



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS  
CURSO DE BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIAS E  
TECNOLOGIA DAS ÁGUAS**

**O USO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS COMO BIOINDICADORES VEGETAIS DE  
POLUIÇÃO DA ÁGUA**

**NATHALI SILVA BERNARDO**

**SANTARÉM-PARÁ**

**2023**

**NATHALI SILVA BERNARDO**

**O USO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS COMO BIOINDICADORES  
VEGETAIS DE POLUIÇÃO DA ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas, da Universidade Federal do Oeste do Pará – *Campus* de Santarém, para a obtenção do grau de Bacharel Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas.

**ORIENTADORA**

Profa. Dr<sup>a</sup> Alessandra de Rezende Ramos

**SANTARÉM-PARÁ**

**2023**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA**

---

B523u Bernardo, Nathali Silva  
O uso de macrófitas aquáticas como bioindicadores vegetais de poluição da água./  
Nathali Silva Bernardo. - Santarém, 2023.  
40 p. : il.

Orientadora: Alessandra de Rezende Ramos.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará,  
Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tec-  
nologia das Águas.

1. Plantas aquáticas. 2. Poluição da Água. 3. Bioindicador. 4. Revisão Integrativa. I.  
Ramos, Alessandra de Rezende, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 581.76

**NATHALI SILVA BERNARDO**

**O USO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS COMO BIOINDICADORES  
VEGETAIS DE POLUIÇÃO DE ÁGUA**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi analisado pelos membros da Banca Examinadora.

Santarém-Pará, Brasil, 13 de dezembro de 2023.



**Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA**  
**Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas – ICTA**  
**Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas-BICTA**

**ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Aos treze dias do mês de dezembro do ano de 2023, às dez horas e sete minutos, realizou-se na sala 101 C do Núcleo de Sala de Aulas (NSA), a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso da discente Nathali Silva Bernardo intitulado: ***O uso de macrófitas aquáticas como bioindicadores vegetais de poluição da água, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências e Tecnologia das Águas.*** Os trabalhos foram conduzidos pela professora Alessandra de Rezende Ramos, orientadora da discente e presidente da Banca Examinadora, constituída, também, pelos membros convidados, professora Leidiane Leão de Oliveira e professor Antonio do Socorro Ferreira Pinheiro. Após apresentação do Trabalho de Conclusão e Curso, a Banca Examinadora passou à arguição do(a) discente. Encerrados os trabalhos de arguição, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre a apresentação e defesa oral do(a) discente, considerando-a ***Aprovada***. Proclamados os resultados pela presidente da Banca, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu Alessandra de Rezende Ramos, na qualidade de professora orientadora do Trabalho de Conclusão de Curso avaliado, lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da Banca Examinadora.

Santarém/PA, 13 de dezembro de 2023.

Documento assinado digitalmente  
 **ALESSANDRA DE REZENDE RAMOS**  
Data: 24/01/2024 22:30:33-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Presidente/orientador(a): Alessandra de Rezende Ramos

Documento assinado digitalmente  
 **LEIDIANE LEAO DE OLIVEIRA**  
Data: 19/01/2024 10:11:07-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: Profa Dra Leidiane Leão de Oliveira

Documento assinado digitalmente  
 **ANTONIO DO SOCORRO FERREIRA PINHEIRO**  
Data: 22/01/2024 17:24:33-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: Prof Dr Antonio do Socorro Ferreira Pinheiro

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus pela vida e toda sabedoria para concluir meu trabalho. À minha família, em especial aos meus pais, pelo incentivo e suporte emocional. Sem vocês, nada disso seria possível. Sou imensamente grato por tudo que fizeram por mim.

Agradeço à minha orientadora Alessandra de Rezende Ramos, pela paciência, dedicação e valiosas orientações ao longo de todo o processo. Suas sugestões e *feedbacks* foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores que compartilharam seus conhecimentos e experiências ao longo da minha trajetória acadêmica, meu muito obrigado.

Aos meus amigos e colegas de classe, que estiveram ao meu lado durante toda essa jornada compartilhando conhecimentos, meu profundo agradecimento.

A todos vocês, meu mais sincero agradecimento por fazerem parte dessa conquista. Sei que este trabalho é apenas o começo de uma jornada de aprendizado contínuo, mas é um marco significativo em minha vida acadêmica.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Muito obrigado a todos!

## SUMÁRIO

**RESUMO**

**ABSTRACT**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
1.1	O início das Civilizações e a utilização dos recursos naturais: Um breve panorama	8
1.2	Os recursos hídricos: cenário mundial, nacional e regional	11
1.3	Alternativas biotecnológicas: os biodicadores de poluição ambiental	16
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>18</b>
2.1	Objetivo Geral	18
2.2	Objetivos Específicos	18
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>35</b>

## RESUMO

O crescimento industrial e populacional, atrelado aos problemas de saneamento básico, vem contribuindo para a poluição dos cursos d'água, em razão do descarte inadequado de resíduos, como os efluentes domésticos e metais pesados. Diante dessa problemática, o presente trabalho buscou analisar, a partir de uma revisão integrativa, estudos que evidenciaram o potencial de macrófitas como bioindicadores de qualidade da água, a nível internacional. A pesquisa foi feita na plataforma National Center for Biotechnology Information (NCBI), utilizando os descritores *Aquatic pollution*, *Bioindicators* e *Aquatic macrophytes*. Como resultado foram encontrados quarenta e cinco artigos na busca inicial, e após a leitura dos resumos, cinco trabalhos foram selecionados para categorização, análise e interpretação. A revisão integrativa revelou que as macrófitas aquáticas: *Ulva australis*, *Zostera muelleri*, *Ruppia megacarpa*, *Eichharnia crassipes*, *Salvina minimos*, *Azolla caroliniana*, *Ludwigia stolonifera*, *Echinochloa stagnina*, *Phragmites australis*, *Ceratophyllum demersum*, *Rhodophyta* sp. (algas vermelhas), *Ochrophyta* sp. (alga marrom) e *Chlorophyta* sp. (alga verde) tem potencial para atuarem como bioindicadores, sendo boas candidatas para processos de fitorremediação, devido ao seu potencial para acumular altas concentrações de metais pesados, podendo ser utilizadas em avaliações de impacto ambiental, tais como avaliações da qualidade da água, mostrando-se uma alternativa viável e sustentável para o tratamento de corpos hídricos poluídos.

Palavras-chave: Plantas Aquáticas, Poluição da Água, Bioindicador, Revisão Integrativa.

## ABSTRACT

Industrial and population growth, linked to fundamental sanitation problems, has contributed to the pollution of waterways due to the inadequate disposal of waste, such as domestic effluents and heavy metals. This way, the present work sought to analyze, based on an integrative review, studies highlighting the potential of macrophytes as bioindicators of water quality at an international level. The research was conducted on the National Center for Biotechnology Information (NCBI) platform using aquatic pollution, bioindicators, and macrophyte descriptors. As a result, forty-five articles were found in the initial search, and after reading the abstracts, five works were selected for categorization, analysis, and interpretation. The integrative review revealed that aquatic macrophytes *Ulva australis*, *Zostera muelleri*, *Ruppia megacarpa*, *Eichharnia crassipes*, *Salvina minimos*, *Azolla caroliniana*, *Ludwigia stolonifera*, *Echinochloa stagnina*, *Phragmites australis*, *Ceratophyllum demersum*, *Rhodophyta* sp. (red algae), *Ochrophyta* sp. (brown algae) and *Chlorophyta* sp. (green algae) has the potential to act as bioindicators, being good candidates for phytoremediation processes, due to its potential to accumulate high concentrations of heavy metals, and can be used in environmental impact assessments, such as water quality assessments, showing that a viable and sustainable alternative for treating polluted water bodies.

**Keywords:** Aquatic Plants, Water Pollution, Bioindicator, Integrative Review

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 O início das Civilizações e a utilização dos recursos naturais: Um breve panorama

Os humanos que viveram no período Neolítico (aproximadamente 5.000 a.C.) mudavam constantemente o lugar de habitação, e por este motivo foram denominados de nômades, usufruindo dos recursos naturais de uma região até que estes fossem esgotados, então mudavam-se para outra área (Martins, 2016). Contudo, segundo Mazoyer e Roudart (2010):

Todavia em certos lugares privilegiados, ricos em produtos vegetais conserváveis (grãos, frutos secos...), ou em produtos animais sempre renovados (pontos de passagem obrigatória de pássaros migrantes ou de outros animais, beira do mar ou de lagos e rios ricos em peixes...), os recursos são suficientemente abundantes para permitir que grupos importantes se instalem durante toda uma estação, e até mesmo se sedentarizem graças ao progresso dos procedimentos de conservação (secagem, defumação, frio, silos...) (Mazoyer; Roudart, 2010, p. 66).

Para que se tornassem sedentários, foi essencial o desenvolvimento da agricultura, que, por sua vez, exigia terras férteis, e estas eram proporcionadas pelos rios (Martins, 2016).

Entre 10.000 e 5.000 anos antes de nossa Era, algumas dessas sociedades neolíticas tinham, com efeito, começado a semear plantas e manter animais em cativeiro, com vistas a multiplicá-los e utilizar-se de seus produtos. Nessa mesma época, após algum tempo, essas plantas e esses animais especialmente escolhidos e explorados foram domesticados e, dessa forma, essas sociedades de predadores se transformaram por si mesmas, paulatinamente, em sociedades de cultivadores (Mazoyer; Roudart, 2010, p. 70).

Com o domínio da agricultura, o homem buscou se fixar próximo às margens dos rios, onde teria acesso à água potável e a terras mais férteis. Com isso, a produção de alimentos, que antes era destinada ao consumo imediato, tornou-se muito grande, o que levou os homens a estocarem alimentos. Conseqüentemente a população começou a aumentar, pois havia alimentos para todos. Assim, começaram a surgir as primeiras vilas ou aldeias e, depois, as cidades (Sabadini, 2021).

Os rios tiveram grande importância para o surgimento das primeiras civilizações da humanidade, e conseqüentemente no processo de formação das cidades. Desde muito cedo, os

homens procuraram habitar em regiões próximas aos rios, pois nestas regiões existia abundância de água potável para os membros da tribo e para os seus animais (Faber, 2011).

A exploração dos recursos naturais orientou o surgimento das grandes cidades, e como a água sempre representou um recurso natural importante, as pessoas superaram muitos obstáculos para obter este recurso. Contudo, esta nem sempre foi uma tarefa simples, e ao longo do tempo, diversas tecnologias foram utilizadas nas cidades para obter, armazenar e fornecer água pois, além do consumo humano, a água também era necessária para a agricultura e a pecuária, e essas atividades foram extremamente importantes na evolução da civilização (Mumford, 1982).

No final do período neolítico, e princípio do período histórico, isto é, aproximadamente no ano 4.000 a.C., começam a se formar os primeiros agrupamentos humanos, com características de cidade. O aumento desta densidade populacional vai, aos poucos, transformando as antigas aldeias em cidades, provocando conseqüentemente alterações na esfera da organização social (Abiko, 1995).

A vida dos homens começava a deixar de ser simples para tornar-se complexa, provocando a organização das sociedades que surgiam. As primeiras cidades foram formadas nas regiões da Mesopotâmia e do Egito, locais onde os homens passaram a se organizar em sociedade. Nestas cidades surgiu o comércio, que no início era feito somente com os excedentes da produção, mas com o tempo, o plantio também foi destinado à venda e/ou a troca (Martins, 2016).

Segundo Mcevedy (1990), a transição do modo de vida do Mesolítico para o Neolítico é um momento de virada no desenvolvimento social e econômico do homem, comparável, em importância, às revoluções industrial e científica dos séculos XIX e XX.

A sociedade se torna capaz de evoluir e de projetar a sua evolução. A cidade, centro maior desta evolução, não só é maior do que a aldeia, mas se transforma com uma velocidade muito maior. Assim, com o contínuo aumento populacional, somado à consolidação da prática da agricultura intensiva, surgiu um novo estilo de vida civilizador. A abertura de novos caminhos para a sociedade, com mudanças profundas na composição e atividades da classe dominante, influenciou toda a sociedade, e induziu mudanças fundamentais, na economia e nas ordens social, tecnológica e ideológica (Abiko, 1995).

A evolução das cidades provocou o aumento dos grandes centros de consumo de água e conseqüentemente, o processo de urbanização. Independentemente do tamanho da cidade,

seja esta pequena, média ou grande, todas têm suas lâminas d'águas poluídas, devido aos investimentos urbanos voltados à indústria (Monteiro; Viadana, 2009).

A Revolução Industrial foi um processo de grandes transformações sociais, econômicas e tecnológicas, iniciada com os motores a vapor, transformando os processos que até então eram feitos de modo artesanal, levando as pessoas a praticarem o êxodo rural, na procura de melhores condições de vida. A criação do motor a vapor foi de grande importância, já que poderia substituir os antigos meios de realização de trabalho como animal, humana ou proveniente da força da água (Pasquini, 2020).

Desde a revolução industrial, a produção tem sido uma das principais atividades econômicas da sociedade moderna; porém, ela tem carregado consigo um grande impacto ao meio ambiente em termos globais. Apesar de serem essenciais para a vida humana, indústria e meio ambiente estão em constante disputa, pois os meios de produção causam grandes impactos nos recursos naturais, que acabam repercutindo na fauna e flora. Deste modo, há uma relação direta com os efeitos e impactos dos processos industriais no meio ambiente, e em toda a cadeia produtiva (Olivier *et al.*, 1996).

Por outro lado, a industrialização, percebida como resultado da pressão exercida pelo crescimento da população sobre os recursos limitados do planeta (Yamada, 2007), é interpretada como o efeito da acumulação de capital e da maximização da taxa de lucro em curto prazo, que induzem os padrões tecnológicos de uso e ritmos de exploração da natureza, bem como formas de consumo, que vêm esgotando as reservas de recursos naturais, degradando a fertilidade dos solos, poluindo as águas e afetando as condições de regeneração dos ecossistemas naturais (Leff, 2001).

Com os complexos avanços tecnológicos, científicos e econômicos houve uma rápida modificação nos sistemas de produção. Este novo cenário proporcionou uma pressão muito grande sobre os recursos naturais, muitas vezes, alterando de modo irreversível estes recursos (Yamada, 2007).

Diante dessa revolução tecnológica e, conseqüentemente, das práticas econômicas predatórias, a atuação dos homens tem causado progressivas alterações nos diferentes componentes da natureza, acarretando o comprometimento da funcionalidade do sistema de produção, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico, e causando graves processos degenerativos no ambiente natural (relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos) (Yamada, 2007).

De acordo com Hegel e Melo (2016), a deterioração da qualidade da água tornou-se um dos grandes problemas sociais ao longo do século XX. A poluição do ambiente aquático causada pelas diversas atividades humanas, desde a mineração até o lixo doméstico, liberam metais pesados na natureza todos os dias.

A qualidade da água também tem sido colocada à prova a partir da poluição dos lençóis freáticos, por meio da utilização de fertilizantes na agricultura, por exemplo, que podem levar ao aumento das concentrações de nutrientes, especialmente azoto e fosfato, nas águas subterrâneas ou nas massas de água, levando à eutrofização de lagos e reservatórios, bem como de riachos e rios. Outra fonte de contaminação são os depósitos de lixo urbanos que pela lixiviação do chorume, sobretudo nos períodos chuvosos, entram em contato com a água dos rios e lençóis freáticos (Santos, 2017).

## **1.2 Os recursos hídricos: cenário mundial, nacional e regional**

O crescimento da população humana mundial foi explosivo no último século, e nos últimos quinze anos, a população aumentou em um bilhão de pessoas. Desta forma, recursos ambientais antes considerados inesgotáveis estão num processo de aumento progressivo de demanda e disputa pelo uso. A água está sendo utilizada em maior quantidade, acarretando na a captura de água superficial e subterrânea de forma massiva para atender às demandas pelo uso e abastecimentos (Beyruth, 2008).

De acordo com Jayaswal (2018), a água é considerada a fonte mais essencial de vida e uma parte importante dos nossos recursos naturais. Contudo a rápida industrialização, urbanização e falta de sensibilização das pessoas, para considerarem a água como um bem crucial, vem promovendo uma crescente ameaça ao abastecimento de água e à segurança, que pode atingir cerca de 80% da população mundial. Além disso, cerca de 2% da água do planeta é doce, e apenas 0,036% da água está acessível para uso; o restante 1,96% está presente nas calotas polares, poços subterrâneos e aquíferos. Dessa forma, os recursos de água doce estão se tornando indisponíveis em função da grande quantidade de poluição nas fontes de água potável, resultado da falta de conscientização ambiental por parte da sociedade, indústrias e autoridades governamentais.

Em termos absolutos, o Brasil possui um dos recursos hídricos mais disponíveis do mundo, distribuído em diferentes proporções pelas cinco regiões do país. Os recursos hídricos superficiais da região Norte respondem por 68,5%; as regiões Centro e Oeste respondem por

15,7%, a região Sul responde por 6,5%, a região Sudeste responde por 6% e a região Nordeste responde por 3,3%. Contudo, estas duas últimas áreas têm elevadas densidades populacionais, resultando numa baixa disponibilidade de água *per capita*. Nas áreas industrialmente desenvolvidas, existem conflitos hídricos e elevados níveis de contaminação dos cursos de água (Prado *et al.*, 2017).

Apesar de concentrar a maior reserva de água doce superficial do planeta (12% do total), muitas regiões do Brasil ainda sofrem com a oferta limitada deste recurso. Além da distribuição desigual no território (81% dos recursos hídricos estão limitados à região hidrográfica da Amazônia), o mau uso e a poluição também são problemas que comprometem a qualidade e disponibilidade da água no país (Pensamento verde, 2013).

No Brasil e no mundo a escassez de água é agravada em virtude do crescimento populacional, a urbanização e a industrialização, além da falta de manejo e usos sustentáveis dos recursos naturais, já que é um fator limitante para atividades humanas, produção de bens e principalmente nas mais variadas agriculturas. A relação entre meio ambiente e agricultura influencia na natureza dos seus efeitos nos demais setores econômicos; com certos sistemas agrícolas exercendo pressões prejudiciais para o ambiente, através do acúmulo de nutrientes e pesticidas no solo e na água, causado pelo uso de fertilizantes químicos na agricultura, o que acaba contribuindo na poluição desses recursos (Beyruth, 2008).

Dentre estes, o nitrogênio e o fósforo presentes nos corpos hídricos, são importantes nutrientes que compõem a cadeia alimentar, porém, em altas concentrações nas águas superficiais, e associados às boas condições de luminosidade, provocam o enriquecimento do meio, fenômeno este denominado eutrofização. Smith e Schindler (2009) destacam ainda que, a eutrofização pode levar a alterações nas características da água, sabor, turbidez, cor, redução dos níveis de oxigênio dissolvido, entre outros, culminando no crescimento excessivo de plantas aquáticas, mortalidade de organismos aquáticos e comprometimento nos múltiplos usos (Barreto, 2013).

O Brasil é um país privilegiado, posto que nos seus mais de 8.500.000 Km<sup>2</sup> de extensão territorial reúne uma enorme biodiversidade, vários ecossistemas e imensas reservas de água doce, que inclui o maior rio do mundo em volume da água, o rio Amazonas, e imensos aquíferos subterrâneos (ANA, 2013). Apesar de ser um país privilegiado em relação aos recursos hídricos, dispondo de cerca de 12% de toda água doce superficial do planeta, questões como a escassez hídrica, a poluição dos corpos d'água, as crises de abastecimento

em diversas regiões do Brasil, e os eventos extremos relacionados às cheias e alagamentos, se apresentam cotidianamente (Andrade; Nunes, 2014).

Os problemas com o meio ambiente, ocasionados pelo aumento de águas residuais não tratadas ou parcialmente tratadas, e de águas residuais industriais nos ecossistemas naturais, já foram notificados há quase uma década (Galal; Farahat, 2015). A poluição por metais residuais dos ecossistemas aquáticos tornou-se um problema global crescente, e à medida que a população aumenta, a expansão da urbanização e industrialização promovem toxicidade, que representa uma ameaça não apenas para a vida marinha, mas também para os seres humanos, pois são elementos prejudiciais aos organismos entrando na hidrosfera, poluindo rios, lagos e oceanos (Galal; Farahat, 2015).

A poluição e a degradação dos recursos hídricos são decorrentes das atividades industriais, agropecuárias, de mineração, e outros tipos de exploração que impõem à água um contexto de ameaça, onde cada vez mais a qualidade e quantidade disponível deste recurso no planeta correm riscos. A escassez hídrica tem como consequência a dificuldade de acesso à água pela população. Esta dificuldade além de estar relacionada às características naturais da área, se associa também, à falta ou ineficiência de uma gestão pública adequada do abastecimento doméstico de água, o que pode levar à população um quadro de insegurança hídrica (Primo *et al.*, 2022).

No Estado do Pará, a população está estimada em aproximadamente 8.690.745 habitantes, tendo cerca de 5.9% desta com atendimento de rede de esgotos (IBGE, 2020). A capital paraense, conhecida por seus rios, está presente no ranking de saneamento do Instituto Trata Brasil, uma Organização da Sociedade Civil de Interesse Público, formada por empresas com interesse nos avanços do saneamento básico, e na proteção dos recursos hídricos do país. Segundo este Instituto, Belém aparece como uma das piores cidades do país, onde 15,91% da população urbana tem acesso à coleta de esgoto, no entanto apenas 2,82% do esgoto é tratado (Trata Brasil, 2021). Nesse sentido, o lançamento de esgoto *in natura* nos rios promove a poluição e contaminação dos corpos hídricos por efluentes domésticos, e são preocupações pertinentes, visto a necessidade de água para o ecossistema, social, cultural e econômico (Costa, 2022).

A região do Tapajós é a que mais concentra garimpo ilegal em toda a Amazônia, segundo o coordenador de Fiscalização do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), André Alamino (Console, 2019). A garimpagem ilegal é uma

grande vilã, pois promove aumento do nível de mercúrio na água, através das dragas, embarcações usadas para remexer o fundo dos rios em busca de minerais, como ouro, principal elemento procurado na região, o que acaba contaminando o rio Tapajós. Neste sentido, os peixes do Tapajós se contaminam quando consomem as algas do rio contaminadas por mercúrio (Console, 2019).

A intoxicação por metilmercúrio (MeHg) um contaminante ambiental altamente tóxico, que pode ser bioacumulado em diferentes tecidos, e consequentemente induzir disfunções celulares em diversos órgãos, especialmente no sistema nervoso central, se apresenta clinicamente de forma sorrateira, apresentando alterações de equilíbrio, coordenação e algumas dormências pelo corpo, que são os principais sintomas, podendo durar anos até virem outros mais graves como convulsões, rigidez, declínio grave da memória e da capacidade de raciocínio (Roos, 2012).

Além do Rio Tapajós, Santarém também é banhada por diversos igarapés, lagos e demais rios. Fontes de água doce, esses mananciais vêm sendo alvo de degradação, em grande parte, pela ocupação humana. A poluição causada pela falta de saneamento, o que leva ao descarte do esgoto não tratado nesses ciclos d'água, é um dos processos de degradação das águas superficiais, que se continuar ocorrendo de forma indiscriminada pode transformar os igarapés de Santarém em verdadeiros esgotos a céu aberto (Vieira, 2017).

Alguns igarapés como Urumari e Irurá, e o Lago do Juá, ganharam manchetes nos últimos anos em razão da poluição e do processo de assoreamento. Entre os principais indicadores da poluição e degradação dos igarapés e lagos de Santarém, estão a retirada de mata ciliar, o desmatamento acima de 30 metros que retira o filtro natural de materiais sólidos e matérias orgânicas, o assoreamento e a ocupação desordenada de áreas urbanas que não contam com saneamento básico (Vieira, 2017).

A crescente contaminação da água pelo lançamento de efluentes domésticos, industriais não tratados, e a presença dos garimpos, vem sendo um grande problema enfrentado pela humanidade promovendo a contaminação de cursos d'água e aquíferos. A poluição da água é um dos problemas mais perigosos que afetam tanto os países em desenvolvimento como os desenvolvidos. Sabendo que há áreas desprovidas de saneamento básico, trazendo riscos para a população que é consumidora de água imprópria, causando doenças como cólera, hepatite A, giardíase, amebíase e leptospirose, faz-se necessário ter o conhecimento das técnicas de biorremediação como meio sustentável, para que se possa

lançar mão de um serviço natural e adequado de retirada ou redução de contaminantes dos corpos hídricos (Rocha, 2019).

De acordo com dados do sistema nacional de Informações de Saúde (SINIS), 63,5% dos brasileiros têm acesso a água tratada, contudo quase 35 milhões de brasileiros não têm acesso a esse serviço básico (Rocha, 2019).

Outra fonte de poluição são os lixões municipais, que ficam em contato com rios e lençóis freáticos, e devido à lixiviação do lixiviado, principalmente no período chuvoso, ocorre a incidência de chorume, que surge pela decomposição dos resíduos, e acaba se infiltrando no solo causando sua poluição, devido à geração de líquidos percolados (Barreto *et al.*, 2013).

Os tipos de uso e ocupação do solo, a destinação inadequada de resíduos sólidos, domésticos e industriais agravam o processo de poluição das águas e degradação dos ambientes urbanos, isso porque os efluentes não tratados, como lixo e esgoto, têm seu destino final em cursos d'água como rios, lagos e etc. Por outro lado, aumenta a contínua pressão e procura de água por parte da população, bem como por padrões para sua conservação, e seu uso sustentável (Muñoz, 2000).

Diante do problema da poluição hídrica, das limitações no abastecimento de água, nomeadamente a escassez e o crescimento populacional indiscriminado, surgiu a Política Nacional de Águas, formulada pela Lei Federal 9.433/1997, mais conhecida como Lei das Águas, que determina todo processo de gestão dos recursos hídricos brasileiros. O objetivo da Lei das Águas é promover a disponibilidade de água e a utilização racional e integrada dos recursos hídricos brasileiros para a atual e as futuras gerações (Brasil, 1997).

Na retaguarda da Lei das Águas, a Política Estadual de Recursos Hídricos do Pará, instituída pela Lei nº 6.381/2001, visa garantir os padrões de qualidade adequados aos respectivos usos e utilização racional e integrada da sociedade, que tem como objetivo criar condições de conhecimento técnico e científico sobre a gestão dos recursos hídricos (SEMA, 2006).

Estas leis, de certa maneira, garantem à sociedade o uso dos recursos hídricos, que apesar de parecer um direito universal, já chegou a ser privatizado. No ano de 2000, em Cochabamba, terceira maior cidade da Bolívia, a multinacional norte-americana Bechtel se instalou na cidade e privatizou a água. Com isso, veio o aumento no valor da tarifa. Além disso, a Aguas del Tunari, consórcio integrado por Bechtel e Edison (EUA), Abengoa

(Espanha), entre outras, cobrava pela água que os moradores obtivessem dos rios, ou até de seus próprios poços artesianos, e caso não pagassem, havia o risco de perder suas casas. Com um território majoritariamente habitado por indígenas, começa uma forte mobilização, e surge um levante popular contra a privatização que acabou sendo denominado de “A Guerra das Águas”. A mobilização saiu vitoriosa, e conseguiu barrar a privatização, e conseqüentemente a retirada da empresa do país. Este acontecimento retrata a necessidade de fortalecer a luta contra toda e qualquer forma de privatização da água, seja a privatização do setor de saneamento ou dos rios e aquíferos brasileiros (Brasil de fato, 2020).

### **1.3 Alternativas biotecnológicas: os biodicadores de poluição ambiental**

De acordo com Faleiro *et al.*, (2011), a biotecnologia é uma área da ciência voltada à utilização de sistemas e organismos vivos, ou seus derivados na criação e melhoria de técnicas e produtos. A biotecnologia engloba as ciências biológicas básicas (como biologia molecular, embriologia, genética, etc), ciências aplicadas (como imunologia e bioquímica), além de áreas tecnológicas como, nanotecnologia, informática e robótica. Os métodos biotecnológicos abrangem diversos procedimentos de modificação de organismos vivos, desde os mais simples como a domesticação de animais e o cultivo de plantas, até os processos de aperfeiçoamento como seleção artificial, hibridização e engenharia genética.

A aplicação mais direta da biotecnologia na área ambiental está relacionada à biodegradação, ou seja, à decomposição de materiais ou substâncias químicas pela ação dos seres vivos, sobretudo, pela ação dos microrganismos. A tecnologia baseada na biodegradação é chamada de biorremediação, que é a utilização de seres vivos ou seus componentes (geralmente microrganismos ou enzimas) na recuperação de áreas contaminadas, degradando compostos poluentes (Faleiro *et al.*, 2011).

O uso de organismos individuais para avaliar a carga de contaminantes é conhecido como biomonitoramento, e tal organismo é classificado como 'bioindicador'. Os bioindicadores são organismos, populações ou comunidades cuja presença, abundância e distribuição indicam a extensão de determinados impactos ambientais nos ecossistemas aquáticos, e devido à sua sensibilidade, eles podem ou não tolerar mudanças em seu ambiente (Zatelli, 2019).

O processo de degradação pode não ser efetivo se o contaminante apresentar outras substâncias, tais como, metais pesados (chumbo e mercúrio), ou se o meio apresentar um pH

extremo ou outras condições que dificultam a ação microbiana. No caso dos metais pesados, a fitorremediação (utilização das plantas no processo de recuperação de áreas contaminadas) é útil, pois muitas plantas são capazes de acumular essas substâncias tóxicas em suas raízes ou partes aéreas, as quais são colhidas e eliminadas da área contaminada (Faleiro *et al.*, 2011).

Diante dos crescentes processos de degradação ambiental, relatados acima, a presença de organismos indicadores biológicos em determinada área torna-se relevante, visto que a sua existência ou inexistência pode indicar características ambientais como, por exemplo, altas concentrações de nitrogênio e fósforo (Santos, 2017).

A poluição ambiental causada por metais pesados é cada vez mais objeto de debate e pesquisas, que buscam controle e/ou purificação de áreas contaminadas, pois essa poluição pode prejudicar a saúde e o desenvolvimento de organismos, e o equilíbrio de ecossistemas inteiros. A contaminação da água é uma das mais preocupantes por ser um insumo indispensável não só aos organismos vivos, mas também à produção e ao desenvolvimento social e econômico (Galal; Farahat, 2015).

Neste sentido, a fitorremediação é uma alternativa que tem sido utilizada em projetos de biorremediação de ambientes aquáticos, contaminados com metais pesados. Esta tecnologia utiliza plantas aquáticas como as macrófitas, que contém propriedades fisiológicas para remover, tornar inerte ou conter poluentes dispersos no ambiente, sendo denominadas por esta característica como hiperacumuladores de metais pesados (Rodrigues, 2016).

O uso dessas plantas aquáticas para a remoção de metais pesados de águas residuais tem recebido muitas atenções, pois estas plantas submersas desempenham papéis importantes na manutenção da saúde dos ecossistemas aquáticos, pela sua capacidade de absorver nutrientes diretamente dos corpos d'água (El-khatib *et al.*, 2014). Desta forma, as macrófitas aquáticas são consideradas bioindicadores de qualidade, uma vez que apresentam muitas vantagens sobre outros indicadores de monitoramento da qualidade da água (Hegel; Melo, 2016).

Além disso, as macrófitas podem concentrar altos níveis de metais em sua biomassa, que são tóxicos para outras espécies que crescem nas mesmas condições, e neste sentido, os sistemas de tratamento baseados em plantas aquáticas são tecnologias de baixo custo que podem ser adotadas pelos países em desenvolvimento para tratar águas residuais, especialmente águas residuais contaminadas com metais tóxicos (Rodrigues, 2016).

Pelo exposto, este trabalho apresenta uma análise documental, baseada em revisão integrativa do uso de macrófitas aquáticas como bioindicadores de poluição da água, visando seu uso para a despoluição de rios, lagos e mares contaminados, através do processo de fitorremediação.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

- Prospectar espécies de macrófitas aquáticas, com potencial capacidade de indicação da poluição de águas, por meio de revisão integrativa em artigos científicos, nos últimos cinco anos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Empregar os indexadores *Aquatic pollution*, *Bioindicators*, *Aquatic macrophytes* na busca por estudos que utilizam plantas como indicadores de poluição ambiental;
- Utilizar a plataforma National Center for Biotechnology Information (NCBI) na busca por Artigos científicos, publicados no período de 2018 a 2023;
- Selecionar artigos científicos, após a busca com os indexadores, por meio da análise do título e resumo;
- Sistematizar as informações obtidas nos artigos selecionados sobre a utilização de macrófitas como bioindicadores.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA

Segundo Cunha *et al.*, (2014) no intuito de fundamentar teoricamente um assunto utilizando informações dos resultados de pesquisas de outros autores, os trabalhos científicos podem ser categorizados como artigos de revisão de literatura. A revisão de literatura pode ser classificada em duas modalidades, como revisão narrativa ou revisão bibliográfica sistemática.

Destaca-se a revisão bibliográfica sistemática que possui alguns itens importantes como: tipo de questão específica e a seleção baseada em critérios aplicados uniformemente, avaliação criteriosa e reprodutível dos dados, síntese quantitativa do conhecimento produzido, e os efeitos que produzem na prática. A revisão bibliográfica sistemática pode ser decomposta em: meta-análise, revisão sistemática, revisão qualitativa e revisão integrativa (Cunha *et al.*, 2014).

Dessa forma, o método de revisão integrativa da literatura tem o propósito de resumir os dados encontrados na análise investigativa, sobre um assunto ou tema, de maneira ordenada, organizada e ampla. A revisão integrativa é completa porque oferece entendimento sobre uma determinada questão, estabelecendo, assim, uma estrutura robusta de conhecimento (Ercole *et al.*, 2014).

De acordo com os autores Ercole *et al.*, (2014), o pesquisador pode usar o método da revisão integrativa com diversas intenções, sendo no propósito de definir um conceito, compreender as teorias ou revisar os procedimentos metodológicos de um estudo característico.

A revisão integrativa pode ser definida como um método que proporciona o aprofundamento do conhecimento sobre determinada temática, para que o pesquisador possa analisar os resultados encontrados, e aplicá-los em suas pesquisas. O propósito com finalidade ampla ou limitada é rever os métodos, as teorias e os resultados de pesquisas específicas com amostras qualitativas ou quantitativas, ou teóricas, ou metodológicas. A análise realizada na revisão integrativa é uma análise narrativa (Cunha *et al.*, 2014).

Uma revisão integrativa é um método específico, que resume o passado da literatura empírica ou teórica, para fornecer uma compreensão mais abrangente de um fenômeno particular (Broome, 2006). Esse método de pesquisa objetiva traçar uma análise sobre o conhecimento já construído em pesquisas anteriores sobre um determinado tema. A revisão integrativa possibilita a síntese de vários estudos já publicados, permitindo a geração de novos

conhecimentos, pautados nos resultados apresentados pelas pesquisas anteriores (Botelho *et al.*, 2011).

Pelo exposto, a utilização de uma revisão integrativa foi adotada no presente trabalho pelo potencial demonstrado para aglutinar informações sobre plantas aquáticas com potencial bioindicador. E dentre estas plantas, as macrófitas foram selecionadas por serem bioindicadores de qualidade da água, além de desempenharem uma importante função na manutenção do equilíbrio dos ambientes aquáticos, na produção da biomassa, no controle da erosão hídrica, onde sua presença pode melhorar a qualidade das águas pela sua capacidade de absorver cargas excessivas de nutrientes e outros elementos.

Macrófitas aquáticas são plantas herbáceas que crescem na água, em solos cobertos ou saturados com água, englobando vários grupos taxonômicos e classificadas de acordo com o seu habitat (Chambers *et al.*, 2008). As macrófitas aquáticas possuem grande capacidade de adaptação e amplitude ecológica, sendo encontradas em rios, lagos, reservatórios, cachoeiras, fitotelmos<sup>1</sup>, regiões costeiras, em água salgada, salobra e doce, assim como em ambientes alterados (Costa, 2023).

As macrófitas aquáticas são um grupo muito diversificado de organismos, englobando algas taloides, musgos e hepáticas, filicíneas, coníferas e plantas com flores (Figura 1) que crescem em águas interiores e águas salobras, estuários e águas costeiras (Chamber *et al.*, 2008). Estes seres são diversificados englobando desde organismos flutuantes de pequenas dimensões, até grandes árvores variando em tamanho desde 0,5 mm a 2,5 m de diâmetro, com crescimento periódico ou ativo o ano todo (Esteves, 2011).

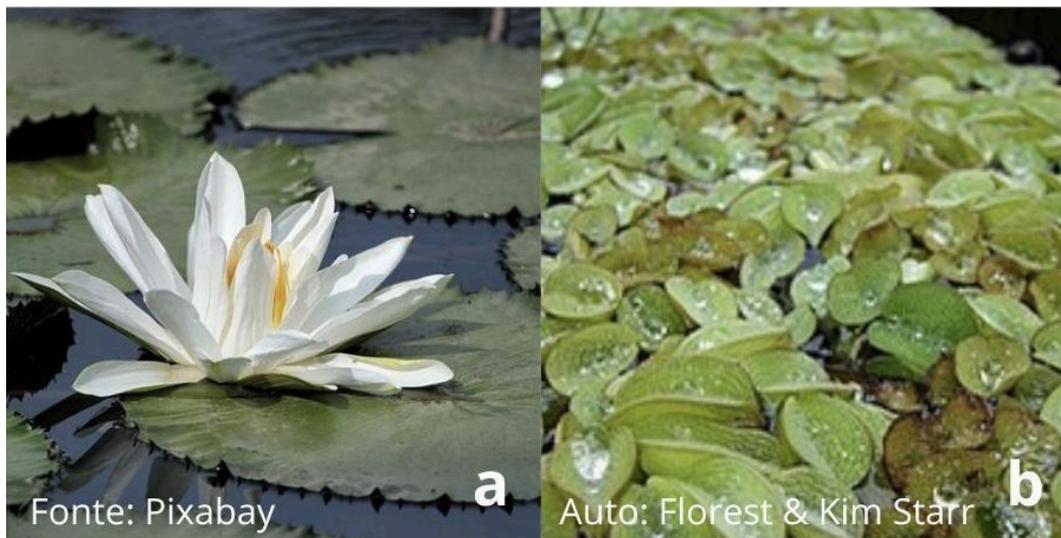
Figura 1: Exemplos de macrófitas: (a) musgo da classe Bryidae, (b) Hepática talosa da espécie *Lunularia cruciata* e (c) Planta com flores da espécie *Eichhornia crassipes*. As imagens (a) e (b) podem ser encontradas nas margens de cursos d'água, e (c) *Eichhornia crassipes* é uma planta nativa da América do Sul, abundante no pantanal.



<sup>1</sup> Os fitotelmos são depósitos de água pluvial armazenados em cavidades e depressões de plantas terrestres, estejam estas inseridas em folhas modificadas, axilas foliares, flores, frutos ou mesmo no caule da planta

Em função da sua diversidade, as macrófitas apresentam funções e morfologias distintas, podendo ser encontradas nos corpos d'água de maneira emergente ou submersa (Figura 2), com raízes de diferentes formas e tamanhos, flutuantes ou fixas ao substrato (Santos, 2022).

Figura 2: Diversidade de formas encontrada nas macrófitas (a) *Nymphaea alba* enraizada e flutuante e (b) *Salvinia molesta* flutuante.



A importância das macrófitas reside na sua participação na estruturação de comunidades que têm a água como habitat, uma vez que elevada biodiversidade de animais e vegetais podem se associar a elas (Thomaz; Cunha, 2010). Estes organismos apresentam biomassa e produtividades altas, influenciando na ciclagem de nutrientes e fluxo de energia da teia alimentar, além de funcionarem como ecótono e abrigo (Costa *et al.*, 2023).

As macrófitas são bioindicadoras da qualidade de água e atuam no ciclo biogeoquímico, como fonte de carbono e mobilização de fósforo, influenciando a dinâmica e hidrologia dos ecossistemas de água doce (Pompêo, 2008).

Plantas bioindicadoras são aquelas que se desenvolvem adequadamente em ambientes contendo substâncias poluentes específicas. Assim, a partir da presença destas plantas no ambiente é possível inferir qualitativamente as condições ambientais a partir da identificação e caracterização de cada planta (Pompêo, 2008; Rodrigues, 2011).

As macrófitas são plantas superiores de tamanho macroscópico presentes em ambientes aquáticos e de grande importância por sua contribuição no funcionamento de um ecossistema. Essas plantas aquáticas são largamente utilizadas como

bioindicadoras da qualidade da água de ambientes lóticos<sup>2</sup> e lânticos<sup>3</sup> que desempenham um papel muito importante na acumulação de elementos metálicos (São Paulo, 2011, p. 326).

De acordo com Pedralli (2003), a utilização de macrófitas aquáticas como bioindicadoras de qualidade de águas superficiais mostra-se uma excelente alternativa e de baixo custo, uma vez que a presença destes organismos, em grande maioria, fornece informações sobre o ambiente onde estão inseridas.

As macrófitas aquáticas têm alto potencial de remediação de micronutrientes devido ao seu rápido crescimento geral e alta produção de biomassa. São filtros naturais que mitigam os poluentes transportados pela água, sendo consideradas uma opção de limpeza eficaz, para melhorar a qualidade das águas superficiais; além disso, têm sido utilizadas globalmente nas últimas décadas para limpar águas poluídas (Galal; Farahat, 2015).

Neste sentido, o presente trabalho buscou analisar estudos que demonstrassem o uso das macrófitas aquáticas como bioindicadores de poluição da água, assim como o seu emprego no processo de fitorremediação, uma vez que essas plantas têm se mostrado uma alternativa sustentável e eficiente para a recuperação de ecossistemas aquáticos contaminados.

---

<sup>2</sup> Lótico é o sistema aquático que está presente nos rios, nos riachos e nos córregos, se caracteriza pelo fluxo de água constante que se desloca da nascente à foz

<sup>3</sup> Lântico se refere a lagos, lagoas, reservatórios e pântanos, caracterizado por águas paradas e sem corrente.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa caracteriza-se como qualitativa, do tipo documental. Quanto à natureza trata-se de uma pesquisa básica, pois visa aprofundar os conhecimentos sobre a utilização de macrófitas como bioindicadores. Para a construção do estudo foram seguidas seis etapas da revisão integrativa (Cunha *et al.*, 2014).

A primeira etapa foi a identificação do tema e seleção da questão de pesquisa: definição da estratégia de busca, dos descritores e a base de dados para coleta. A segunda etapa foi a seleção dos critérios de inclusão e exclusão. Na terceira etapa houve a seleção dos artigos com base na leitura do título, resumo e palavras-chave. A quarta etapa foi a categorização dos estudos selecionados: elaboração e uso na íntegra dos trabalhos escolhidos, categorização e análise das informações, formação da biblioteca do pesquisador e análise crítica dos estudos selecionados. A quinta etapa foi a análise e interpretação dos resultados. A sexta etapa foi a apresentação da revisão integrativa: criação de um documento que contenha detalhadamente a revisão, e proposta para estudos futuros (Cunha *et al.*, 2014).

Este estudo apresenta o uso de macrófitas aquáticas como bioindicadores de poluição de águas, a partir da consulta de estudos já publicados. A busca foi realizada na plataforma National Center for Biotechnology Information (NCBI) (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>), e os critérios de inclusão dos trabalhos foram: a publicação do estudo em artigo científico, a presença dos descritores em língua inglesa: *Aquatic pollution*, *Bioindicators*, *Aquatic macrophytes*, e o ano de publicação, que correspondeu ao período de 2018 a 2023.

Como critério avaliativo foram selecionados os trabalhos com maior detalhamento sobre o tema, após leitura do título, palavras-chave e resumo. Os critérios de exclusão foram os estudos apresentados na forma de livros, teses e dissertações, publicações anteriores a 2018, assim como trabalhos que não apresentassem os descritores selecionados no título ou resumo ou palavra-chave.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo apresenta o resultado da revisão integrativa, trazendo trabalhos encontrados na plataforma NCBI, especializada em promover o acesso a artigos científicos, utilizando os indexadores *Aquatic pollution*, *Bioindicators* e *Aquatic macrophytes*, para a seleção dos trabalhos existentes sobre o uso e potencial das plantas aquáticas como bioindicadoras de poluição da águas. A pesquisa evidenciou a necessidade de uma busca em periódicos estrangeiros, pois um breve exame em bases de dados nacionais não encontrou grande número de trabalhos relacionados a essa temática. Além disso, objetivou investigar o que estava sendo discutido a respeito da temática nos últimos cinco anos.

Com o comprimento das etapas da revisão integrativa, foi obtido como resultado da busca, nos últimos cinco anos, quarenta e cinco (45) artigos adequados aos critérios de inclusão. Após a análise do resumo, quarenta (40) artigos foram descartados por estarem em desacordo com a temática do uso de macrófitas aquáticas como bioindicadores vegetais, ou apenas abordavam de forma superficial. Dessa forma, restaram cinco (5) artigos selecionados para a leitura completa (Quadro 1).

Quadro 1: Resultado da revisão integrativa apresentando os títulos, autores, ano e DOI dos artigos selecionados

TÍTULO	AUTORES/ANO	DOI
Macrophytes as bioindicators of heavy metal pollution in estuarine and coastal	Farias <i>et al.</i> , 2018	<a href="https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.023">https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.023</a>
Bioquímica ambiental: as macrófitas aquáticas como fitorremediadoras e bioindicadoras de poluentes.	Santos <i>et al.</i> , 2020	<a href="https://doi.org/10.35642/rm.v4i2.461/">https://doi.org/10.35642/rm.v4i2.461/</a>
Phytoremediation of heavy metals by four aquatic macrophytes and their potential use as contamination indicators: A comparative assessment	Eid <i>et al.</i> , 2020	<a href="https://doi.org/10.1007/s11356-020-07839-9">https://doi.org/10.1007/s11356-020-07839-9</a>
Assessment of anthropogenic pollution by UV filters using macrophytes as bioindicators	Cadena-aizaga <i>et al.</i> , 2022	<a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155012">http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155012</a>
Estimation of background concentrations of macro-and trace elements in an aquatic plant as a basis for the passive biomonitoring of pollution	Polechońska; Klink, 2023	<a href="https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165652">https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165652</a>

**Fonte:** Elaborado pela autora (2023)

O quadro acima apresenta a síntese dos artigos selecionados. O título é mantido em inglês para preservar a originalidade do trabalho, e o DOI está disponível caso o leitor tenha interesse no artigo. Os artigos selecionados tratam sobre pesquisas que evidenciam as macrófitas com potencial bioindicador.

Dos cinco artigos encontrados, três estudos abordam o uso das macrófitas como bioindicadores de contaminação por metais pesados como ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e chumbo (Pb) (Farias, *et al.*, 2018; Cadena-aizaga, *et al.*, 2022; Polechońska; Klink, 2023), e os demais focam no uso das macrófitas como alternativa de despoluição de corpos hídricos poluídos por metais pesados, eutrofizados e poluição por filtros UV, abordando a fitorremediação realizada pelas macrófitas aquáticas, como alternativa de baixo custo para despoluição nos ecossistemas aquáticos (Santos, *et al.*, 2020; Eid, *et al.*, 2020).

De acordo com Santos *et al.*, (2020), a adição constante de poluentes nos corpos hídricos advindo de atividades antropogênicas contaminam o ambiente, e por consequência o ser humano. Partindo dessa problemática, vários tratamentos são utilizados para limpar esses resíduos, e a fitorremediação vem se tornando uma alternativa, por ser um processo eficaz, de baixo custo, acessível e ecológico. Esta estratégia utiliza as plantas para descontaminar áreas com o acúmulo de metais pesados, efluentes domésticos e industriais.

O mecanismo utilizado pelas plantas, na maioria das vezes, é a rizofiltração, que no caso das macrófitas, consiste na absorção dos contaminantes pela raiz. Os estudos de fitorremediação em macrófitas permitem avaliar o grau de contaminação do ambiente aquático, assim, a fitorremediação pode ser uma alternativa viável para tratar corpos hídricos eutrofizados. A poluição por lançamento de efluentes altera as características da água, principalmente sua transparência (cor), elevação da matéria no corpo hídrico (turbidez), e conseqüentemente, o aumento no número de espécies de macrófitas, já que proporciona um ambiente favorável para o desenvolvimento desses organismos (Santos, *et al.*, 2020).

No estudo realizado por Farias *et al.*, (2018) houve a seleção de locais no estuário de Derwent, localizado no sul da Tasmânia, para a coleta e monitoramento das algas. O ambiente, afetado com uma ampla gama de contaminantes, como esgotos de indústria, agricultura e insumos da aquicultura, continha um sistema com má qualidade da água, poluído por metais pesados, descargas industriais, etc. Os metais arsênio (As), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn) foram detectados em três espécies de macrófitas analisadas, sendo elas: algas verdes da espécie *Ulva australis* e ervas marinhas da espécie *Zostera muelleri* e *Ruppia*

*megacarpa*, que demonstraram ter potencial como bioindicadores de poluição por metais pesados, e considerados promissores para futuros programas de biomonitoramento.

A espécie *U. australis* acumulou alto teor de poluentes, além de ser relevante para a cadeia alimentar, abundante, fácil de ser coletada e com ampla distribuição na área de interesse, sendo considerada uma espécie candidata para biomonitoramento deste sistema. No entanto, também tem a desvantagem de ser uma espécie anual e, portanto, utilizada para fornecer informações sazonais sobre cada local estudado. As ervas marinhas, *R. megacarpa* e *Z. muelleri* também acumularam elevados teores de metais, particularmente Zn, sendo os mais elevados níveis de metais medidos na investigação. Embora sejam restritas às partes superiores do estuário, estas ervas marinhas podem fornecer informações sobre a acumulação de metais a longo prazo nos seus talos, e podem representar melhor o estado de saúde do ambiente poluído. De acordo com os resultados obtidos na investigação de poluição por metais no estuário de Derwent, as ervas marinhas podem estar pré-adaptadas a níveis elevados de metais, sendo capazes de tolerar e resistir às elevadas concentrações de Zn no ambiente, tornando as ervas marinhas *R. megacarpa* e *Z. muelleri* bons bioindicadores de poluição por metais. A eficácia destas espécies como bioindicadores podem ser corroboradas pelo exame da capacidade de bioacumulação. O teor de metais diminuiu da parte superior para a inferior do estuário, com os níveis mais elevados de metais registrados no talo das plantas localizadas nas áreas historicamente mais contaminadas do estuário do Derwent.

O trabalho de Santos *et al.*, (2020) apresenta uma pesquisa realizada no corpo hídrico Várzea da cidade de Biritinga-BA, no povoado Quipé, baseada em entrevistas com moradores, análises físico-química da água da Várzea e observações *in loco*. O objetivo do estudo foi relacionar os dados obtidos com a bioquímica ambiental, focando nos impactos da poluição dos corpos hídricos e na despoluição desses ambientes através da fitorremediação promovida por macrófitas aquáticas.

O estudo foi realizado em três etapas: a primeira etapa consistiu de entrevistas semiestruturadas com os moradores da região, com o intuito de identificar os principais usos da água, as mudanças que ocorreram no corpo hídrico com o decorrer dos anos e as atividades agropecuárias; a segunda etapa baseou-se na observação da biodiversidade local especificamente as macrófitas, e a terceira etapa analisou as características físico-química da água (Santos *et al.*, 2020).

De acordo com o resultado obtido a partir da interpretação dos dados das entrevistas, ficou evidente que os principais usos que a população faz da Várzea são: pesca, banho, recreação, dessedentação e alimentação animal. Tais usos podem ter relação direta com a contaminação da água, influenciando assim, na composição física, química e biológica do corpo hídrico, uma vez que a ação antrópica pode causar diversos impactos negativos como, por exemplo, a poluição (Santos *et al.*, 2020).

A partir da análise em triplicata de quatro (4) pontos diferentes da Várzea, foram realizadas as análises físico-química em laboratório, com o objetivo de entender e/ou identificar algumas características da Várzea, como a presença de macrófitas. De acordo com os parâmetros físico-químicos analisados foi possível identificar alterações na cor, turbidez e condutividade elétrica, indicando as condições de poluição com efluentes domésticos do corpo hídrico estudado. Essa poluição altera as características da água, principalmente sua transparência e elevação de nutrientes, o que provoca aumento do número de espécies de macrófitas, comprometendo outros organismos aquáticos que necessitam de luz solar e de oxigênio na água, tais como pequenas plantas, algas, peixes e outros, desequilibrando o ecossistema (Santos *et al.*, 2020).

A presença de macrófitas aquáticas pode indicar diversas características dos corpos hídricos (bioindicação), podendo ser usadas como bioindicadoras da qualidade da água, pois desempenham funções importantes nos ecossistemas aquáticos, e sua densidade ou características morfológicas são importantes parâmetros para uma análise qualitativa dos ambientes, além disso podem ser empregadas na fitorremediação (Santos *et al.*, 2020).

Na Várzea foram encontradas diversas macrófitas que apresentam potencial fitorremediador e bioindicador conhecidos através de diversos estudos. A grande densidade de espécies encontradas indica que o ambiente dispõe de condições adequadas para sua alta proliferação.

O estudo destaca três macrófitas: Aguapé (*Eichhornia crassipes*), Orelha de onça (*Salvinia minima*) e Musgo d'água (*Azolla caroliniana*), encontradas na Várzea, que podem ser utilizadas em ações de descontaminação de corpos hídricos contaminados por diversos poluentes, como metais pesados. As três espécies mostraram potencial de bioindicação, sendo bons descontaminantes de corpos hídricos contaminados (Santos *et al.*, 2020).

Eid *et al.*, (2020), investigou as capacidades de quatro macrófitas aquáticas: duas flutuantes *Eichhornia crassipes* Solms e *Ludwigia stolonifera* e duas emergentes *Echinochloa*

*stagnina* (Retz.) P. Beauv. e *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., para acumular cádmio (Cd), níquel (Ni) e chumbo (Pb), e seu uso eficiente como fitorremediadoras para esses metais em um ecossistema aquático. O estudo analisou a capacidade e o potencial de acumulação de metais pesados (bioindicadores e biomonitores de contaminação) entre essas quatro macrófitas aquáticas, nas águas do Dreno Kitchener, localizado na província de Gharbia, na parte central do Delta do Nilo. Para isso, diferentes tecidos de cada uma das quatro macrófitas aquáticas foram coletadas para análise química, que demonstrou variações significativas nas concentrações de Cd, Ni e Pb diante das diferentes espécies.

Comparando as quatro espécies estudadas, *P. australis* acumulou as maiores concentrações de Cd e Ni, enquanto *E. crassipes* acumulou os maiores concentração de Pb em seus tecidos. As espécies acumularam concentrações mais elevadas nas raízes do que na parte aérea de todos os metais pesados (exceto Cd em *E. stagnina*). O acúmulo de metais pesados nas raízes das plantas pode ser uma estratégia de exclusão, visto que as raízes não possuem função fotossintética, e isso pode aumentar a tolerância das plantas a concentrações tóxicas desses metais (Eid *et al.*, 2020).

O estudo mostra que fatores de bioacumulação (fenômeno pelo qual uma substância química atinge uma concentração maior no tecido dos organismos, por meio de captação/acumulação), e fatores de translocação (capacidade da planta em translocar metais das raízes para parte aérea) podem ser usados para estimar o potencial de uma planta para fitorremediação. As quatro espécies em estudo demonstram capacidade de bioacumulação para os metais Cd, Ni e Pb. Por outro lado, as espécies demonstraram baixa capacidade de translocação, dos metais pesados das raízes aos diferentes tecidos vegetais. Assim, as espécies do estudo são adequadas para fitoestabilização dos metais pesados testados, exceto *E. stagnina* para Ni e *L. stolonifera* para Cd, e adequadas para a fitoextração desses metais (Eid *et al.*, 2020).

Vale ressaltar os critérios utilizados para classificar bons acumuladores de metais pesados: (i) capacidade de acumular altas concentrações de um metal em seus tecidos colhíveis, (ii) capacidade de crescer rapidamente e (iii) ter um sistema radicular bem desenvolvido (Qian *et al.*, 1999). Em relação às espécies estudadas, todas apresentaram tais características, podendo ser consideradas acumuladoras para os metais pesados estudados.

No estudo realizado por Cadena-aizaga *et al.*, (2022), as algas e ervas marinhas dos gêneros *Rhodophyta* (algas vermelhas), *Ochrophyta* (alga marrom) e *Chlorophyta* (alga verde)

foram analisadas. Estes organismos são considerados ferramentas úteis para o monitoramento ambiental como bioindicadores de poluição.

Dentre os vários poluentes que invadem constantemente os ecossistemas marinhos, os filtros ultravioleta (UV) com composição química de oxibenzona (BP3), octocrileno (OC), e homosalato (HMS) tiveram um aumento significativo nas últimas décadas. Esses compostos são usados em diversos produtos, como produtos de higiene pessoal (PCPs), incluindo protetores solares, sabonetes, maquiagens, loções e cremes dentais. A presença dos filtros solares tem sido reportada globalmente em diversas matrizes, como águas residuais, água do mar, sedimentos marinhos, organismos marinhos, lagos e rios. Estes poluentes ambientais podem afetar a ecologia das águas costeiras. Portanto, indicadores biológicos como as macrófitas podem ser globalmente usadas para avaliar a poluição da água, e como bioindicadores de poluição por filtros UV (Cadena-aizaga *et al.*, 2022).

No estudo de Cadena-aizaga *et al.*, (2022) todos os compostos BP3, OC e HMS foram encontrados bioacumulados, com diferentes frequências de detecção dos filtros solares variando entre 16% e 100% nas amostras de macrófitas. As espécies estudadas (algas vermelhas, marrons e verdes) foram coletadas em diferentes praias localizadas na ilha da Gran Canaria na Espanha, para análise da variação na concentração dos compostos alvo, dependendo da praia ou estação do ano (pré-verão, verão, pós-verão), ou do efeito combinado do período do ano (estação) associado à praia. Para as algas vermelhas, houve um resultado significativo da concentração de filtros UV, para o efeito combinado do período de alta concentração de turismo que ocorre no verão em todas as praias. Nas algas marrons os compostos foram encontrados em maiores concentrações no verão, havendo uma relação do tipo de praia com a alta concentração de turismo. As algas verdes não apresentaram significância em nenhum composto, ao longo do ano ou do período de alta concentração de turistas.

Os altos níveis de filtros UV orgânicos acumulados em macrófitas refletem a biodisponibilidade dos poluentes na área estudada, e a capacidade desses organismos para descontaminação dessas áreas. Os resultados sugerem que a concentração do composto depende principalmente do efeito combinado da estação do ano e tipo de praia (Cadena-aizaga *et al.*, 2022).

Os resultados obtidos sugerem que não houve padrão específico para bioconcentração dos compostos presentes nos filtros UV orgânicos, uma vez que os valores de bioacumulação

obtidos variam de acordo com composto, macrófita e área de estudo. A detecção nas algas marinhas estudadas (vermelhas, marrons, verdes) de todos os compostos alvo presentes nos filtros UV, sugere que elas podem ser usadas como bioindicadores para monitorar a poluição orgânica destes filtros UV ao longo do tempo (Cadena-aizaga *et al.*, 2022).

Polechońska e Klink (2023) em seu estudo analisaram as emissões antropogênicas de substâncias químicas para o ambiente, que promovem o aumento do conteúdo de metais pesados na água, contaminando esses cursos hídricos. As fontes naturais de oligoelementos, tais como ferro (Fe), cobre (Cu) e zinco (Zn), pela lixiviação das rochas e do solo, levam a um aumento muito lento nas concentrações de metais nos rios, enquanto a influência provocada pelo homem leva a um aumento acentuado da poluição. Neste sentido, o estudo apresenta a tentativa de estimar as concentrações de fundo de oligoelementos, em vales fluviais, localizados no Norte da Polônia, usando a macrófita cosmopolita *Ceratophyllum demersum* L., uma angiosperma aquática submersa perene e difundida em todo o mundo, como espécie modelo.

A espécie *C. demersum* habita vários tipos de águas (estagnadas e de fluxo lento) e caracteriza-se por uma ampla tolerância ecológica. O caule é ramificado e coberto por folhas rígidas, sésseis, divididas dicotomicamente, coletadas em verticilos. Faltam raízes, mas os ramos são por vezes modificados como rizóides que podem ancorar-se nos sedimentos do fundo, portanto absorve elementos principalmente pelas folhas (Polechońska; Klink, 2023). Esta espécie foi selecionada para o estudo devido à sua distribuição cosmopolita, onipresença e características fisiológicas que a qualificam como um bom bioindicador e/ou fitorremediador de poluição por metais pesados, confirmada por numerosos estudos.

O estudo analisou a presença de metais pesados nas raízes de macrófitas coletadas em regiões não poluídas e poluídas, ao longo do corpo hídrico. Os locais de estudo foram selecionados em áreas afetadas por diferentes tipos de antropopressão, ou seja, áreas agrícolas, urbanas, industriais e residenciais, para representar toda a gama de concentrações de oligoelementos. Como resultado obtiveram estimativas muito diferentes dos metais pesados encontrados em níveis de fundo para os locais de distribuição da *C. demersum*, ao longo do corpo hídrico.

A distribuição de metais de pesados presentes em diferentes localidades (concentrações de fundo), e encontrados nas raízes de macrófitas, ao longo do corpo hídrico pode estar relacionada a região geográfica e climática, dependendo principalmente da biologia

da planta ou são fortemente afetadas por fatores externos, como geologia e hidrologia (Polechońska; Klink, 2023).

Dentre as várias espécies de macrófitas estudadas e apresentadas neste trabalho, vale observar seus diferentes locais de origem, com destaque para aquelas, encontradas na América do Sul (Tabela 1), potenciais candidatas para estudos experimentais futuramente.

Tabela 1: Resumo das espécies analisadas no trabalho, destacando o nome científico, a família taxonômica, o local de origem e o hábito.

Família	Nome Científico	Local de origem	Hábito
Ulvaceae	<i>Ulva australis</i>	Costa da Austrália	Imersa
Zosteraceae	<i>Zostera muelleri</i>	Sul da Austrália	Submersa
Ruppiaceae	<i>Ruppia megacarpa</i>	Costa da Austrália	Submersa
Pontederiaceae	<i>Eichharnia crassipes</i>	América do Sul	Flutuante
Salviniaceae	<i>Salvina minimos</i>	América do Sul	Flutuante
Salviniaceae	<i>Azolla caroliniana</i>	América do Norte e do Sul	Flutuante
Onagraceae	<i>Ludwigia stolonifera</i>	América do Sul	Submersa
Echinochloa	<i>Echinochloa stagnina</i>	África Tropical e Ásia	Submersa
Poaceae	<i>Phragmites australis</i>	América do Norte	Submersa
Ceratophyllaceae	<i>Ceratophyllum demersum</i>	Portugal Continental e no Arquipélago dos Açores	Submersa
Algas Vermelhas	<i>Rhodophyta</i> sp.	Regiões Equatoriais	Imersa
Algas Marrons	<i>Ochrophyta</i> sp.	Regiões Equatoriais	Imersa
Algas Verdes	<i>Chlorophyta</i> sp.	Regiões Equatoriais	Imersa

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2023)

Vale ressaltar a espécie *E. crassipes* que apresenta ações de descontaminação de corpos hídricos poluídos por diversos agentes, como metais pesados (Santos *et al.*, 2020; Eid *et al.*, 2020), além de ser um bioindicador em potencial da qualidade da água, pois desempenha funções importantes nos ecossistemas aquáticos, podendo ser empregadas na fitorremediação, uma vez que dispõe das características que determinam bons acumuladores de metais pesados.

Além disso, o presente estudo trouxe para reflexão o aumento gradual de outros elementos presentes nos recursos hídricos, que estão presentes nos produtos de *skincare*, como cremes dentais e filtros solares, dentre outros, representando uma nova fonte de potenciais poluentes para este século (Cadena-aizaga *et al.*, 2022).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foram analisados estudos sobre o uso das macrófitas aquáticas como bioindicadores de poluição da água, evidenciando as espécies: *U. australis*, *Z. muelleri*, *R. megacarpa*, *E. crassipes*, *S. minimos*, *A. caroliniana*, *L. stolonifera*, *E. stagnina*, *P. australis*, *C. demersum*, *Rhodophyta* sp. (algas vermelhas), *Ochrophyta* sp. (alga marrom) e *Chlorophyta* sp. (alga verde). Tais espécies apresentaram-se relevantes para o uso como bioindicadores vegetais de poluição da água, pois respondem a modificações ambientais, como mudanças na qualidade da água, demonstrando sintomas visíveis de estresse, como alterações na cor, forma e textura das folhas.

Além disso, a presença ou ausência de certas espécies de macrófitas pode indicar a ocorrência de poluentes específicos na água. Portanto, o monitoramento dessas plantas pode fornecer informações valiosas sobre a qualidade da água, e ajudar na identificação e controle da poluição.

Adicionalmente, o processo de fitorremediação realizado pelas macrófitas, pelo seu alto potencial de acumular substâncias tóxicas, removendo poluentes da água, mostra-se uma alternativa sustentável e eficiente para a recuperação de ecossistemas aquáticos contaminados. Essa estratégia pode ser aplicada em diferentes contextos e contribui para a preservação dos recursos hídricos e a melhoria da qualidade da água. Estes poluentes ambientais podem afetar a ecologia das águas costeiras, portanto, indicadores biológicos como algas marinhas/macrófitas podem ser globalmente usados para avaliar a poluição da água, como bioindicadores de poluição por filtros UV e metais pesados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIKO, ALEX KENYA; ALMEIDA, MARCO ANTONIO PLÁCIDO DE; BARREIROS, MÁRIO ANTÓNIO FERREIRA. Urbanismo: história e desenvolvimento. **São Paulo: EPUSP**, p. 39-40, 1995.

ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil** 2013. Brasília: ANA, 2013.

ANDRADE, J. A.; NUNES, M. A. Acesso à água no semiárido brasileiro: uma análise das políticas públicas implementadas na região. **Revista Espinhaço**, Diamantina, v.3, n.2, p. 28-39, 2014.

BARRETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S.; Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**. Goiânia, v. 9, n. 16, p. 2165-2179, jul. 2013.

BEYRUTH, ZULEIKA. Água, agricultura e as alterações climáticas globais. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 74-89, 2008.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997.

BOTELHO, Louise Lira Roedel; DE ALMEIDA CUNHA, Cristiano Castro; MACEDO, Marcelo. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e sociedade**, v. 5, n. 11, p. 121-136, 2011.

BROOME, M. E. Integrative literature reviews for the development of concepts. In: RODGERS, B. L.; CASTRO, A. A. **Revisão sistemática e meta-análise**. 2006. Disponível em: . Acesso em: 12 jan. 2011.

CADENA-AIZAGA, M. I., MONTESDEOCA-ESPONDA, S., SANTANA-DEL PINO, Á., SOSA-FERRERA, Z., & SANTANA-RODRÍGUEZ, J. J. Assessment of anthropogenic pollution by UV filters using macrophytes as bioindicators. **Science of The Total Environment**, 832, 155012, 2022.

CHAMBERS, P. A. et al. 2008. Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. In: BALIAN, E.V.; LÉVÊQUE, C.; SEGERS, H.; MARTENS, K. (eds) Freshwater Animal Diversity Assessment. **Developments in Hydrobiology**, vol 198. Springer, Dordrecht.

CONSOLE, LUCIANA. Tapajós tóxico: garimpo aumenta níveis de mercúrio no rio e população adocece. **Brasil de Fato**. São Paulo. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2019/03/16/tapajos-toxico-garimpo-aumenta-niveis-de-mercúrio-no-rio-e-populacao-adocece> acesso em, 2023.

COSTA, ANTÔNIO AUGUSTO DE SOUZA et al. **Macrófitas aquáticas do bioma amazônico: revisão, conhecimento e perspectivas**. 2023. Tese de Doutorado. UFRA/Campus Belém.

COSTA, GYSELE MARIA MORAIS et al. caracterização da qualidade da água superficial nos distritos administrativos do município de belém-pa. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 44, p. 120-137, 2022.

CUNHA, P. L. P.; CUNHA, C. S.; ALVES, P. F. **Manual Revisão Bibliográfica Sistemática Integrativa: a pesquisa baseada em evidências**. Belo Horizonte: Grupo Ânima Educação. 2014.

Documentário “Bolívia, a guerra da água”. **Brasil de fato**. Porto Alegre. Disponível em: <https://www.brasildefatores.com.br/2020/07/01/documentario-bolivia-a-guerra-da-agua-e-u-m-exemplo-para-o-brasil> acesso em, 2023.

DOS SANTOS, CRISLIANE APARECIDA PEREIRA. **Macrófitas biondicadoras em trecho urbano do Rio Grande-oeste da Bahia**, 2017.

DOS SANTOS, G. B., DE SOUZA, E. B., DE JESUS SOUZA, J., DA INVENÇÃO, F. S., SOBRINHO, É. L., & DE OLIVEIRA SOUSA, L. R. Bioquímica ambiental: as macrófitas aquáticas como fitorremediadoras e bioindicadoras de poluentes. **Revista Macambira**, v. 4, n. 2, p. e042004-e042004, 2020.

EID, E. M., GALAL, T. M., SEWELAM, N. A., TALHA, N. I., & ABDALLAH, S. M. Phytoremediation of heavy metals by four aquatic macrophytes and their potential use as contamination indicators: A comparative assessment. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, 12138-12151. 2020.

EL-KHATIB, A. A., HEGAZY, A. K., & ABO-EL-KASSEM, A. M. (2014). Bioaccumulation potential and physiological responses of aquatic macrophytes to Pb pollution. **International Journal of Phytoremediation**, 16(1), 29-45.

ERCOLE, F. F.; MELO, L. S. ALCOFORADO, C. L. G. C. Revisão integrativa versus revisão sistemática. **Revista Mineira de Enfermagem**, v. 18, n. 1, p. 9-12, 2014.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 3 ed. Rio de Janeiro: **Internacional**, 2011. pg. 462.

FABER, MARCOS. A importância dos rios para as primeiras civilizações. **História ilustrada**, v. 2, 2011.

FALEIRO, F. G., ANDRADE, S. D., ANDRADE, S. E. M., & JUNIOR, F. B. R. (2011). **Biотecnologia: uma visão geral**. Biотecnologia: Estado de arte e aplicações na agropecuária. Planaltina, Embrapa, 13-29.

FARIAS, D. R. et al. Macrophytes as bioindicators of heavy metal pollution in estuarine and coastal environments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 128, p. 175-184, 2018.

GALAL, TAREK M.; FARAHAT, EMAD A. The invasive macrophyte *Pistia stratiotes* L. as a bioindicator for water pollution in Lake Mariut, Egypt. **Environmental monitoring and assessment**, v. 187, p. 1-10, 2015.

HEGEL, CARLA GRASIELE ZANIN; MELO, EVANISA FÁTIMA REGINATO QUEVEDO. Macrófitas aquáticas como bioindicadoras da qualidade da água dos arroios da RPPN Maragato. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 9, n. 3, p. 673-693, 2016.

Quatro em cada dez municípios não têm serviço de esgoto no país. **Agência IBGE–Notícias**. Disponível

em:<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/28326-quatro-em-cada-dez-municipios-nao-tem-servico-de-esgoto-no-pais> acesso em, 2023.

JAYASWAL, K., SAHU, V., GURJAR, BR. Poluição da Água, Saúde Humana e Remediação. In: Bhattacharya, S., Gupta, A., Gupta, A., Pandey, A. (eds) Remediação de Água. **Energia, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, 2018.

LEFF, H. **Epistemologia ambiental**. Cortez Editora, São Paulo. 2001.

MARTINS, PÉTALA PAZ ALMEIDA; DE SOUZA, MARCELO AGAMENON GOES. água, fonte de direito fundamental. **ETIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-ISSN 21-76-8498**, v. 12, n. 12, 2016.

MAZOYER, MARCEL; ROUDART, LAURENCE. **Histórias das agriculturas no mundo. Do neolítico à crise contemporânea**. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2010.

MCEVEDY, C. **Atlas da historia antiga**. Trad. Antonio G. Mattoso. 2 ed. São Paulo, Editora Verbo, 1990.

MONTEIRO, ADRIANO BORTOLIN; VIADANA, ADLER GUILHERME. Análise de poluição da água: a técnica do azul de metileno. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH). Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, Brasil**, p. 11, 2009.

MUMFORD, L. **A cidade na história: suas origens, transformações e perspectivas**. 2.ed. São Paulo, Livraria Martins Fontes Editora, 1982.

MUÑOZ, H. R. **Interfaces da gestão de recursos hídricos: desafios da Lei de Águas de 1997**. 2. ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000. 421p.

OLIVIER, J. G. J., BOUWMAN, A. F., VAN DER MAAS, C. W. M., BERDOWSKI, J. J. M., VELDT, C., BLOOS, J. P. J., WISSCHEDIJK, A. J. H., ZANDEVELD, P. Y. J., HAVERLAG, J. L. Description of EDGAR Version 2.0: A set of global emission inventories of greenhouse gases and ozone-depleting substances for all anthropogenic and most natural sources on a per country base on a 1 degree x 1 degree grid. **National Institute for Public Health and the Environment (RIVM)**, 1996.

PASQUINI, NILTON CESAR. Revoluções Industriais: uma abordagem conceitual. **Revista Tecnológica da Fatec Americana**, v. 8, n. 01, p. 29-44, 2020.

PEDRALLI, G. Macrófitas aquáticas como bioindicadoras da qualidade da água: alternativas para usos múltiplos de reservatórios. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Ed.). **Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas**. Maringá: EDUEM, 2003. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/45621382/Thomaz-e-Bini-2003-Ecologia-e-manejo-de-macrofitas-aquaticas>. Acesso em: 26 set. 2020

PENSAMENTO VERDE. Dados sobre a reciclagem no Brasil.[S. l.]. **Redação Pensamento Verde**, 2013. disponível em:<https://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/poluicao-aguas-brasil/> acesso em, 2023.

POLECHOŃSKA, LUDMIŁA; KLINK, AGNIESZKA. Estimation of background concentrations of macro-and trace elements in an aquatic plant as a basis for the passive biomonitoring of pollution. **Science of the Total Environment**, v. 899, p. 165652, 2023.

POMPÊO, M. L. M. Monitoramento e Manejo de Macrófitas Aquáticas. **Oecologia brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 406. 424, 2008. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2882865.pdf>. Acesso em: 26 de set. 2020

PRADO, R. B.; FORMIGA-JOHNSSON, R. M.; MARQUES, G. **Uso e gestão da água: desafios para a sustentabilidade no meio rural**. 2017.

PRIMO, C. C., SILVA, G., DOS SANTOS NETO, J. H., DE OLIVEIRA MONTAGNINI, J. P., SANTOS, C. S., & RITA, F. S. **INSEGURANÇA HÍDRICA NO BRASIL**, 2022.

Qian JH, Zayed A, Zhu YL, Yu M, Terry N (1999) Fitoacumulação de oligoelementos por plantas de zonas úmidas: III. Absorção e acumulação de dez oligoelementos por doze espécies de plantas. *J Meio Ambiente Qual* 28:1448–1455

ROCHA, ANA PAULA ANGELINA da. **Remediação da água contaminada a partir do uso de macrófitas aquáticas no Brasil: uma revisão sistemática**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

RODRIGUES, A. C. D. Potencial da alface-d'água (*Pistia stratiotes*) para descontaminação de águas contaminadas por Zn e Cd, 2016.

RODRIGUES, M. E. F. Levantamento florístico e distribuição de macrófitas aquáticas na Represa Guarapiranga, São Paulo, Brasil. 2011. **Dissertação (Mestrado em Botânica na Área de Sistemática)-Departamento de Botânica**, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011. Disponível em:[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41132/tde-09122011-135402/publico/M\\_Estefania\\_Rodrigues\\_CORRIG.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41132/tde-09122011-135402/publico/M_Estefania_Rodrigues_CORRIG.pdf). Acesso em: 12 fev. 2020.

ROOS, DANIEL HENRIQUE. **Mecanismos de captação e toxicidade do metilmercúrio: Envolvimento do sistema glutamatérgico e do cálcio em fatias e mitocôndrias de ratos**. Diss. Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

SABADINI, MARIELZA BOTELHO; INOUI, ALESSANDRA ZANELATTI. projeto arquitetônico para mercado de peixes para o município de várzea grande. **TCC-Arquitetura**, 2021.

SANTOS, JULIANA MORAES. **Influência da diversidade funcional de macrófitas aquáticas na estrutura das assembleias de Nematoda**. 2022.

SÃO PAULO (Estado). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostra: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo, 2011. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Marta\\_Lamparelli/publication/275351750\\_Guia\\_Nacional\\_de\\_coleta\\_e\\_Preservacao\\_de\\_amstras\\_Agua\\_Sedimento\\_Comunidades\\_Aquaticas\\_e\\_efluentes\\_liquidos/links/57a088bf08aec29aed24b029/Guia-Nacional-de-coleta-e-Preservacao-de-amstras-Agua-Sedimento-Comunidades-Aquaticas-e-efluentes-liquidos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marta_Lamparelli/publication/275351750_Guia_Nacional_de_coleta_e_Preservacao_de_amstras_Agua_Sedimento_Comunidades_Aquaticas_e_efluentes_liquidos/links/57a088bf08aec29aed24b029/Guia-Nacional-de-coleta-e-Preservacao-de-amstras-Agua-Sedimento-Comunidades-Aquaticas-e-efluentes-liquidos.pdf). Acesso em: 26 de set. 2020.

SEMA. Diretoria de recursos hídricos do Pará. **Educação ambiental pelas Águas e Florestas do Pará**. Belém, 2006.

SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology and Evolution*. v. 24, n. 4, p. 201-207, 2009. DOI 10.1016/j.tree.2008.11.009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016953470900041X>. Acesso em: 05 maio de 2020.

TRATA BRASIL. Belém comemora 403 anos, porém com deficiências em saneamento.2019. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2019/01/15/belem-comemora-403-anos-porem-com-deficiencias-em-saneamento/>. Acesso em 16 de julho 2021.

THOMAZ, S. M.; CUNHA, E. R. DA. The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition and biodiversity. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 22, n. 02, p. 218–236, 2010.

VIEIRA, SILVA. Poluição indiscriminada pode transformar igarapés de Santarém em esgotos. **G1 Santarém**. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/santarem-regiao/noticia/poluicao-indiscriminada-pode-transformar-igarapes-de-santarem-em-esgotos.ghtml> acesso em, 2023.

ZATELLI, S. KATUCIA. Bioindicadores: conceitos e aplicações. **Mata Nativa Blog**. Disponível em: <https://matanativa.com.br/bioindicadores-conceito-aplicacao/> em 26 fevereiro de 2019. Acesso em, 2023.

YAMADA, THIAGO. **Ferramentas de geoprocessamento para análise da vulnerabilidade natural das águas sub-superficiais à poluição, área urbana e seu entorno**, município de São Carlos-SP. 2007.