

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL PROF. ARMANDO JOSÉ FARINAZZO
CENTRO PAULA SOUZA

Diego dos Santos Paiola
Flavia Vitória Garcia Lima
Heitor Henriko Malagutti
Hygor André Moraes Chagas

REMOÇÃO DE ATRAZINA POR MEIO DE FITORREMEDIAÇÃO COM
EICHHORNIA CRASSIPES E *PISTIA STRATIOTES*.

Fernandópolis
2025

Diego dos Santos Paiola
Flavia Vitória Garcia Lima
Heitor Henriko Malagutti
Hygor André Moraes Chagas

REMOÇÃO DE ATRAZINA POR MEIO DE FITORREMEDIAÇÃO COM
EICHHORNIA CRASSIPES E *PISTIA STRATIOTES*.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
obtenção da Habilitação Profissional
Técnica de Nível Médio de Técnico em
Química, no Eixo Tecnológico de Produção
Industrial, à Escola Técnica Estadual de
Fernandópolis, sob orientação do
Professor Alex de Lima.

Examinadores:

Alex de Lima

Adriana Cristina Tomya Borges Torelli

Flávia Meira Cotrim

Fernandópolis
2025

REMOÇÃO DE ATRAZINA POR MEIO DE FITORREMEDIAÇÃO COM *EICHHORNIA CRASSIPES* E *PISTIA STRATIOTES*.

Diego dos Santos Paiola
Flavia Vitória Garcia Lima
Heitor Henriko Malagutti
Hygor André Moraes Chagas

RESUMO: O estudo avaliou a eficácia da fitorremediação com as macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Pistia stratiotes* (alface-d'água) na remoção do herbicida atrazina, um composto amplamente usado em lavouras e classificado como disruptor endócrino devido à sua alta solubilidade e persistência no ambiente. Por meio de ensaios *in vitro* realizados no laboratório da Etec Prof. Armando José Farinazzo, foram preparadas diversas soluções padrão de atrazina e analisadas por espectrofotometria UV/Vis a 223 nm, observando-se o comportamento das plantas na absorção desse contaminante. Ambas as espécies demonstraram um grande potencial fitorremediador, os resultados indicam que a fitorremediação é uma alternativa sustentável, de baixo custo e ambientalmente segura para o tratamento de águas contaminadas por atrazina (ATZ), contribuindo para a recuperação de ecossistemas aquáticos e redução dos impactos causados por defensivos agrícolas.

Palavras-chave: Atrazina, alface d'água, aguapé, fitorremediação

ABSTRACT: The study evaluated the effectiveness of phytoremediation using the aquatic macrophytes *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) and *Pistia stratiotes* (water lettuce) in the removal of the herbicide atrazine (ATZ), a compound widely used in agriculture and classified as an endocrine disruptor due to its high solubility and environmental persistence. Through *in vitro* assays conducted in the laboratory of Etec Professor Armando José Farinazzo, several standard atrazine solutions were prepared and analyzed by UV/Vis spectrophotometry at 223 nm, allowing the assessment of the plants' behavior in absorbing this contaminant. Both species demonstrated high phytoremediation potential, and the results indicate that phytoremediation is a sustainable, low-cost, and environmentally safe alternative for treating water contaminated with atrazine, contributing to the recovery of aquatic ecosystems and reducing the impacts caused by agricultural pesticides.

Keywords: Atrazine, water lettuce, water hyacinth, phytoremediation

RESUMEN: El estudio evaluó la eficacia de la fitorremediación utilizando las macrófitas acuáticas *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y *Pistia stratiotes* (lechuga de agua) en la eliminación del herbicida atrazina (ATZ), un compuesto ampliamente utilizado en los cultivos y clasificado como disruptor endócrino debido a su alta solubilidad y persistencia en el ambiente. Mediante ensayos *in vitro* realizados en el laboratorio de la Etec Profesor Armando José Farinazzo, se prepararon diversas soluciones estándar de atrazina y se analizaron por espectrofotometría UV/Vis a 223 nm, lo que permitió evaluar el comportamiento de las macrófitas en la absorción de

este contaminante. Ambas especies demostraron un alto potencial fitorremediador, y los resultados indican que la fitorremediación es una alternativa sostenible, de bajo costo y ambientalmente segura para el tratamiento de aguas contaminadas con atrazina, contribuyendo a la recuperación de los ecosistemas acuáticos y a la reducción de los impactos causados por los agroquímicos.

Palabras clave: Atrazina, lechuga de agua, jacinto de agua, fitorremediación

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade o herbicida atrazina que é utilizado em lavouras de cana-de-açúcar, milho e sorgo é um composto altamente solúvel em água, ou seja, pode ser facilmente transportado por corpos d' água contaminando vastas regiões por conta de sua mobilidade, muitos métodos foram propostos, mas são custosos ou apresentam baixa remoção desse herbicida da água ou até mesmo geram subprodutos tóxicos como no caso dos métodos de oxidação avançada como ozonização e fotocatalise com TiO_2 , compostos que geram desetilatrizona e cianureto, que também representam riscos ambientais, além de que essas técnicas precisam de condições especiais para ocorrerem (Rocha; Cardoso; Vieira, 2024).

De acordo com Hayes (2002) a atrazina é classificada como um disruptor endócrino que inibe a enzima da aromatase o que converte andrógenos em estrogênio, além de causar a feminilização de algumas espécies como a de sapos, além de levar a desregulação hormonal. Dessa maneira, é perceptível que a atrazina tem potencial de afetar o sistema endócrino de seres vivos. Essas características tornam urgente o desenvolvimento e implementação de métodos mais sustentáveis e seguros para sua remoção.

Desse modo, destaca-se o uso da fitorremediação para diminuir a concentração, essa técnica consiste em utilizar plantas macrófitas com capacidade de desenvolver uma relação de simbiose com organismos de diversos ambientes, assim reduz a concentração de contaminantes no meio que elas estão inseridas, como poluentes orgânicos. Nessa perspectiva, o uso de plantas como a *Pistia stratiotes* popularmente conhecida com alface de água e *Eichhornia crassipes* conhecida como aguapé que são viáveis e altamente eficientes. Nesse contexto a fitorremediação surge como uma alternativa viável, de baixo custo e ambientalmente amigável (Marques, 2015)

Por meio disso, o estudo realizado pode ser feito de maneira laboratorial com ensaios *in vitro* o que pode ajudar a implementar os métodos desenvolvidos em ampla escala dentro da indústria de tratamento de água ajudando a recuperar áreas contaminadas trazendo atividades comerciais como pesca essas regiões, além de que a longo prazo possa haver estabelecimentos de residências perto dessas áreas e até utilizar essa água para consumo diário (AEA, 2018).

Mediante o exposto, o presente estudo visa avaliar e comparar a eficiência da fitorremediação utilizando as espécies *Eichhornia crassipes* e *Pistia Stratiotes*. Logo, é válido ressaltar que com isso, irá desenvolver uma alternativa eficaz, de baixo custo e sustentável para a recuperação de ambientes aquáticos contaminados por atrazina utilizando técnicas como espectrofotometria e análises visuais como aparência das plantas para identificar se as macrófitas estavam cumprindo com seu papel fitorremediador.

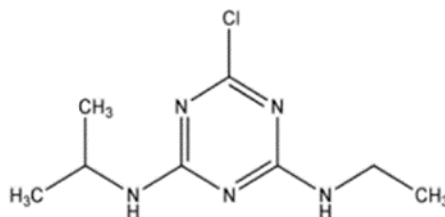
Portanto, espera-se, contribuir para o desenvolvimento de soluções aplicáveis em larga escala, com potencial para recuperação de ambientes aquáticos contaminados e posterior reintegração dessas áreas às atividades econômicas e sociais sustentáveis, como pesca, abastecimento e lazer.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. ATRAZINA

A atrazina (1-Cloro-3-etilamino-5-isopropilamino-2,4,6-triazina) $C_8H_{14}ClN_5$, com estrutura exemplificada na figura 1, é um herbicida utilizado para controle de ervas daninhas em lavouras de diversas culturas como milho, soja e cana-de-açúcar, sendo um inibidor de fotossíntese de plantas suscetíveis a esse composto (Cheremisinoff ; Rosenfeld, 2011). Desse modo, a atrazina é amplamente utilizada o que causa grandes problemas na sociedade, uma vez que, ela possui uma grande mobilidade ambiental, ou seja, pode contaminar diversas localidades e solos, chegando ao mercado em 1958 e em 1987 chegou a 70000 toneladas produzidas desse composto, além de que a atrazina possui solubilidade de 33 mg/L (OMS, 1990).

Figura 1. Atrazina fórmula estrutural.



Fonte: (Researchgate, 2021)

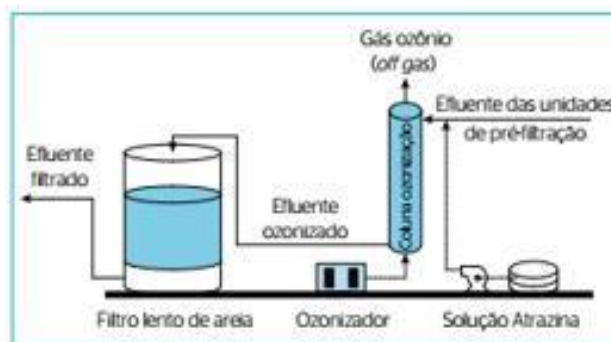
Esse herbicida apresenta uma certa toxicidade em alguns organismos como em seres humanos pode acarretar irritações cutâneas, irritação dos olhos e risco inalatório e em certas quantidades em alguns tipos de mamíferos apresenta neurotoxicidade (falta de coordenação motora, rigidez dos membros e hipotermia), mas isso se deve a compostos triazínicos presentes na sua fórmula estrutural (Banbisk; Mariamoro, 2022). Desse modo, é válido ressaltar que foram conduzidos testes em ratos e coelhos em um estudo realizado por (HERTWIG, 1983) que realizou testes com o produto Atrazinax 50, que possui como princípio ativo a atrazina e constatou que, há uma toxicidade no caso de uma administração por via oral aguda 3080 mg/kg em ratos e por via dérmica aguda de 7500 mg/kg em coelhos.

Além disso, em alguns casos pode acarretar a feminilização de algumas espécies de anfíbios de acordo com Hayes, que estudou esse processo em sapos da espécie *Xenopus laevis*, popularmente conhecida como rã-de-unhas-africanas, constatando assim que a atrazina é um disruptor endócrino que causa a castração química e induz ao hermafroditismo nessa espécie. Além de alterar características físicas dos animais pelos problemas hormonais, uma vez que, pode acarretar diversos problemas como diminuição dos órgãos reprodutivos dos sapos machos, caracterização feminina e outras desregulações hormonais e infertilidade que é causada pela castração química. (Hayes, 2002).

Ou seja, torna-se imprescindível a remoção desse composto dos corpos d'água, uma vez que, ele causa diversos danos a fauna e a flora, porém os métodos atuais são muito difíceis ou caros para serem aplicados em larga escala, os métodos mais comuns são a ozonização avançada e a fotocatalise com TiO₂ que geram as desetilatrizona e o cianureto (Rocha; Cardoso; Vieira, 2024).

No processo de oxidação, o composto é quebrado pelo gás ozônio que é introduzido no sistema conforme a figura 2, após esse efluente já ter sido filtrado causando assim a oxidando desses compostos e formando compostos menores como a desetilatrizona.

Figura 2. Processo de oxidação.



Fonte: (Coelho, 2017)

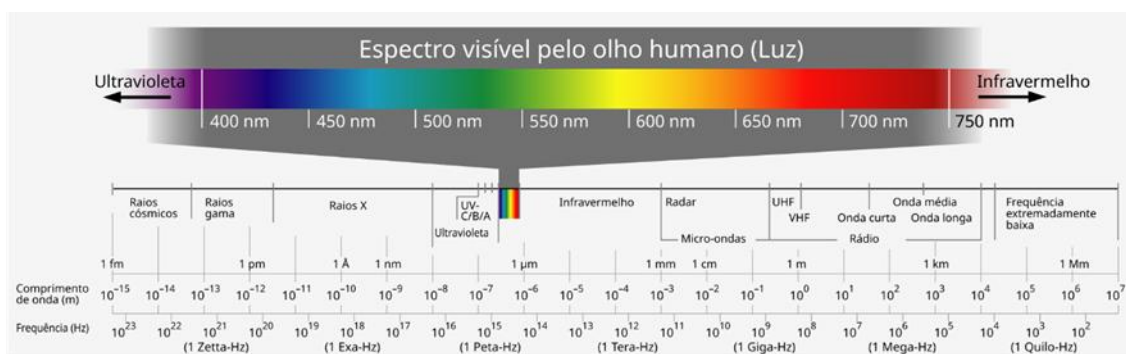
Já a fotocatalise com o dióxido de titânio, utiliza-se a luz para ativar um semicondutor no caso o dióxido de titânio que irá realizar o processo aceleração da oxidação e degradação. Assim, diminuindo a quantidade do poluente da água nesse sistema, pois irá acontecer a fotodecomposição dos compostos do herbicida. Entretanto, há a formação e compostos como já supracitados, pois esse método não é eficaz para quebrar esses compostos secundários da estrutura da atrazina (Coelho; Bernardo, 2017).

Uma das técnicas de análise comum desse defensivo agrícola em corpos hídricos é a utilização do espectrofotômetro UV-VIS, pois é uma técnica fácil e viável podendo ser aplicada em larga escala a faixa de identificação da atrazina é de 220-300 nm, em média.

2.2. ESPECTROFOTOMETRIA UV/VIS.

A espectrofotometria é uma técnica que consiste em utilizar o grau de absorção da luz em diferentes escalas, tendo uma sensibilidade em torno de 10^{-4} mol/L a 10^{-5} mol/L, esse tipo de método se baseia na absorção dos comprimentos de ondas da radiação visível e no espectro ultravioleta que é mostrado na figura 3 abaixo.

Figura 3. Espectro de luz visível



Fonte: Santos e Renovato, 2019.

O espectrofotômetro é um equipamento criado em 1940, no laboratório da National Technologies Laboratories por Arnold O'Beckman e sua equipe, esse equipamento consiste em um aparelho que calcula a quantidade absorvida de luz, passando em um meio, no caso, o analito, porém ele tem suas especificidades, uma vez que ele tem um monocromador que seleciona o comprimento de onda necessário, a cubeta para a amostra com um detector no fim. Contudo, ele apresenta desvios significativos, já que a lei que rege o funcionamento do espectrofotômetro, a lei de Beer pode apresentar desvios devido a monocromaticidade, já que nem todos os espectrofotômetros atuais conseguem selecionar um feixe de 1 nm e alguns apresentam filtros que podem desviar de 30 a 50 nm da faixa original o feixe de luz.

A partir disso os espectrofotômetros foram utilizados em ampla escala na indústria chegando até a ser requisitados em algumas normas de controle de qualidade em determinados segmentos da indústria sendo obrigatório em alguns casos como na USP 42 – NF 37, capítulo 857 (Espectrofotometria UV/Vis).

O princípio básico de funcionamento do espectrofotômetro consiste em incidir uma luz em meio aquoso e verificar a absorção do comprimento de onda. Logo, é imprescindível destacar que esse equipamento pode ser utilizado para analisar a fitorremediação, já que o espectrofotômetro é um equipamento voltado para realizar esses vários tipos de análises, sendo possível realizar esse tipo de análise, pois a atrazina apresenta em sua estrutura grupos cromóforos, sendo o principal o grupo cromóforo anel de triazina simétrico, heterocíclico e clorado que absorvem no comprimento do UV/Vis em cerca de 223 nm como aponta a literatura. Assim, torna-se possível analisar esse herbicida.

2.3. FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação é uma técnica sustentável, limpa e economicamente viável que utiliza plantas — especialmente as chamadas macrófitas aquáticas e plantas acumuladoras — para remover e permitir a estabilização de contaminantes do solo, da água e da atmosfera. Assim, essa técnica mostra-se bastante promissora na redução de metais pesados, solventes clorados e hidrocarbonetos presentes em ambientes contaminados por excesso de agrotóxicos (Monteiro et al., 2006; Silva et al., 2019).

Entre as espécies mais estudadas para a fitorremediação em ambientes aquáticos destacam-se *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Pistia stratiotes* (alface-d'água), pois ambas apresentam grande quantidade de biomassa, além de crescimento acelerado e elevada capacidade de absorção, características que as tornam adequadas para ambientes aquáticos contaminados (Pereira, 2010; Martin, 2008).

2.3.1 ABSORÇÃO

Na fitorremediação, a absorção corresponde ao processo pelo qual as plantas captam contaminantes presentes no solo, na água ou no ar. Esses compostos são incorporados aos tecidos vegetais, o que possibilita sua retenção e, em alguns casos, a sua transformação. Esse mecanismo ocorre predominantemente pelas raízes, responsáveis pela captação de diferentes classes de poluentes, como íons, metais pesados e determinados compostos orgânicos dissolvidos na solução do solo.

Além disso, estudos indicam que a eficiência da fitorremediação varia conforme a espécie utilizada, o tipo de contaminante e as condições ambientais. Nesse contexto, macrófitas aquáticas, como a *Eichhornia crassipes* (aguapé) e a *Pistia stratiotes*, têm apresentado taxas de remoção que podem atingir entre 60% e 95% em sistemas de tratamento de águas residuais, dependendo do poluente analisado. Entre as principais vantagens desse método destacam-se os custos operacionais reduzidos, o menor impacto ambiental, a contribuição para a restauração da biodiversidade local e o possível reaproveitamento da biomassa gerada, entre outras.

2.3.2. Tipos de fitorremediação

Fitodegradação é o mecanismo pelo qual as plantas absorvem poluentes e os transformam internamente por meio de enzimas capazes de convertê-los em substâncias de menor toxicidade. Nessa etapa, as plantas podem metabolizar pesticidas, solventes e derivados de petróleo por meio de reações enzimáticas que promovem sua decomposição. De acordo com Pereira (2010), a fitodegradação contribui para a remoção de contaminantes orgânicos do solo e da água, resultando em produtos mais estáveis e ambientalmente seguros.

A fitovolatilização consiste na capacidade de determinadas plantas absorverem contaminantes voláteis e, após transformações metabólicas internas, liberá-los para a atmosfera em formas menos reativas e ambientalmente seguras. Esse processo pode ocorrer com compostos como hidrocarbonetos leves, alguns solventes clorados e derivados orgânicos que, após modificações bioquímicas, passam a apresentar menor perigo à biota. Conforme descrito por Monteiro et al. (2006), essa modalidade de fitorremediação envolve a metabolização de substâncias voláteis — como o clorofórmio e o tricloroetileno — que são convertidas em produtos gasosos de menor impacto ambiental.

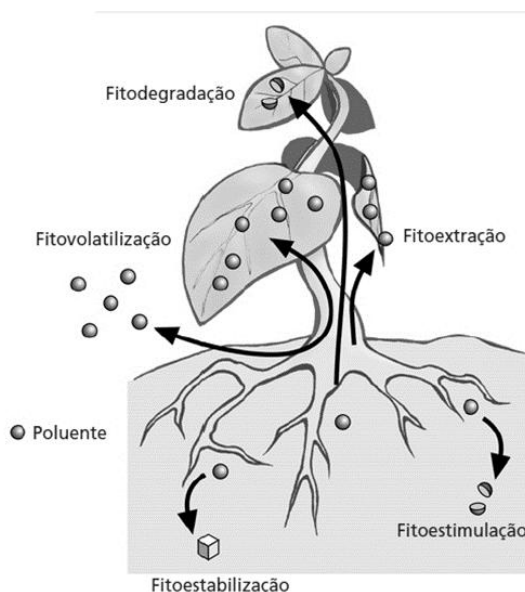
A fitoextração refere-se ao uso de espécies capazes de absorver contaminantes presentes no solo ou na água por meio das raízes, transferindo essas substâncias para seus tecidos aéreos, como caules e folhas. Conforme explica Freitas (2006), esse tipo de fitorremediação emprega organismos bioacumuladores — entre eles a alface-d'água (*Pistia stratiotes*) — que incorporam elementos tóxicos, como cádmio e chumbo, aos seus tecidos. Após o acúmulo, o material vegetal é removido e destinado a descarte adequado, contribuindo significativamente para a diminuição da carga poluente no ambiente.

A fitoestimulação corresponde a um mecanismo em que compostos liberados pelas raízes promovem o crescimento e a atividade de microrganismos responsáveis pela decomposição de contaminantes no solo. Conforme destaca Dias (2024), essa modalidade de fitorremediação atua de maneira indireta, pois os exsudatos radiculares funcionam como fonte de carbono e energia para microrganismos degradadores, fortalecendo sua atuação na transformação de

poluentes. Desse modo, ao disponibilizar açúcares e outras moléculas orgânicas, as plantas favorecem um ambiente microbiano mais ativo e propício à degradação de contaminantes.

A fitoestabilização consiste na capacidade de algumas espécies vegetais reduzirem a mobilidade de contaminantes presentes no solo, mantendo-os retidos em sua matriz e evitando que alcancem outros compartimentos ambientais. Nessa abordagem, os poluentes não são necessariamente removidos pelas plantas, mas permanecem fixados nas zonas radiculares, o que dificulta processos como a lixiviação para camadas mais profundas. Segundo Silva et al. (2019), esse tipo de fitorremediação envolve mecanismos que limitam o deslocamento de metais e outros elementos tóxicos, contribuindo para a contenção da contaminação — fenômeno ilustrado na imagem apresentada a seguir.

Figura 4: Esquema representando os diferentes processos de fitorremediação.



Fonte: (SOUZA, 2022).

2.3. *EICHHORNIA CRASSIPES*

As macrófitas aquáticas são componentes estruturais essenciais dos ecossistemas lóticos e lênticos, estando presentes em praticamente todos os corpos hídricos, mesmo quando apresentam baixa biodiversidade ou biomassa. Sua permanência nesses ambientes é crucial, uma vez que desempenham funções ecológicas fundamentais, como a mediação do metabolismo aquático, a participação

ativa na ciclagem de nutrientes e a regulação do fluxo de energia nos sistemas aquáticos. (Pompêo, 2017, p.5).

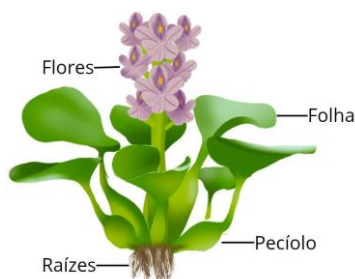
De acordo com a Flora Campestre da UFRGS, a *Eichhornia crassipes* pertencente a família *Pontederiaceae*, também conhecida como aguapé, baroneza, camalote, jacinto-d'água, murumuru, mururé, pareci, pavo e rainha-dos-lagos, é uma planta aquática, flutuante, anual ou perene, nativa da América tropical. O caule flutuante é rastejante e forma estolões. O pecíolo pode ser ocasionalmente inflado. As flores têm pétalas lilases com margem lisa e uma mancha amarela na pétala superior, assim como ilustra a figura 5 e sua morfologia está exemplificada na figura 6. É empregada na depuração de corpos de água poluídos, bem como na produção de biogás. É uma das espécies de macroalgas mais comum em ambientes aquáticos eutrofizados, sendo originária do Brasil com origem na região amazônica.

Figura 5 - Aspecto geral da *Eichhornia crassipes* e detalhe da flor.



Fonte: (Barosela, Groppo, Mateus, 2023)

Figura 6 - Morfologia



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

Da mesma forma, essas plantas herbáceas são de cultivo simples, pois se multiplicam com facilidade por meio de brotações e sementes, além de conseguirem sobreviver utilizando apenas a luz do sol. (Rodrigues et al., 2023 p. 25).

A *Eichhornia crassipes* (aguapé) é conhecida por sua alta capacidade de absorver metais pesados como cromo e chumbo da água ou do solo terrestre. Um

estudo feito por Martin (2008) comprovou que a planta teve capacidade de absorver até 83% de cromo hexavalente em águas contaminadas, sendo utilizada também para o tratamento de águas residuais, removendo nutrientes como nitrogênio e fósforo e apresentando taxas de remoção de metais pesados entre 70 e 90%.

Destacam-se por sua notável adaptabilidade e facilidade de propagação. Sua capacidade de reprodução acelerada, tanto por meio vegetativo (brotações) quanto por sementes, torna seu cultivo viável em diferentes ambientes. Além disso, apresentam exigências mínimas quanto à nutrição, sendo capazes de manter seu desenvolvimento apenas com a presença de luz solar, o que contribui para sua ampla distribuição e potencial em processos de fitorremediação pois podem tolerar variação no nível da água, velocidade do fluxo de água, extremas variações de nutrientes, de pH, de temperatura e de substâncias tóxicas. Quando estabelecida, ela não requer mais cuidados, exceto o corte regular e o desbaste ocasional para ajudar a controlar o crescimento da planta e impedir que ela sufoque todo o resto da lagoa.

Segundo Spósito (2018, p. 15) o aguapé, é amplamente reconhecido por sua função fitorremediadora em ecossistemas aquáticos. Tal capacidade decorre, principalmente, de seu sistema radicular altamente desenvolvido, que atua como filtro mecânico, retendo partículas em suspensão de origem orgânica e inorgânica presentes na coluna d'água. Esse processo favorece o desenvolvimento de comunidades microbianas, incluindo fungos e bactérias, contribuindo significativamente para aumento da atividade microbiológica no ambiente. Sua eficiência na remoção de poluentes está relacionada a três mecanismos principais que atuam de forma complementar.

Primeiramente, suas raízes promovem a filtração física, retendo sólidos em suspensão presentes na água. Em seguida, ocorre a absorção ativa de diversos contaminantes, como metais pesados, compostos organoclorados, organofosforados e fenóis, os quais são assimilados e incorporados aos tecidos vegetais. Além disso, a parte aérea da planta contribui para a oxigenação do ambiente aquático, liberando oxigênio na massa d'água e favorecendo a qualidade do ecossistema.

2.4. *PISTIA STRATIOTES*

A *Pistia stratiotes* popularmente conhecida como alface-d'água é uma macrófita aquática, sendo uma planta que está presente nas águas de lagos, lagoas e riachos, estando distribuída na região tropical e subtropical da América, Ásia e

África, as folhas possuem sua coloração verde e são inodora, tendo aproximadamente 13 centímetros de altura e 17 centímetros de largura, a *Pistia stratiotes* quando presente nos lagos, riachos e lagoas formam uma espessa camada na superfície da água podendo gerar entupimento do fluxo da água atrapalhando seu curso, as folhas possuem o formato de leque, ápice rombudo, margem inteira. (Tripathi., et al., 2010).

As macrófitas aquáticas são uma excelente opção para a recuperação de ambientes aquáticos, já que apresentam uma absorção de contaminantes e além disso elas possuem uma resistência a elementos tóxicos, consequentemente elas acabam realizando a fito remediação dos ambientes tóxicos e contaminados devido as condições as quais são impostas, conforme o ambiente apresenta uma maior concentração de toxicidade que de nutrientes, as macrófitas promovem mais absorção dos elementos tóxicos; a escassez de água é uma problemática muito ocorrente em nossa atual realidade sendo assim é necessário a sua preservação e tratamento. (Pinto, 2016).

Sendo da família *Araceae*, a *Pistia stratiotes* é uma macrófita que possui uma alta taxa de multiplicação, devido à grande independência das suas estruturas sexuais reprodutivas, tendo sua maior incidência em ambientes tropicais, além disso possui também a capacidade de regeneração a partir do talo, graças a sua estrutura podendo absorver compostos tóxicos do meio aquático é possível utilizá-la para a fitorremediação do meio, uma técnica de biorremediação utilizada de forma ecologicamente correta que além de muito eficaz não prejudica o meio, sua aparência está visível na figura 7. (Pinto et al., 2015)

Figura 7. *Pistia Stratiotes*



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

A *Pistia stratiotes* tem a capacidade de reduzir alguns herbicidas da água por mais que ao entrar em contato com o herbicida ocorre a necrose e mate algumas de suas partes, ela possui a capacidade de se replicar e regenerar, porém se mostra

mais eficaz em ambientes com média ou baixa contaminação de herbicidas, pois ele acaba danificando a estrutura da planta ao ser absorvido com isso quanto maior a concentração de herbicidas presentes na água, maior será o estrago causado na planta e consequentemente menor sua absorção e eficácia. (Santos, 2020).

Com isso, é possível observar que a utilização da *Pistia stratiotes* para desenvolvimento do projeto de fitorremediação do meio aquático será importante, pois além de ter grande taxa de absorção de toxidades, possui grande regeneração estrutural, o que garante que a planta não terá suas características afetadas pelo herbicida a ponto de perder sua eficácia, sendo assim a *Pistia stratiotes* terá sua utilização para os fins de recuperação aquática.

3. METODOLOGIA

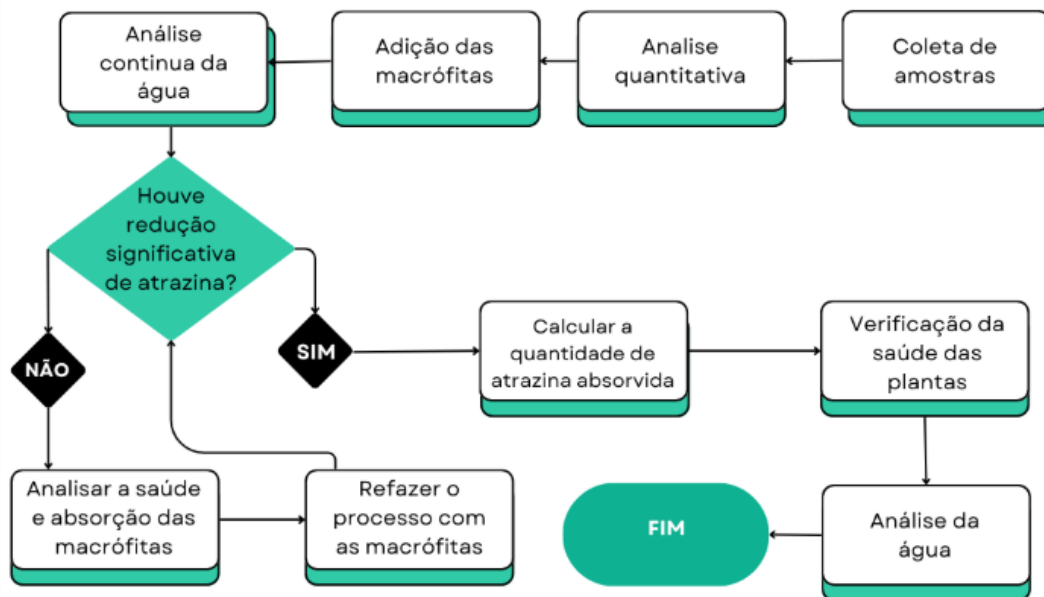
No presente estudo foi feita a pesquisa com base em referências bibliográficas acerca das macrófitas *Eichhornia crassipes* popularmente conhecida por aguapé entre outros nomes, e a *Pistia stratiotes* conhecida como alface d'água procurando por referências em sites, artigos científicos e livros acerca de sua capacidade fitorremediadora do herbicida atrazina (1-Cloro-3-etilamino-5-isopropilamino-2,4,6-triazina) cujo o principal imbróglia acerca desse composto é a contaminação de corpos hídricos por conta de sua alta solubilidade e potencial de lixiviação. Desse modo, foi feita análises laboratoriais in vitro para analisar e comparar o potencial de fitorremediação das duas espécies, assim o presente estudo visa utilizar essas espécies para remover o herbicida atrazina. Para isso, foi feito testes laboratoriais no laboratório de química e microbiologia da escola Etec Prof. Armando José Farinazzo

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. FLUXOGRAMA

O fluxograma abaixo exemplifica de maneira gráfica toda a prática para fazer o estudo, uma vez que, facilita o entendimento de todos os processos envolvidos, já que, é esquematizado e segue uma linha de desenvolvimento por etapas. Assim o fluxograma serve para facilitar a compreensão e facilitar a realização das práticas como mostrado na figura 8.

Figura 8. Fluxograma



Fonte: (Dos próprios autores, 2025).

4.2. TESTES LABORATORIAIS

4.2.1 Preparo do aguapé

Desse modo, foi conduzido testes laboratoriais *in vitro* para a análise espectrofotométrica da ATZ, para isso foi feita a coleta da macrófita aguapé em habitat natural nas proximidades de um lago em um sítio em Ouroeste, após essa coleta elas foram levadas ao laboratório onde foram lavadas com uma solução de hipoclorito de sódio a 5% para retirar possíveis interferentes conforme mostra a figura 9. Então, após isso as plantas foram deixadas em um aquário de vidro, onde acabaram por liberar pigmentos na água o que poderia interferir na análise espectrofotométrica pela presença desses compostos, uma vez que foi detectado a presença desses compostos no decorrer das semanas foi coletado em tubos falcons a água com esses pigmentos sendo organizados por dia, sendo considerados os dias 1, 2, 8 e 16.

Figura 9. Limpeza



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

Assim, foi possível reduzir os empecilhos que poderiam inviabilizar a prática, com isso poderia ser feito a análise sem falhas no procedimento, dado que se trata de uma análise espectral de caráter biológico que se trata de uma análise que visa analisar propriedades biológicas como moléculas, pigmentos, contaminantes e toxinas analisando como o material absorve, transmite e dispersa a luz, em que visasse identificar a fitorremediação em matrizes biológicas. Logo, postumamente foi feito o preparo de soluções para a construção da curva de calibração da ATZ.

4.2.2 Preparos de soluções para a análise espectrofotométrica

Em primeira instância, foi adquirido um galão do herbicida Atrazina, cuja concentração indicada no rótulo era de 500 g/L, o que corresponde a 500.000 mg/L. Esse valor representa a quantidade de princípio ativo presente por litro de solução comercial, servindo como base para o preparo das soluções utilizadas nos experimentos. A partir desse galão comercial, foi realizada a preparação de uma solução-mãe com concentração conhecida de 100mg/L, utilizando-se balões volumétricos, a fim de garantir precisão e reprodutibilidade nas medições. Durante essa etapa, todos os cuidados necessários foram tomados, como o uso de equipamentos limpos, luvas de proteção e pipetas de microlitros, assegurando a integridade das amostras e a segurança do procedimento conforme a figura 10.

Figura 10. Preparo das soluções



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

Em seguida, a solução mãe foi empregada para o preparo das soluções menores, por meio de diluições sucessivas com água destilada cuidadosamente realizadas com o auxílio de uma pipeta automática de microlitros. Esse instrumento permitiu medir volumes reduzidos com alta precisão, evitando alguns erros experimentais e garantindo a confiabilidade dos resultados obtidos nas análises subsequentes no espectrofotômetro. As diluições foram preparadas conforme os valores e proporções demonstrados na Tabela 1, que exemplifica as concentrações utilizadas. Esse processo meticuloso de preparo e diluição foi essencial para garantir a padronização das amostras e a reprodutibilidade dos resultados durante o desenvolvimento do estudo.

Tabela 1. Volumes e concentração utilizados no preparo das soluções

Soluções	Concentração (mg/L)	Microlitros μl
1	0,5	250
2	1,0	500
3	1,5	750
4	2,0	1000
5	2,5	1250
6	3,0	1500
7	4,0	2000
8	5,0	2500

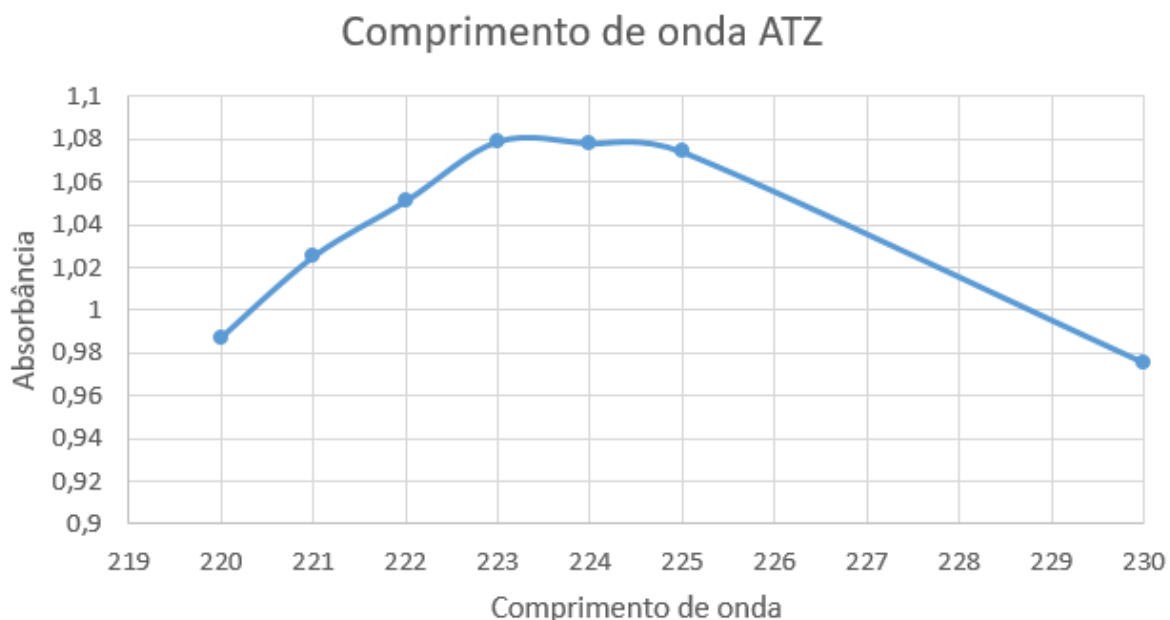
Fonte: (Dos próprios autores, 2025).

4.4. CURVA DE CALIBRAÇÃO.

Com isso realizado, procedeu-se à varredura no espectro de absorção da Atrazina (ATZ), conforme indicado na literatura vigente, que aponta um comprimento de onda de máxima absorção em 223 nm. Essa etapa foi fundamental para confirmar o comportamento espectrofotométrico da substância e assegurar que as leituras obtidas correspondiam de fato ao composto de interesse. A análise foi conduzida utilizando um espectrofotômetro devidamente calibrado, garantindo a precisão das medições e a confiabilidade dos dados obtidos.

Dessa forma, foi possível observar a resposta característica espectral da Atrazina que é em torno de 223 nm conforme aponta a literatura vigente e no gráfico abaixo foi observado essa característica crucial, assim permitindo a determinação do ponto ótimo de leitura para as análises quantitativas subsequentes como forme mostra o gráfico da figura 11. Mediante ao exposto, foi possível conduzir o estudo com rigor técnico e metodológico.

Gráfico 1. Gráfico de absorbância por comprimento de onda



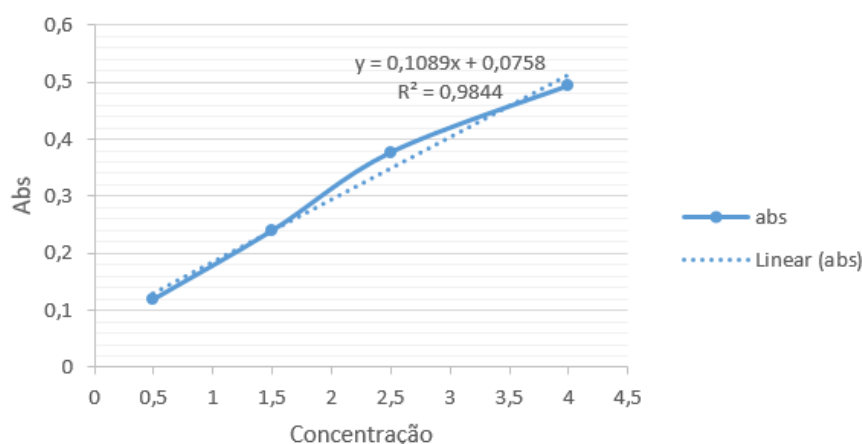
Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

Após a confirmação do comprimento de onda ideal de 223 nm e o preparo das soluções de diferentes concentrações, foram realizadas as medições de absorvância de cada amostra. Os valores obtidos foram organizados e comparados conforme demonstrado na tabela anterior, que serviu como base para a construção da curva de calibração da ATZ. Essa curva, elaborada a partir da relação entre a absorvância e a concentração, permitiu estabelecer um modelo linear de correlação, essencial para determinar a concentração de atrazina em amostras de água desconhecidas. O procedimento, além de seguir os parâmetros da literatura, garantiu o rigor metodológico, reprodutibilidade e confiabilidade nos resultados obtidos ao longo do estudo cuja tabela com as concentrações e as devidas absorvâncias estão na tabela 2 e a curva está exemplificada no gráfico 2.

Tabela 2. Concentração das soluções e leitura da absorvância

Amostras	Concentração (mg/L)	Absorvância (nm)
1	0,5	0,118
2	1,5	0,239
3	2,5	0,377
4	4,0	0,495

Gráfico 2. Curva de calibração
Curva de calibração



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

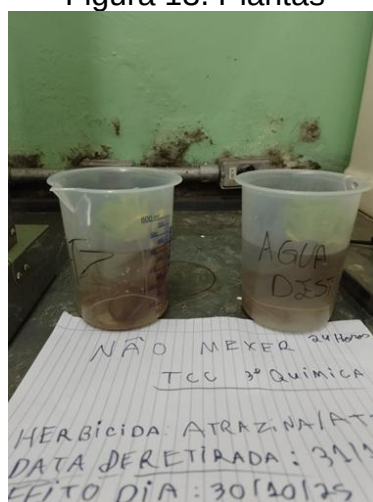
A curva analítica obtida apresentou a equação da reta $y=0,1089x+0,0758$ e um coeficiente de correlação $R^2 = 0,9844$, indicando que aproximadamente 98,4% dos dados se ajustam ao modelo e confirmando que o

sistema segue a Lei de Lambert-Beer que rege o experimento. A partir dessa equação, foi possível transformar as leituras de absorbância em concentração, utilizando a relação $x = (Abs - 0,0758) / 0,1089$, que é a equação para determinar a concentração, o que permitiu quantificar a eficiência das macrófitas no processo de fitorremediação. Para cada amostra, a porcentagem de remoção foi calculada pela expressão $\% \text{ Remoção} = [(C_0 - C_f) / C_0] \times 100$, onde C_0 representa a concentração na sua fase inicial e C_f a concentração após o tratamento com as plantas para determinar assim o percentual de remoção.

4.5 TESTE DE FITORREMEDIAÇÃO DAS MACRÓFITAS.

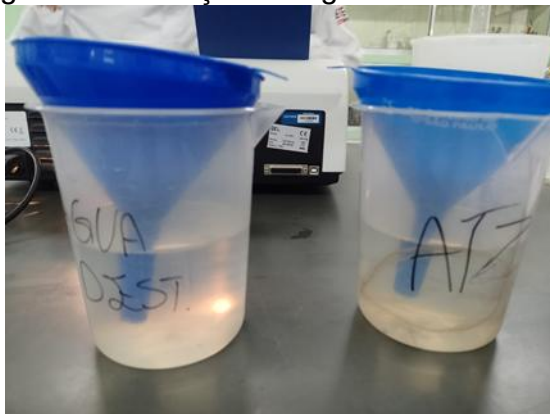
Assim fez a solução que utilizou água para esse preparo de teste de 4,02 mg/L, cuja concentração inicial foi obtida utilizando $x = (Abs - 0,0758) / 0,1089$, as macrófitas aguapé *Eichhornia crassipes* e alface-d'água *Pistia stratiotes* foram cuidadosamente colocadas em seus respectivos recipientes de modo que ficassem em contato direto com a solução com mais da metade do corpo dentro do recipiente e foram mantidas por um período de 24 horas em uma solução contendo atrazina na concentração de 4,02 mg/L já supracitada, como mostra a imagem 13 abaixo. Após o período de contato, o conteúdo de cada recipiente foi submetido a centrifugação por 2 minutos a 400 rpm, com o objetivo de separar sólidos em suspensão e facilitar o processo de filtração subsequente, realizado com papel filtro para clarificar a amostra antes da análise espectrofotométrica conforme a figura 14.

Figura 13. Plantas



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

Figura 14. Filtração da água das macrófitas



Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

Com base nas leituras obtidas no espectrofotômetro, avaliou-se a remoção de atrazina pelas macrófitas aguapé e alface-d'água. Para o aguapé, a absorbância inicial foi de 0,582. Após 24 horas, aplicando-se a equação da curva analítica $x = (Abs - 0,0758) / 0,1089$, determinou-se uma concentração inicial de 4,64 mg/L, correspondente a uma absorbância de 0,5142. Utilizando a fórmula da remoção, verificou-se que o aguapé removeu 13,36% da atrazina, permanecendo 86,64% do herbicida no meio aquático.

Para a alface-d'água, cuja absorbância inicial foi de 0,366, obteve-se uma concentração inicial de 2,6 mg/L e uma concentração final de 0,45 mg/L, também calculadas pela equação da reta. A partir desses valores, a porcentagem de atrazina remanescente foi de 16,92%, o que corresponde a 83,08% de remoção após subtração de 100%.

Comparando-se os dois organismos na tabela 3 abaixo, observa-se que a alface-d'água apresentou maior porcentagem de remoção, enquanto o aguapé obteve maior retenção de atrazina remanescente, embora ambas as espécies tenham demonstrado elevada capacidade de fitorremediação. Assim, os resultados evidenciam o potencial significativo das macrófitas aquáticas, especialmente do aguapé e da alface-d'água, na remoção ou degradação de compostos orgânicos como a atrazina presentes no ambiente aquático.

Tabela 3. Comparação entre as macrófitas

Parâmetro	Aguapé	Alface-d'água
Absorbância inicial (Abs ₀)	0,582	0,366
Concentração inicial (mg/L)	4,64	2,6
Absorbância final (Abs _f)	0,5142	0,1248
Concentração final (mg/L)	4,02	0,45
Fórmulas utilizadas	$X = (Abs - 0,0758) / 0,1089$ $\text{Remoção} = [(C_0 - C_f) / C_0] \times 100$	$X = (Abs - 0,0758) / 0,1089$ $\text{Remoção} = [(C_0 - C_f) / C_0] \times 100$
Remoção (%)	15,42%	83,08%
Atrazina remanescente (%)	84,58%	16,92%
Desempenho na fitorremediação	Baixo	Elevado

Fonte: (Dos próprios autores, 2025)

4.6 TESTES FÍSICO-QUÍMICOS.

Depois procedeu-se com as análises físico-químicas onde utilizou-se um turbidímetro para quantificar a turbidez de um líquido no caso a solução de 4,0 mg/L que será usada para fazer o teste das macrófitas, ou seja, analisar a quantidade de luz dispersa em um meio, dessa maneira o resultado foi de 2 NTU inicialmente. Logo, foi possível verificar que a atrazina em água altera a sua turbidez de maneira significativa podendo acarretar diversos riscos conforme supracitado, portanto, é necessário que haja medidas para sanar tal problemática.

Postumamente, foi feito um teste de pH utilizando fita que deu um pH de 5 inicialmente, ou seja, um pH levemente ácido, porém é válido ressaltar que a concentração de atrazina se comparado com a alta aplicabilidade deste herbicida em diversas culturas é um valor preocupante, pois além de alterar o padrão de potabilidade da água altera também o pH de forma significativa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, os objetivos esperados ao desenvolver este projeto foi a avaliação e comparação da eficiência da fitorremediação utilizando as espécies *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*, os resultados obtidos demonstram que foi uma

hipótese afirmativa positiva, pois ambas as macrófitas aquáticas se mostraram eficientes para a fitorremediação do meio aquático contra o herbicida atrazina, porém a *Pistia stratiotes* se mostrou bem mais eficaz para a remoção da atrazina da água. Assim, a utilização dessas plantas aquáticas, para os fins de recuperação da água se mostra como uma alternativa muito viável dado o fato que ambas não degradam o meio, e podem remover o composto tóxico atrazina da mesma, reforçando sua aplicabilidade em programas de recuperação ambiental e manejo sustentável dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. A. *Reciclagem de resíduos de cromo da indústria do cortume como pigmentos cerâmicos*. 2006. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-16092010-111529/publico/Tese_Miriam_Abreu.pdf. Acesso em: ago. 2023.

AGÊNCIA EUROPEIA DO MEIO AMBIENTE. *A água limpa é vida, saúde, alimentos, lazer, energia etc.* In: **AEA Sinais 2018 – Água é vida**. [S. l.]: EEA, 29 ago. 2018. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/pt/sinais-da-aea/sinais-2018/artigos/a-agua-limpa-e-vida>. Acesso em: 9 jun. 2025.

ALVES, E. H. et al. *Elaboração da curva de calibração utilizando ácido tânico comercial para determinação de atividade enzimática de tanase*. Sinergia, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 34–38, jan./jun. 2020.

AMERICAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. *Spectrophotometric determination of chemical species. Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, v. 107, n. 6, p. 2225–2230, 2010. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2842049/pdf/pnas.200909519.pdf>. Acesso em: 6 out. 2025.

ARFSTEN, D. P.; AYLWARD, L. L.; KARCH, N. J. *Imunotoxicology of environmental and occupational metals*. Tradução nossa. London: Taylor & Francis, p. 63–92, 1998.

Aspectos envolvidos na biodegradação da atrazina sob diferentes condições de oxirredução - **Scientific Figure on ResearchGate**. Disponível em:

https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Formula-estrutural-da-atrazina_fig1_353328430 Acesso: ago. 2025

BABINSKI, A. F. K.; MARIAMORO, A. Toxicidade crônica da atrazina em humanos. VI CONGRESSO BRASILEIRO DE TOXICOLOGIA CLÍNICA, 1. 2020. Anais [...]. 25–26 pg Nov. 2020. ISBN 978-65-86861-49-5. Disponível em: <https://eventos.congresse.me/vicbtc2020/resumos/7840.pdf>. Acesso em: dez. 2025.

BARBOSA, I. M. V. *O cromo no meio ambiente e tratamentos de efluentes contaminados com metais pesados*. 2017. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/36519/4/CromoMeioAmbiente.pdf>. Acesso em: jul. 2023.

BRAGA, C. *Aguapé - Eichhornia crassipes*. Disponível em: <https://www.floresefolhagens.com.br/aguape-eichhornia-crassipes/>. Acesso em: 22 ago. 2023.

COELHO, E. R. C.; Bernado L. D. Presença e remoção de atrazina, desetilatraxina e metabólitos por tratamento de água. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/7S3yrm7X7wy9QHFHyjXPG4f/>. Acesso em: dez. 2025.

COSTA, A. C. S. *Introdução à espectrometria na região do ultravioleta-visível (UV-Vis)*. Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Química, 2016. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/quimica/files/2016/08/Espectrometria-UV-vis.pdf>. Acesso em: 6 out. 2025.

DIAS, H. S. P. Recuperação de corpos hídricos pelo processo de fitorremediação: uma revisão bibliográfica. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal do Espírito Santo, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/4884>. Acesso em: dez. 2025.

FREITAS, T. C. M. *O cromo na indústria de curtumes de Mato Grosso do Sul, Brasil: aspectos ecológicos*. 2006. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/33532577.pdf>. Acesso em: out. 2025.

HAYES, T. B. et al. *Feminization of male frogs in the wild*. *Nature*, Londres, v. 419, n. 6910, p. 895–896, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/419895a>. Acesso em: 9 jun. 2025.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF SPECTROCHEMICAL ANALYSIS. *Spectrophotometric methods in chemical analysis*. *Journal of Analytical Chemistry*, Moscow, v. 64, n. 4, p. 366–372, 2009. DOI: 10.1134/S106193480904011X.

MARQUES, M. R. *Fitorremediação de águas contaminadas por metais pesados e poluentes orgânicos: uso de macrófitas aquáticas*. *Revista Eletrônica em Gestão*,

Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 505–514, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2236117017496>. Acesso em: 9 jun. 2025.

MARTINS, D.; COSTA, N. V.; TERRA, M. A.; MARCHI, S. R. Caracterização da comunidade de plantas aquáticas de dezoito reservatórios pertencentes a cinco bacias hidrográficas do Estado de São Paulo. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 17–32, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/Mh9chktQ8tV4QNXHPpmRVK/>. Acesso em: out. 2025.

METTLER TOLEDO. *UV-Vis spectroscopy and changes in pharmacopoeia*. 2023. Disponível em: <https://www.mt.com/br/pt/home/library/on-demand-webinars/lab-analytical-instruments/uvvis-pharmacopeia-changes-webinar.html>. Acesso em: 6 out. 2025.

MONTEIRO, D. et al. *Fitorremediação: o estado da arte*. Rio de Janeiro: CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, 2006. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/330/1/sta-39.pdf>. Acesso em: out. 2025.

PEREIRA, F. J. *Características anatômicas e fisiológicas de aguapé e índice de fitorremediação de alface-d'água cultivados na presença de arsênio, cádmio e chumbo*. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/1593/1/TESE_Caracter%C3%ADsticas%20anat%C3%B4micas%20e%20fisiol%C3%B3gicas%20de%20aguap%C3%A9%20e%20%C3%ADndice%20de%20fitorremedia%C3%A7%C3%A3o%20de%20alface%20d%C2%B4%C3%A1gua%20cultivados%20na%20presen%C3%A7a%20de%20ars%C3%AAnio,%20c%C3%A1dmio%20e%20chumbo.pdf. Acesso em: out. 2025.

PINTO, L. A. et al. *Determinação da potencialidade de utilização da Pistia stratiotes como agente fitorremediador de ambientes naturais*. ResearchGate, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/301445629_Determinacao_da_Potencialidade_de_Utilizacao_da_Pistia_stratiotes_como_Agente_Fitorremediador_de_Ambientes_Naturais. Acesso em: set. 2025.

PINTO, L. É. S. Influência temporal na composição química e potencial fitorremediador da pistia stratiotes em ambiente natural, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/7d0e7116-dc2c-4b59-ae91-f8b46b05670c/content>. Acesso em: jul. 2025.

ROCHA, R. F.; CARDOSO, L. A.; VIEIRA, C. S. Remoção de atrazina por processos oxidativos avançados: revisão dos principais mecanismos e limitações. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental e Sustentabilidade*, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 113–123, 2024.

Santos, C. Renovato, R. (2019). FOTOPROTEÇÃO: Uma proposta interdisciplinar para o Ensino Médio. Disponível em:

https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Espectro-eletromagnetico-Fonte-Horst-Frank-with-some-modifications-by_fig5_336073758. Acesso em: set, 2025

SANTOS, N. M. C. *Pistia stratiotes e Eichhornia crassipes como remediadoras de ecossistemas aquáticos com resíduos de atrazine e diuron*. Universidade federal dos vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2020. Disponível em: https://sgppg.com.br/files/banco_de_teses/597.pdf. Acesso em: out. 2025.

SCIENCING. *History of spectrophotometry*. 2021. Disponível em: <https://www.sciencing.com/history-spectrophotometry-6595173/>. Acesso em: 6 out. 2025.

SGPPG. *Banco de Teses em Ciências Ambientais – Fitorremediação e tratamento de efluentes*. São Paulo, 2023. Disponível em: https://sgppg.com.br/files/banco_de_teses/597.pdf. Acesso em: jul. 2025.

SILVA, T. J. et al. *Fitorremediação de solos contaminados com metais: panorama atual e perspectivas de uso de espécies florestais*. *Revista Virtual de Química*, v. 11, n. 1, p. 18–34, 2019.

SPÓSITO, T. H. N. *Matéria seca e acúmulo de nutrientes no aguapé utilizado para fitorremediação em águas residuárias de suinocultura*. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2018. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/180866/sposito_thn_dr_ilha.pdf. Acesso em: out. 2025.

SOUSA, R. C. *Fitorremediação de águas residuais utilizando macrófitas aquáticas*. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/7d0e7116-dc2c-4b59-ae91-f8b46b05670c/content>. Acesso em: jun. 2025.

TRIPATHI, P. *Pistia stratiotes (Jalkumbhi)*. *Pharmacognosy Reviews*. vol. 4, no. 8, pp. 153-160, 2010. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3249915/>. Acesso em: abril. 2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. *Espectrofotometria e suas aplicações ambientais. Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 45–60, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/7S3yrm7X7wy9QHFHyjXPG4f>. Acesso em: 6 out. 2025.

USP – INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS / DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA. *Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas*. São Paulo: USP/IB, 2017. Disponível em: https://ecologia.ib.usp.br/portal/macrophytas/all_book.pdf. Acesso em: out. 2025.

WIKIMEDIA COMMONS. *Electromagnetic spectrum – diagram*. 2023. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic_spectrum_-de.svg. Acesso em: 6 out. 2025.