquáticos.

A distribuição de patentes por país e por ano de publicação reflete o interesse e a atividade inovadora em diferentes regiões do mundo no desenvolvimento de soluções relacionadas à biorremediação e tratamento de águas residuais a partir do uso de macrófitas, com destaque para os Estados Unidos da América como o país com o maior número de patentes. É importante ressaltar que a avaliação para uso das macrófitas aquáticas em um determinado ecossistema depende diretamente da análise de dados obtidos através do método científico. Este pode ser um dos fatores para que se tenha uma diferença inferior na publicação de patentes em diferentes regiões do mundo.

Portanto, a pesquisa e desenvolvimento com as macrófitas continuam sendo relevantes e promissoras, com potencial para contribuir significativamente na melhoria da qualidade da água, e nas medidas de manejo quando necessário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDO, Nathali Silva. **O uso de macrófitas aquáticas como bioindicadores vegetais de poluição da água**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Oeste do Pará, 2023.

Disponível em: < https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/1568 >

CARIS, Marlen Erika. **Determinação do potencial de biorremediação de nutrientes e bioindicação de águas residuárias da suinocultura por macrófitas flutuantes (Lemna minuta) –Efeito de altas taxas de nitrogênio amoniacal**. Evidência, v. 8, n. 1, p. 85-102, 2008.

Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/277845756_Determinacao_do_potencial_de_biorremediacao_de_nutrientes_e_bioindicacao_de_aguas_residuarias_da_suinocultura_por_macrofitas_flutuantes_Lemna_minuta_-_Efeito_de_altas_taxas_de_nitrogenio_amoniacal >

DE LIMA, Mariza Cunha et al. **Composição da fauna de Hymenoptera associada a macrófitas aquáticas no Pantanal Sul-Matogrossense**. Entomology Beginners, v. 3, p. e029-e029, 2022.

Disponível em: < https://www.entomologybeginners.org/index.php/eb/article/view/29 >

DE OLIVEIRA, Lucas Silva et al. **Bancos de macrófitas aquáticas como locais de desenvolvimento das fases iniciais de peixes em várzea do Baixo Amazonas**. Oecologia Australis, v. 24, n. 3, p. 644-660, 2020.

Disponível em: < https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/24530 >

DOS SANTOS, Gabriel Borges et al. **Bioquímica ambiental: as macrófitas aquáticas como fitorremediadoras e bioindicadoras de poluentes**. Revista Macambira, v. 4, n. 2, p. e042004-e042004, 2020.

Disponível em: < https://revista.lapprudes.net/index.php/RM/article/view/461 >

DOS SANTOS NOGUEIRA, Gabriele; DE SOUZA BEZERRA, Gildete; PIANA, Pitágoras Augusto. **Tratamento de efluente de aquicultura com macrófitas flutuantes: revisão sistêmica e metanálise**. Research, Society and Development, v. 11, n. 4, p. e36811426533-e36811426533, 2022.

Disponível em: < https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/26533/23992/320339 >

FERREIRA, Micaella Assad et al. **Macrófitas e seu potencial fitorremediativo em estações de tratamento de esgoto: uma revisão bibliográfica**. Research, Society and Development, v. 11, n. 2, 2022.

Disponível em: < https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/25457/22389/298828 >

ZATO, Maura Maria. **Macrófitas aquáticas submersas: fotossíntese, crescimento e variáveis abióticas da água**. Tese (Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, 2007.

Disponível em: < https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/1603?show=full >