



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

GLESIANE COUTINHO DA SILVA

**COMPOSIÇÃO DA COMUNIDADE DE DIATOMÁCEAS PLANCTÔNICAS NA
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL LAGOA DAS GARÇAS, MARANHÃO,
BRASIL.**

Imperatriz – MA

2026



GLESIANE COUTINHO DA SILVA

**COMPOSIÇÃO DA COMUNIDADE DE DIATOMÁCEAS PLANCTÔNICAS NA
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL LAGOA DAS GARÇAS, MARANHÃO,
BRASIL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas – CCENT, da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, do curso Ciências Biológicas.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Francisco da Silva

Imperatriz – MA

2026



S586c

Silva, Glesiane Coutinho da

Composição da comunidade de diatomáceas planctônicas na área de proteção ambiental Lagoa das Garças, Maranhão, Brasil. / Glesiane Coutinho da Silva. – Imperatriz, MA, 2025.

50 f. ; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2026.

1. Diatomáceas planctônicas. 2. Ecossistemas aquáticas continentais. 3. Monitoramento ambiental. 4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 574.583

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Mateus de Araújo Souza – CRB: 13/955**



GLESIANE COUTINHO DA SILVA

**COMPOSIÇÃO DA COMUNIDADE DE DIATOMÁCEAS PLANCTÔNICAS NA
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL LAGOA DAS GARÇAS, MARANHÃO,
BRASIL.**

Aprovado em: 08/01/2026

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCELO FRANCISCO DA SILVA
Data: 02/02/2026 15:58:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Francisco da Silva

Doutor em Biologia de Agentes Infecciosos e Parasitários
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente
gov.br ANTONIO EXPEDITO FERREIRA BARROSO DE CA
Data: 02/02/2026 07:43:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Antônio Expedito Ferreira Barroso de Carvalho

Mestre em Ciências Florestais
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente
gov.br IVANEIDE DE OLIVEIRA NASCIMENTO
Data: 02/02/2026 15:05:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Ivaneide de Oliveira Nascimento

Doutora em Agroecologia
Universidade Estadual da Região Tocantina Do Maranhão



DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus e estendo-o aos meus pais, que nunca deixaram de orar e lutar por mim.



AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que sempre me concedeu forças para continuar nesta jornada, além de saúde física e emocional para enfrentar os momentos de adversidade, especialmente quando me senti incapaz de prosseguir.

Agradeço aos meus pais, Vanderlei e Carliane, que estiveram ao meu lado durante todo esse percurso, oferecendo apoio incondicional, compreendendo minhas ausências em momentos importantes, orando por mim e investindo na minha educação desde o meu nascimento até os dias atuais. Dedicaram tempo, esforço e amor para que eu pudesse concluir a graduação e, acima de tudo, nunca me deixaram esquecer que Deus sempre esteve comigo, assim como o amor deles. Vocês são, sem dúvida, os melhores pais que eu poderia ter.

Estendo meus agradecimentos aos meus irmãos Kayla, Uryel Naaty e Samuel, que me apoiaram tanto nos momentos fáceis quanto nos difíceis. Muitas vezes me ajudaram sem perceber e se alegraram sinceramente com cada pequena vitória conquistada ao longo dessa caminhada.

Agradeço a todas as minhas tias, tios e primos — são tantos que seria impossível citar todos — por todo o apoio e carinho. Nunca me esquecerei das inúmeras vezes em que comemoraram minhas conquistas como se fossem suas, demonstrando proximidade, afeto e incentivo, mesmo quando a distância física se fez presente.

Agradeço imensamente aos meus avós, em especial à minha avó Rita, cujo jeito simples e carinhoso me cativa de forma tão extraordinária que me faltam palavras para expressar. Sou profundamente grata por todo o amor, cuidado e compreensão nas vezes em que não pude estar presente em prol da realização deste sonho. Amo vocês.

Agradeço ao meu esposo, com quem encontrei segurança, apoio e compreensão. Sou grata por todos os esforços feitos em favor do meu sonho, por me confortar e consolar nos momentos mais desafiadores, quando me encontrei fragilizada, mas fui acolhida com carinho. Obrigada pelo apoio emocional, financeiro e espiritual.

Estendo meus agradecimentos aos amigos e amigas que fiz no ambiente universitário. Juntos trabalhamos, crescemos em conhecimento e valores, construindo laços que permanecerão em minha memória para sempre. Agradeço, em especial, à minha amiga Isvethlana, cuja amizade tornou essa caminhada menos pesada e solitária, confirmando o que diz Provérbios 17:17: *“Em todo tempo ama o amigo, e na angústia se faz o irmão.”*



Agradeço também ao professor Joaquim Júnior, por ter me aceitado como sua bolsista PIBIC. Foram três anos de dedicação, aprendizado e enriquecimento científico, fundamentais para a minha formação acadêmica.

Estendo meus agradecimentos ao professor Marcelo, um excelente professor e orientador, que contribuiu significativamente para minha formação ao longo do período acadêmico. Suas orientações e experiências foram decisivas para minha escolha profissional, além de me proporcionarem vivências marcantes pelas quais sou profundamente grata.

Por fim, agradeço à UEMASUL, como instituição, por proporcionar experiências enriquecedoras, inúmeras oportunidades e por contar com professores incríveis, que contribuíram de forma significativa para minha formação e para que eu me tornasse uma profissional melhor preparada.

Agradeço, por fim, a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste sonho.



EPÍGRAFE

“Nenhuma disciplina é agradável no momento em que é aplicada; ao contrário, é dolorosa. Mais tarde, porém, produz uma colheita de vida justa e de paz para os que assim são corrigidos.”

Hebreus 12:11



RESUMO

Os ecossistemas aquáticos continentais urbanos estão sujeitos a intensas pressões antrópicas, o que torna necessária a utilização de ferramentas biológicas capazes de refletir as condições ambientais desses sistemas. Entre os organismos utilizados para esse fim, as diatomáceas planctônicas destacam-se por sua elevada sensibilidade às variações físico-químicas da água e ampla distribuição em ambientes lênticos. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a composição da comunidade de diatomáceas planctônicas na Área de Proteção Ambiental Lagoa das Garças, localizada no município de Imperatriz, Maranhão. As amostras analisadas foram provenientes do acervo do Laboratório de Ecologia e Limnologia da UEMASUL, obtidas por meio de arrastos horizontais com rede de plâncton de malha de 20 μm . O material foi submetido a processos de oxidação química para remoção da matéria orgânica e confecção de lâminas permanentes, posteriormente analisadas em microscopia óptica para identificação taxonômica em nível de gênero. Foram examinadas 13 lâminas permanentes, nas quais foram registrados nove gêneros de diatomáceas planctônicas: *Eunotia*, *Aulacoseira*, *Tryblionella*, *Asterionella*, *Achnantheidium*, *Pinnularia*, *Gomphonema*, *Stauroneis* e *Cyclotella*. A presença de gêneros com diferentes estratégias ecológicas indica elevada heterogeneidade ambiental no sistema estudado, refletindo a influência de fatores limnológicos e antrópicos característicos de ambientes urbanos. Os resultados reforçam a importância das diatomáceas como ferramentas eficazes para a caracterização ecológica e o monitoramento ambiental de ecossistemas aquáticos continentais, contribuindo para o conhecimento da biodiversidade local e subsidiando ações de gestão e conservação da Lagoa das Garças.

Palavras-chave: Diatomáceas planctônicas; Ecossistemas aquáticos continentais; Monitoramento ambiental.



ABSTRACT

Urban continental aquatic ecosystems are subject to intense anthropogenic pressures, which makes it necessary to use biological tools capable of reflecting the environmental conditions of these systems. Among the organisms used for this purpose, planktonic diatoms stand out due to their high sensitivity to physicochemical variations in water and their wide distribution in lentic environments. In this context, the present study aimed to analyze the composition of the planktonic diatom community in the Lagoa das Garças Environmental Protection Area, located in the municipality of Imperatriz, Maranhão, Brazil. The analyzed samples were obtained from the collection of the Ecology and Limnology Laboratory of UEMASUL and were collected through horizontal tows using a plankton net with a 20 μm mesh size. The material was subjected to chemical oxidation processes to remove organic matter and to prepare permanent slides, which were subsequently analyzed under optical microscopy for taxonomic identification at the genus level. A total of 13 permanent slides were examined, in which nine genera of planktonic diatoms were recorded: *Eunotia*, *Aulacoseira*, *Tryblionella*, *Asterionella*, *Achnantheidium*, *Pinnularia*, *Gomphonema*, *Stauroneis*, and *Cyclotella*. The presence of genera with different ecological strategies indicates high environmental heterogeneity in the studied system, reflecting the influence of limnological and anthropogenic factors typical of urban environments. The results reinforce the importance of diatoms as effective tools for ecological characterization and environmental monitoring of continental aquatic ecosystems, contributing to the understanding of local biodiversity and supporting management and conservation actions for Lagoa das Garças.

Keywords: Planktonic diatoms; Continental aquatic ecosystems; Environmental monitoring.



LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Estrutura da frústula de uma diatomácea..... | 18 |
| Figura 2. Paisagem da sub-bacia do Rio Bacuri destacando o uso e a cobertura da terra entre os anos de 2009 e 2019..... | 22 |
| Figura 3. Localização da Lagoa das Garças no município de Imperatriz - MA..... | 25 |
| Figura 4. Recipiente com amostra coletada na Lagoa das Garças..... | 26 |
| Figura 5. Fotografia dos materiais utilizados. A - Peróxido de hidrogênio e Ácido Sulfúrico. B e C - Centrífuga..... | 27 |
| Figura 06. Tubos de ensaio com as amostras oxidadas..... | 28 |
| Figura 07. Xilol e resina utilizados para fixar as lâminas..... | 28 |
| Figura 08. Lâminas permanentes prontas para observação..... | 29 |
| Figura 09. Prancha com diferentes espécies do gênero Eunotia..... | 31 |
| Figura 10. Prancha com imagem de indivíduos do gênero Pinnularia..... | 32 |
| Figura 11. Prancha com visualização de indivíduos do gênero Tryblionella..... | 33 |
| Figura 12. Prancha com imagem de espécimes do gênero Achnantheidium..... | 35 |
| Figura 13. Imagem de uma Cyclotella..... | 36 |
| Figura 14. Imagem da presença de uma Asterionella..... | 37 |
| Figura 15. Imagens de Aulacoseira em diferentes lâminas..... | 39 |
| Figura 16. Imagem de uma Gomphonema..... | 40 |
| Figura 17. Imagem de uma Stauroneis..... | 42 |



LISTA DE SIGLAS

IBD – Índice Biológico de Diatomáceas

IPS – Índice de Poluição por Sapróbios

IDSE – Diatom Species Eutrophication Index

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

APAs – Áreas de Proteção Ambiental

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza

APHA – American Public Health Association

AWWA – American Water Works Association

WEF – Water Environment Federation



SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 15 |
| 2.1 Água continentais e o plâncton | 15 |
| 2.2 Diatomáceas | 17 |
| 2.3 Diatomáceas como bioindicadoras | 18 |
| 2.4 Contexto regional e local: A Bacia do Tocantins e a Lagoa das Garças | 20 |
| 2.5 Caracterização da área de estudo | 22 |
| 3 OBJETIVOS | 23 |
| 3.1 Objetivo Geral..... | 23 |
| 3.2 Objetivos Específicos | 23 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS | 23 |
| 4.1 Área de estudo | 23 |
| 4.2 Análise da amostra | 24 |
| 4.3 Técnicas e Identificação | 25 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 28 |
| 5.1 Composição genérica das diatomáceas planctônicas | 28 |
| 5.2 Caracterização morfológica dos gêneros identificados..... | 29 |
| 6 CONCLUSÃO | 41 |
| REFERÊNCIAS | 43 |

1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas aquáticos continentais desempenham papel fundamental na manutenção da biodiversidade, na regulação de ciclos biogeoquímicos e no fornecimento de serviços ecossistêmicos essenciais às sociedades humanas, como abastecimento de água, lazer e controle climático (Esteves, 2011; Tundisi; Tundisi, 2008). No entanto, esses ambientes têm sido progressivamente impactados pelo avanço da urbanização, pela intensificação do uso do solo e pela insuficiência de políticas eficazes de saneamento e gestão ambiental, especialmente em áreas urbanas e periurbanas (Von Sperling, 2014; Allan; Castillo, 2007).

Dentre os ecossistemas aquáticos continentais, os ambientes lênticos urbanos, como lagoas e lagos artificiais ou naturais inseridos em centros urbanos, apresentam elevada vulnerabilidade às pressões antrópicas. A impermeabilização do solo, o aporte difuso de nutrientes, o lançamento de efluentes domésticos e o assoreamento das bacias de drenagem alteram de forma significativa a dinâmica física, química e biológica desses sistemas, comprometendo sua qualidade ambiental e funcionalidade ecológica (Esteves, 2011; Tundisi; Tundisi, 2008).

Nesse contexto, os organismos planctônicos, em especial o fitoplâncton, têm sido amplamente utilizados como ferramentas eficientes para avaliação da qualidade da água e do estado trófico de ecossistemas aquáticos. Por apresentarem ciclos de vida curtos, elevada sensibilidade às mudanças ambientais e rápida resposta às variações nas condições físico-químicas da água, esses organismos refletem de forma integrada os efeitos das pressões naturais e antrópicas sobre os corpos hídricos (Reynolds, 2006; Padisák; Crossetti; Naselli-Flores, 2009).

Entre os principais grupos do fitoplâncton, as diatomáceas (Bacillariophyta) destacam-se por sua ampla distribuição geográfica, diversidade taxonômica e importância ecológica como produtores primários nos ecossistemas aquáticos continentais e marinhos (Round; Crawford; Mann, 1990). Esses organismos possuem frústulas silicosas altamente preserváveis, o que permite sua utilização tanto em estudos ecológicos atuais quanto em reconstruções paleoambientais, reforçando seu valor como bioindicadores ambientais (Battarbee *et al.*, 2010; Bicudo *et al.*, 2016).

As diatomáceas planctônicas, em particular, são componentes-chave das comunidades fitoplanctônicas de ambientes lênticos, respondendo de maneira específica a gradientes ambientais como disponibilidade de nutrientes, transparência da água, regime hidrodinâmico e variações sazonais de temperatura e precipitação (Reynolds, 2006; Bicudo; Menezes, 2017). A

composição genérica e específica dessas comunidades fornece informações relevantes sobre o estado trófico e a integridade ecológica dos sistemas aquáticos, sendo amplamente utilizada em programas de monitoramento e avaliação ambiental (Lobo *et al.*, 2016; Tundisi; Tundisi, 2008).

No Brasil, estudos envolvendo diatomáceas como ferramentas de diagnóstico ambiental têm se intensificado nas últimas décadas, sobretudo em regiões sujeitas a rápidas transformações ambientais, como áreas urbanas inseridas em zonas de transição ecológica (Bicudo *et al.*, 2016; Lobo *et al.*, 2016). A região nordeste do país, e em especial o estado do Maranhão, caracteriza-se por apresentar elevada heterogeneidade ambiental, resultante da transição entre os biomas Amazônia e Cerrado, além de marcada sazonalidade climática, fatores que influenciam diretamente a dinâmica dos ecossistemas aquáticos continentais (Dias *et al.*, 2021 Santos *et al.*, 2020).

Inserida nesse contexto, a Lagoa das Garças, localizada no município de Imperatriz, Maranhão, constitui um importante ambiente aquático urbano, submetido a diferentes pressões antrópicas decorrentes do processo de urbanização e do uso e ocupação do solo em sua bacia de drenagem. Apesar de sua relevância ambiental e social, estudos voltados à caracterização biológica, especialmente da comunidade fitoplancônica e das diatomáceas planctônicas, ainda são escassos, o que limita a compreensão de sua condição ecológica e o embasamento de estratégias de manejo e conservação.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar a composição da comunidade de diatomáceas planctônicas na Área de Proteção Ambiental Lagoa das Garças, contribuindo para o conhecimento da biodiversidade local e para a avaliação da qualidade ambiental desse ecossistema aquático urbano. Ao abordar a composição genérica das diatomáceas, este estudo fornece subsídios científicos relevantes para futuras ações de monitoramento, gestão ambiental e conservação de ambientes lênticos urbanos na região sul do Maranhão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Água continentais e o plâncton

A Terra é o único planeta conhecido onde a água ocorre nos estados sólido, líquido e gasoso, circulando continuamente na biosfera. Esse ciclo natural é essencial para o equilíbrio ambiental e para a manutenção da vida no planeta (Esteves, 2011). A água é indispensável à vida desde suas origens, sustentando organismos, ecossistemas, paisagens, culturas, religiões e o desenvolvimento das civilizações humanas. Apesar dessa dependência vital, as sociedades

humanas degradam corpos hídricos superficiais e subterrâneos por poluição, uso inadequado e destruição da vegetação, o que reduz a quantidade e a qualidade da água e compromete suas reservas naturais (Tundisi e Tundisi, 2008).

A América do Sul apresenta grande diversidade ambiental, resultante das variações de latitude e altitude, que se expressam em diferentes paisagens e sistemas hídricos, os quais, por sua vez, sofrem crescentes interferências das atividades humanas e dos múltiplos usos das bacias hidrográficas, gerando impactos diretos e indiretos que podem alcançar até as regiões costeiras e se tornar cada vez mais complexos (Tundisi e Tundisi, 2008).

O termo plâncton denomina organismos aquáticos que vivem suspensos na coluna de água e cuja locomoção é predominantemente influenciada pelas correntes, não pela capacidade de nadar ativamente contra elas. O plâncton é composto principalmente por dois grupos funcionais: o fitoplâncton, constituído por produtores primários fotossintetizantes, e o zooplâncton, formado por consumidores heterotróficos que se alimentam de outros organismos planctônicos (Karpowicz; Zieliński *et al.*, 2021).

O fitoplâncton inclui microalgas e outras microestruturas fotossintéticas que realizam fotossíntese, fixando dióxido de carbono (CO_2) e produzindo matéria orgânica e oxigênio molecular (O_2). Dessa forma, esses organismos formam a base trófica dos ecossistemas aquáticos, sendo a principal fonte de energia para os níveis superiores da cadeia alimentar. A fotossíntese realizada pelo fitoplâncton constitui uma parte essencial do ciclo global do carbono, ao converter CO_2 inorgânico em carbono orgânico biodisponível (Wanek *et al*, 2025; Falkowski, 2012).

O zooplâncton é composto por organismos heterotróficos, como protistas, crustáceos planctônicos e outros animais microscópicos, que consomem fitoplâncton, bactérias e partículas orgânicas presentes no ambiente aquático. Ao se alimentar do fitoplâncton, o zooplâncton transfere a energia e o carbono fixados pelos produtores primários para níveis tróficos mais elevados, como peixes e outros consumidores secundários, desempenhando um papel fundamental na rede alimentar aquática (Karpowicz *et al*, 2021).

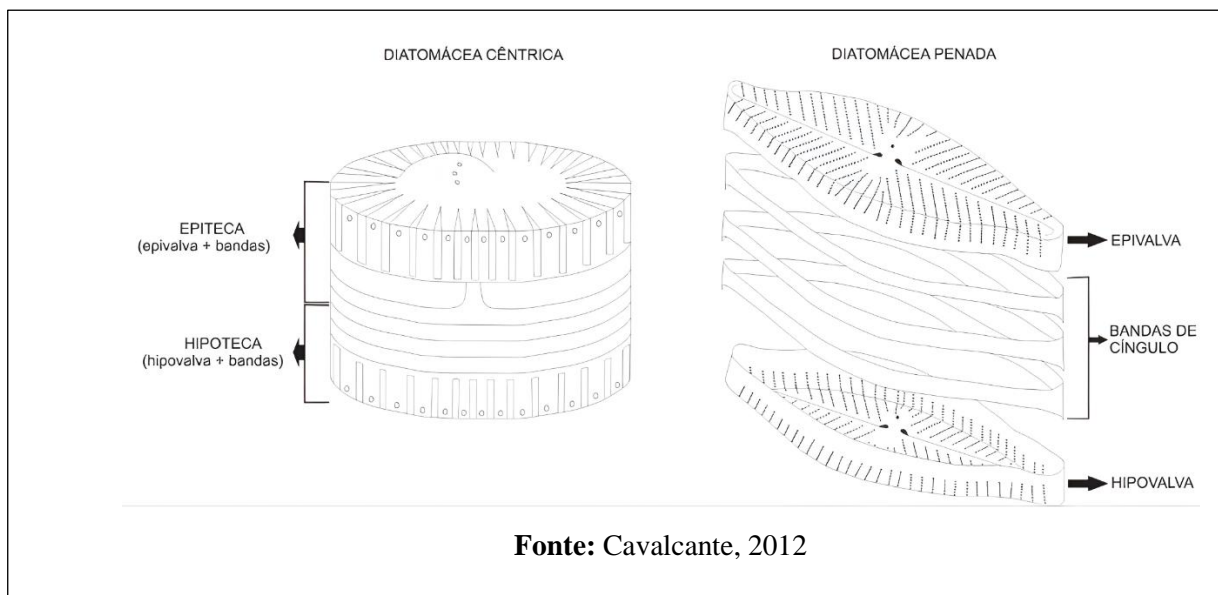
O papel do plâncton, e em especial do fitoplâncton e do zooplâncton — é, duplamente importante: primeiro, como base energética que sustenta toda a teia alimentar aquática; segundo, como elemento central no movimento e armazenamento de carbono nos ecossistemas marinhos e continentais. As interações entre produtores primários e consumidores não apenas determinam a produtividade dos ambientes aquáticos, mas também contribuem para processos ecológicos de larga escala, como a regulação climática e o sequestro de carbono atmosférico (Wanek; Esteban-Cantillo; Bourgeois-Gironde, 2025).

2.2 Diatomáceas

As diatomáceas são algas unicelulares eucarióticas pertencentes à divisão Bacillariophyta. A característica diagnóstica mais marcante deste grupo é a presença de uma parede celular externa altamente silicificada, denominada frústula. Esta estrutura é composta por sílica opalina (dióxido de silício hidratado) e apresenta uma arquitetura semelhante a uma "caixa de Petri" (figura 1), composta por duas valvas que se encaixam: a epiteca (parte superior, maior) e a hipoteca (parte inferior, menor) (Round; Crawford; Mann, 2007).

A morfologia das diatomáceas é definida pela simetria de suas valvas, sendo tradicionalmente divididas em dois grandes grupos: cêntricas e penadas. As cêntricas apresentam simetria radial sob vista valvar. Suas valvas são geralmente circulares ou triangulares, com ornamentações que partem de um ponto central. São predominantemente marinhas, mas ocorrem em águas continentais, especialmente no plâncton de grandes reservatórios. As penadas possuem simetria bilateral. Suas valvas são alongadas ou em forma de barcaça. Muitas diatomáceas penadas possuem uma fenda longitudinal chamada rafa, que secreta mucilagem e permite o deslocamento do organismo sobre substratos (Bicudo; Menezes, 2017).

Figura 1. Estrutura da frústula de diatomáceas



Ecologicamente, as diatomáceas são consideradas um dos grupos funcionais mais importantes do planeta. Como organismos fotoautotróficos, elas representam uma parcela

significativa da produção primária global, sendo responsáveis por aproximadamente 20% a 30% de todo o oxigênio produzido na Terra (Spaulding et al., 2021).

Em ambientes límnicos (água doce), elas atuam como a base da teia trófica, convertendo energia solar e nutrientes (especialmente nitrogênio, fósforo e silício) em biomassa de alta qualidade nutricional, rica em ácidos graxos essenciais para o zooplâncton e peixes. Além disso, devido à densidade de suas frústulas de sílica, as diatomáceas possuem altas taxas de sedimentação, desempenhando um papel crucial no ciclo do carbono ao transportarem carbono orgânico para o sedimento profundo, funcionando como um sumidouro de CO₂ (Reynolds, 2006).

A distribuição das diatomáceas nos corpos d'água é ditada pelo seu modo de vida, sendo classificadas principalmente em planctônicas e bentônicas. As diatomáceas planctônicas vivem em suspensão na coluna d'água. Em ecossistemas lênticos, como lagos urbanos e reservatórios, o fitoplâncton é dominado por espécies que desenvolveram estratégias para reduzir a taxa de sedimentação, como a formação de colônias ou a presença de espinhos e processos mucilaginosos. As diatomáceas Bentônicas/Perifíticas: Vivem associadas a substratos submersos (pedras, lodo ou macrófitas). Em sistemas de águas paradas (lênticas), a comunidade planctônica é um indicador sensível do estado trófico. Como as diatomáceas dependem do silício para a construção de suas valvas, a razão Silício: Fósforo no ambiente é um fator determinante para sua sucessão ecológica. Em cenários de eutrofização urbana, onde o fósforo é abundante, a análise da composição das diatomáceas planctônicas revela precocemente quedas na qualidade da água (Vieira, 2011).

2.3 Diatomáceas como bioindicadoras

A bioindicação baseia-se na utilização de organismos vivos para inferir as condições ambientais de um ecossistema com base nas respostas desses organismos a fatores bióticos e abióticos (Lobo *et al.*, 2016). Em ecossistemas aquáticos, os bioindicadores permitem detectar mudanças na qualidade da água que não são facilmente observáveis apenas por meio de parâmetros físico-químicos, uma vez que assimilam a influência de múltiplos fatores ambientais ao longo do tempo (Souza; Teixeira; Brito *et al.*, 2018).

As diatomáceas, algas microscópicas do grupo Bacillariophyceae, são consideradas excelentes bioindicadores devido à combinação de características ecológicas e biológicas altamente adequadas para monitoramento ambiental. Elas apresentam ciclo de vida curto, o que permite respostas rápidas a alterações ambientais, e diferentes espécies possuem amplitudes de

tolerância distintas a condições como nutrientes, pH, salinidade e poluição orgânica, refletindo variações no estado ecológico do ambiente (Souza; Teixeira; Brito *et al.*, 2018; Nascimento; Bush; Bicudo, 2021). Além disso, as frústulas silicosas das diatomáceas preservam-se bem nos sedimentos, permitindo reconstruções paleolimnológicas e avaliações retrospectivas da qualidade ambiental ao longo do tempo (Bennion; Simpson, 2011).

Essas características tornam as diatomáceas particularmente eficazes como indicadores biológicos em contextos de monitoramento contínuo e em avaliações de impacto ambiental, porque mudanças na composição das comunidades de diatomáceas geralmente refletem mudanças na qualidade da água antes que medidas físico-químicas isoladas detectem alterações consideráveis (Namwaya; Raburu; Lunaligo, 2013).

Devido à sua alta sensibilidade a diferentes estressores ambientais, como eutrofização, alterações de pH e cargas de nutrientes, as diatomáceas são amplamente utilizadas para avaliar o estado ecológico de corpos d'água. Estudos mostram que comunidades de diatomáceas variam significativamente entre áreas menos impactadas e áreas com maior pressão antrópica, com espécies sensíveis mais abundantes em águas de boa qualidade e espécies tolerantes dominando em ambientes poluídos (Namwaya; Raburu; Lunaligo, 2013).

Em ambientes brasileiros, o uso de diatomáceas como bioindicadores tem sido discutido e aplicado em diferentes contextos limnológicos, destacando-se por identificar respostas ecológicas à eutrofização e degradação em sistemas lóticos e lênticos (Souza; Teixeira; Brito *et al.*, 2018).

Para quantificar e interpretar respostas biológicas das diatomáceas ao ambiente, foram desenvolvidos diversos índices diatomológicos. Esses índices combinam informações da composição e abundância de espécies com dados ambientais, gerando métricas que permitem avaliar a qualidade ecológica de um corpo hídrico.

Um exemplo recente de desenvolvimento metodológico é um índice milimétrico baseado em diatomáceas para avaliação do estado ecológico em lagos, chamado IBDL (Índice Biológico Diatomées en Lacs), que correlacionou fortemente as comunidades de diatomáceas com variáveis ambientais chave em lagoas francesas (Dalton *et al.*, 2023).

Outros índices amplamente utilizados em avaliações ecológicas incluem IBD, IPS e IDSE. O IBD (Índice Biológico de Diatomáceas), desenvolvido para refletir o estado trófico e a concentração de nutrientes nos ambientes aquáticos, sendo frequentemente correlacionado com poluição orgânica e eutrofização. Já o IPS (Índice de Poluição por Sapróbios) avalia a resposta da assembléia de diatomáceas a poluentes orgânicos e realização de fertilidade trófica.

Enquanto que o IDSE (Diatom Species Eutrophication index), que mensura a resposta das assembléias de diatomáceas ao estado trófico de um corpo d'água (Xue *et al*, 2023).

Estes índices são calculados a partir de perfis ecológicos de espécies, geralmente ponderando espécies com base em preferências ou tolerâncias a níveis de nutrientes, matéria orgânica ou condições redox, seguindo metodologias testadas globalmente (Xue *et al*, 2023).

Outras abordagens, como o uso de múltiplos índices conjuntamente ou a adaptação de índices desenvolvidos em regiões temperadas para contextos tropicais, também têm sido exploradas em estudos recentes, mostrando que a eficácia dos índices depende da compatibilidade entre as respostas ecológicas das diatomáceas locais e os parâmetros ecológicos considerados nos modelos (Xue *et al*, 2023; Tan *et al*, 2012).

O uso de diatomáceas como bioindicadores ambientais é sustentado por uma base ecológica sólida: organismos com ciclos de vida curtos e resposta sensível a mudanças ambientais, ampla distribuição geográfica e preservação das frústulas nos sedimentos permitem tanto avaliação atual quanto retrospectiva de qualidade da água (Souza; Teixeira; Brito *et al.*, 2018; Namwaya; Raburu; Lunaligo, 2013).

Os índices diatomológicos, como IBD, IPS e índices multimetric baseados em diatomáceas, oferecem ferramentas quantitativas robustas para síntese de dados biológicos em métricas de qualidade ecológica, complementando análises físico-químicas e fortalecendo programas de monitoramento ambiental (Tison *et al*, 2023).

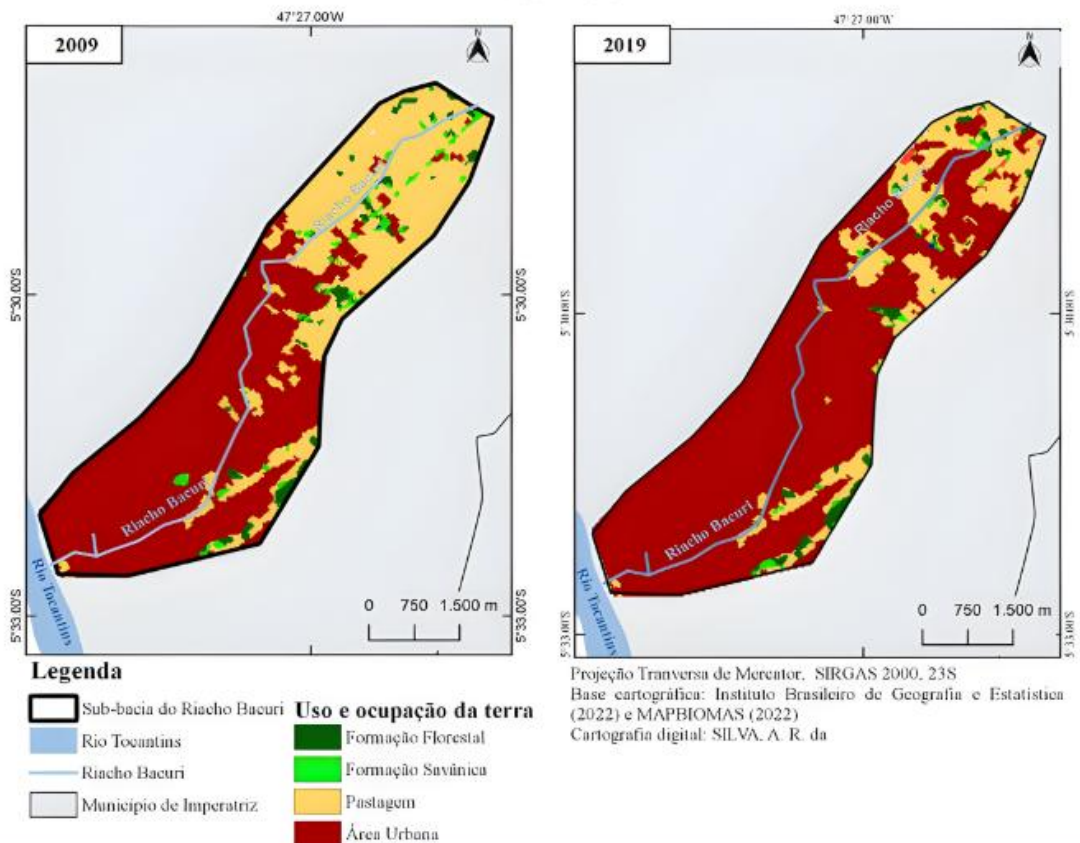
2.4 Contexto regional e local: A Bacia do Tocantins e a Lagoa das Garças

O município de Imperatriz, situado no sudoeste do estado do Maranhão, integra a Bacia Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, um dos maiores sistemas de drenagem do Brasil, que exerce papel estruturante na hidrologia regional ao articular cursos d'água que atravessam os biomas Amazônia e Cerrado (Silva, 2007). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Imperatriz possui uma população estimada de 285.806 habitantes em 2025 e uma área territorial de aproximadamente 1.369,04 km², configurando-se como o segundo município mais populoso do estado e um importante polo econômico e logístico na Região Metropolitana do Sudoeste Maranhense (IBGE, 2025). O clima da região é classificado como tropical sazonal, com uma estação chuvosa bem definida, geralmente concentrada entre os meses de dezembro e maio, e um período de estiagem prolongado durante os meses de junho a novembro, o que influencia diretamente o regime de vazões dos cursos d'água, os processos de recarga de aquíferos e a dinâmica de ecossistemas lênticos e lóticos na sub-bacia do Riacho

Bacuri e demais afluentes do Tocantins (Climate Imperatriz: Data and graphs for weather & climate in Imperatriz, 2022). Essa variação climática tem implicações diretas na limnologia local, afetando parâmetros físico-químicos da água, a disponibilidade de habitat aquático e a estrutura das comunidades biológicas, tornando Imperatriz um contexto apropriado para estudos de monitoramento ambiental em ecossistemas aquáticos urbanos.

A sub-bacia do Riacho Bacuri, que drena parte significativa da área urbana de Imperatriz e desemboca no Rio Tocantins, tem sido objeto de análise em termos de uso e cobertura do solo e qualidade ambiental (figura 2). Silva (2023) relata que a combinação de expansão urbana, densidade populacional crescente e falta de infraestrutura sanitária tem promovido degradação da paisagem e alteração da qualidade das águas superficiais na sub-bacia, com modificações significativas nos padrões de uso da terra evidenciados por imagens de satélite e análises de campo (Silva, 2023).

Figura 2. Paisagem da sub-bacia do Rio Bacuri destacando o uso e a cobertura da terra entre os anos de 2009 e 2019.



Fonte: Silva, 2023

Estudos sobre a qualidade da água no Riacho Bacuri e seus afluentes demonstram impacto de fatores antrópicos como descarte de efluentes e resíduos, resultando em variações

físico-químicas que ultrapassam parâmetros desejáveis para uso recreativo e abastecimento, especialmente próximo a áreas densamente ocupadas. Segundo Silva et al. (2024), a elevada carga de metais e outros contaminantes em pontos amostrados ao longo da sub-bacia, reforça a ligação entre condições sanitárias inadequadas e a saúde ambiental da bacia hidrográfica urbana.

Esses resultados alinham-se com o entendimento mais amplo de que a ocupação urbana não planejada altera a cobertura natural do solo, aumenta a área impermeabilizada e intensifica o transporte de sedimentos e poluentes para os cursos d'água, resultando em degradação da qualidade hídrica e alterações nas comunidades biológicas aquáticas (Paul; Meyer, 2001; Allan, 2004; Tucci, 2008). Além disso, a literatura científica e institucional demonstra de forma consistente que a deficiência no saneamento básico está diretamente associada à degradação da qualidade da água e ao aumento da incidência de doenças de veiculação hídrica, evidenciando que a saúde humana está intimamente ligada às condições ambientais locais, especialmente em bacias hidrográficas urbanas (Heller, 1998; Guidelines, 2017).

2.5 Caracterização da área de estudo

A Lagoa das Garças, inserida no contexto urbano de Imperatriz (MA), está associada hidrologicamente à sub-bacia do Riacho Bacuri, um importante afluente que drena parte da área urbana para o sistema do Rio Tocantins. Estudos realizados com análise de uso e cobertura da terra demonstram que a expansão urbana na sub-bacia do Bacuri está correlacionada com a degradação da qualidade da água, sendo evidenciada a perda de áreas naturais e o aumento da mancha urbana, o que influencia parâmetros físico-químicos dos cursos d'água (Silva, 2023). Além disso, avaliações de qualidade da água indicam que a sub-bacia apresenta características de baixa qualidade, em parte atribuíveis à falta de saneamento básico, expondo a água a contaminantes e refletindo a influência antrópica sobre os corpos d'água locais (Silva et al, 2024).

Por sua localização em área urbana, a Lagoa das Garças está sujeita às pressões típicas de ambientes antrópicos, incluindo a expansão da malha urbana, alinhada com a ocupação de áreas naturais e fragmentadas, que modifica o fluxo de água superficial e intensifica o aporte de poluentes. Esse cenário exige atividades de monitoramento e gestão hídrica que considerem tanto a dinâmica natural quanto as influências humanas (IERE, 2025; Yuan et al, 2019).

Embora estudos específicos sobre a Lagoa das Garças ainda sejam escassos na literatura científica publicada, análises comparativas com outras lagoas urbanas no estado demonstram que tais ecossistemas tendem a refletir de maneira sensível as pressões antrópicas locais,

alterando a qualidade da água e reduzindo a integridade ecológica das comunidades aquáticas (Gomes et al, 2019).

A conversão de áreas naturais ou parcialmente alteradas em Unidades de Conservação, como as Áreas de Proteção Ambiental (APAs), constitui uma estratégia jurídica de caráter preventivo e difuso voltada à conservação da paisagem, dos recursos hídricos e da biodiversidade em contextos de elevada pressão antrópica. De acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), as APAs são categorias de uso sustentável que permitem a presença de ocupação humana, desde que compatível com a conservação dos atributos ambientais, visando assegurar a manutenção dos serviços ecossistêmicos e do equilíbrio do meio físico e biológico (BRASIL, 2000). Documentos técnicos do Ministério do Meio Ambiente destacam que essa categoria é especialmente indicada para áreas com ocupação urbana ou periurbana, onde a proteção integral é inviável, mas a regulamentação do uso do solo é essencial para mitigar impactos ambientais (MMA, 2012; MMA, 2022). No estado do Maranhão, a adoção de APAs como instrumento de gestão ambiental tem sido empregada para conter processos de degradação associados à urbanização e à pressão sobre recursos hídricos, reforçando a relevância da proteção legal em ambientes aquáticos urbanos e suas bacias de drenagem (Filho, 2019).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar a composição e a estrutura da comunidade de diatomáceas planctônicas na área de proteção ambiental Lagoa das Garças, Maranhão, Brasil.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar taxonomicamente o gênero das diatomáceas planctônicas presentes na amostra coletada;
- Avaliar a diversidade total das diatomáceas planctônicas.

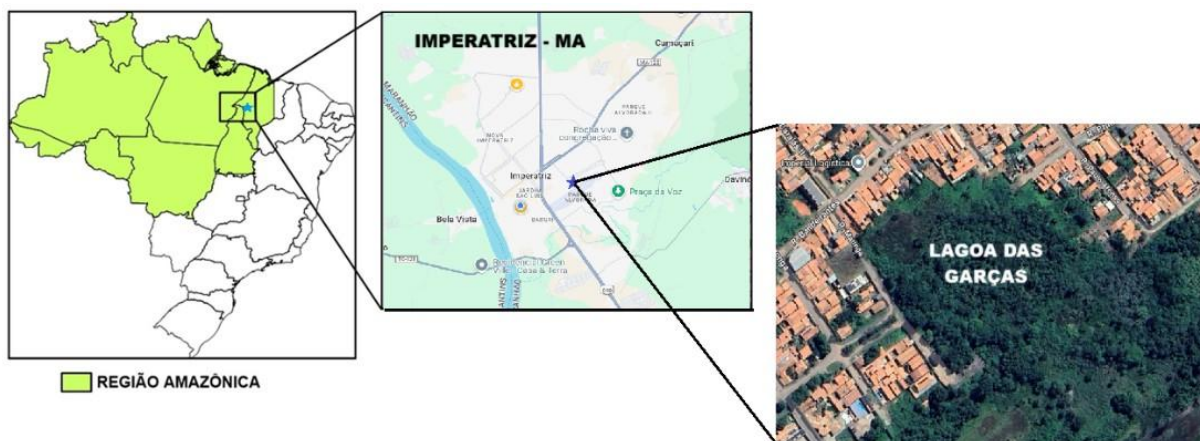
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estudo será conduzido na Lagoa das Garças, que está localizada na área urbana do município de Imperatriz, no Maranhão, integrando o trecho médio da microbacia do Riacho Bacuri (Carvalho, 2002), como mostra a figura 3. Geograficamente, a lagoa situa-se entre as

coordenadas 5°31'33.4" e 5°31'42.8" de latitude Sul e 47°27'35.0" e 47°27'44.8" de longitude Oeste. Sua área permanentemente alagada abrange aproximadamente 18.000,00 m² com uma extensão máxima de cerca de 150 m e largura máxima de 122 m.

Figura 3. Localização da Lagoa das Garças no município de Imperatriz - MA

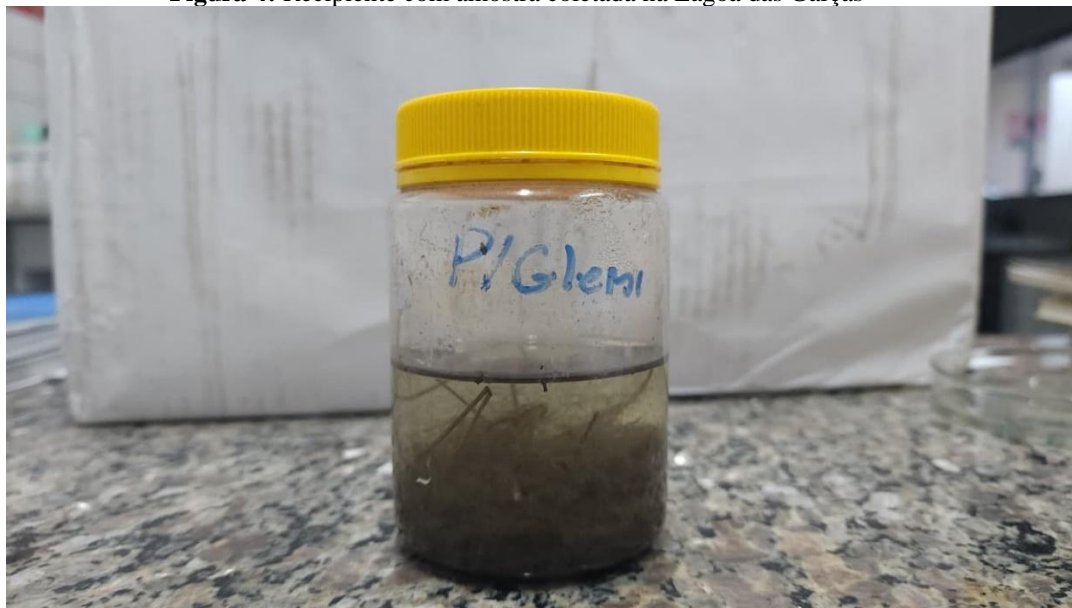


Biogeograficamente, a área do município de Imperatriz está situada em uma crucial zona de ecótono, caracterizada pela transição entre o Cerrado marginal, que se estende pelos estados do Maranhão e Piauí, e a Floresta Amazônica (Silva, 1999). A expansão acelerada da área urbana de Imperatriz, que se desenvolveu sobre uma extensa rede de microbacias, tem gerado impactos sistemáticos. Tais modificações afetam diretamente o regime e o percurso desses riachos, com consequências notáveis para os ambientes lânticos (de águas paradas) e a vegetação ribeirinha que lhes é associada (Carvalho, 2002).

4.2 Análise da amostra

Para a realização deste estudo, utilizou-se uma amostra proveniente do acervo do Laboratório de Ecologia e Limnologia da UEMASUL, campus Imperatriz (figura 4). O material biológico foi obtido na camada superficial da coluna d'água da Lagoa das Garças por meio de arrastos horizontais, empregando-se uma rede de plâncton com abertura de malha de 20 µm, seguindo as recomendações de APHA, AWWA e WEF (2012). A escolha desta malha justificou-se por ser o padrão metodológico para a concentração de fitoplâncton, assegurando a amostragem representativa das frústulas de diatomáceas (Round *et al.*, 1990). Logo após a coleta, os espécimes foram acondicionados e fixados em solução de formaldeído a 4% (concentração final), visando a preservação das estruturas morfológicas e a interrupção de processos de degradação biológica até a etapa de análise laboratorial (Wetzel, 2001).

Figura 4: Recipiente com amostra coletada na Lagoa das Garças



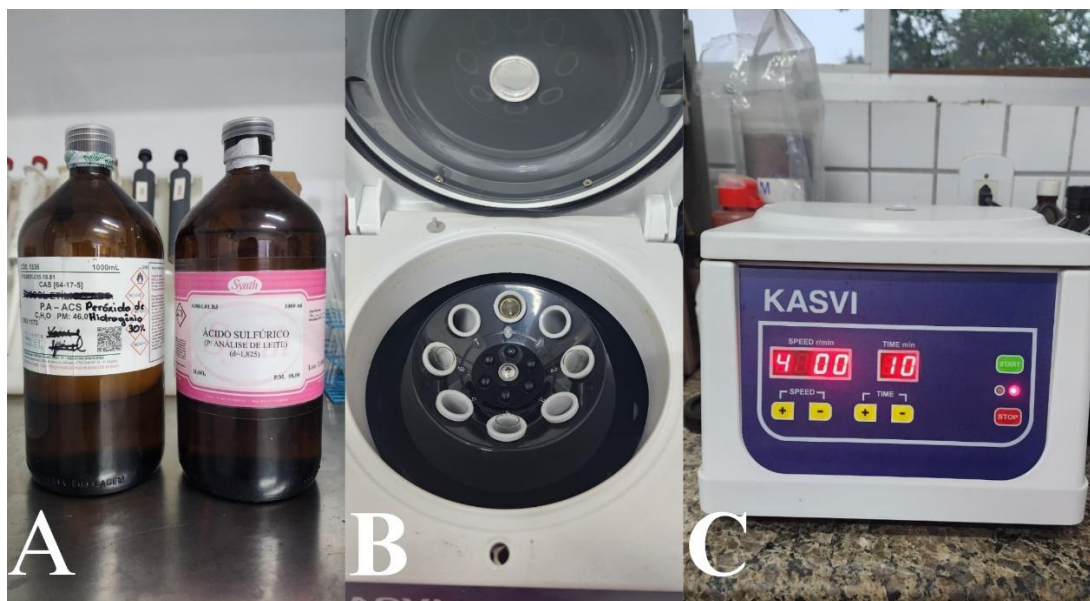
Fonte: Autora, 2025

O processamento das amostras para a identificação taxonômica em nível de gênero requer protocolos específicos de oxidação, uma vez que a frústula silicosa constitui a estrutura diagnóstica fundamental do grupo (Round *et al.*, 1990). No entanto, a presença de conteúdo orgânico intracelular e de impurezas na amostra pode obstruir a visualização das ornamentações valvares. Portanto, a remoção completa da matéria orgânica é uma etapa obrigatória para expor os caracteres morfológicos necessários à correta determinação dos espécimes.

4.3 Técnicas e Identificação

Para a exposição das estruturas diagnósticas, o material biológico foi submetido à oxidação da fração orgânica através do método de aquecimento com agentes químicos (Patrick; Reimer, 1966; APHA; AWWA; WEF, 2012), (figura 5). O rigor nesta etapa de limpeza justifica-se pela necessidade de obter valvas isentas de resíduos, assegurando a conservação das frústulas e a precisão na identificação dos gêneros de diatomáceas sob microscopia óptica.

Figura 5: Fotografia dos materiais utilizados. A - Peróxido de hidrogênio e Ác. Sulfúrico. B e C - Centrífuga.

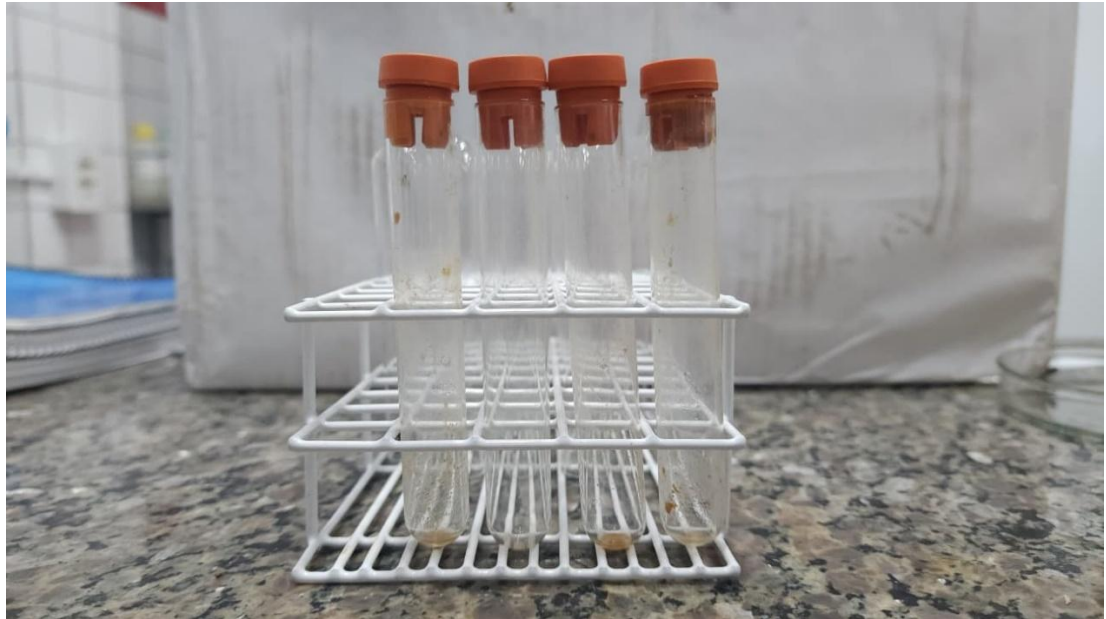


Fonte: Autora, 2025

Inicialmente, procedeu-se à lavagem das amostras para a remoção de impurezas e sais. Para tanto, alíquotas iguais do material foram transferidas para quatro tubos de ensaio de vidro e diluídas em água destilada (figura 6). O material foi submetido à centrifugação a 4.000 rpm durante 5 minutos, sendo o sobrenadante descartado e o sedimento ressuspensionado em água destilada para uma segunda centrifugação por 10 minutos sob a mesma rotação. Após o descarte do segundo sobrenadante, adicionou-se permanganato de potássio (KMnO_4) ao sedimento de cada tubo. Os recipientes foram vedados e mantidos em abrigo da luz por um período de 24 horas para a pré-oxidação da matéria orgânica, conforme o protocolo de Simonsen (1974) adaptado de Round et al. (1990).

Decorrido o período de 24 horas de reação com o permanganato de potássio, adicionou-se ácido sulfúrico (H_2SO_4) a cada tubo para catalisar a oxidação. Após a homogeneização e um intervalo de descanso de 20 minutos, as amostras receberam peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a 30% (130 volumes). Para a completa eliminação dos resíduos químicos e clarificação das frústulas, o material foi submetido a três ciclos sucessivos de lavagem por centrifugação (4.000 rpm por 10 minutos). Posteriormente, realizaram-se mais três ciclos de lavagem utilizando exclusivamente água destilada, garantindo a neutralização do pH e a remoção de subprodutos da reação.

Figura 6: Tubos de ensaio com as amostras oxidadas.



Fonte: Autora, 2025

Para a confecção das lâminas permanentes, alíquotas da amostra oxidada foram depositadas sobre lâminas de vidro e submetidas à secagem em estufa biológica até a completa evaporação da água. Após a dessecação, adicionou-se xilol para a diafanização do material, seguido da aplicação de uma gota de resina sintética de alto índice de refração (Entellan®). Por fim, as lamínulas foram sobrepostas ao material, e as lâminas permaneceram em repouso em superfície plana para a polimerização da resina e fixação definitiva, possibilitando a análise taxonômica posterior em microscopia óptica (figura 7).

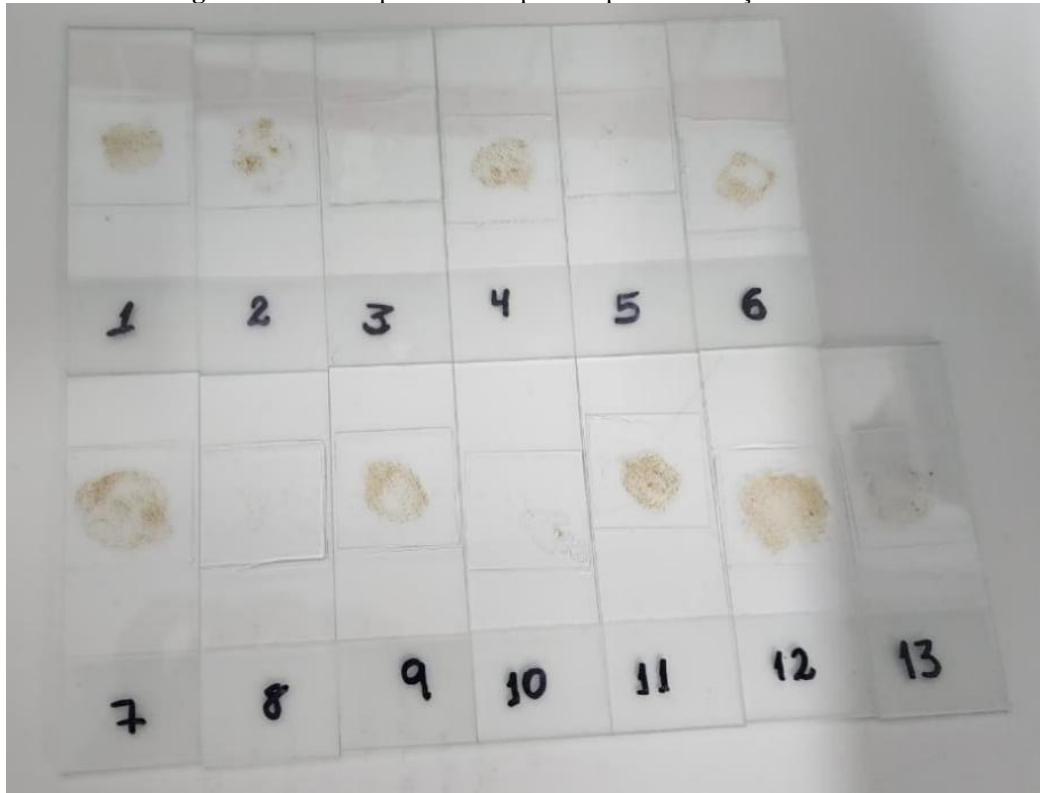
Figura 7: Xilol e resina utilizados para fixar as lâminas.



Fonte: Autora, 2025

Após a etapa de montagem e secagem da resina, obteve-se um total de 13 lâminas permanentes (figura 8). Este conjunto de lâminas constituiu o material de análise para o inventário dos gêneros de diatomáceas presentes na Lagoa das Garças.

Figura 8: Lâminas permanentes prontas para observação.



Fonte: Autora, 2025

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Composição genérica das diatomáceas planctônicas

Foram analisadas 13 lâminas permanentes, nas quais foi registrada a presença de nove gêneros de diatomáceas planctônicas, a saber: *Stauroneis*, *Eunotia*, *Gomphonema*, *Aulacoseira*, *Asterionella*, *Cyclotella*, *Achnantheidium*, *Tryblionella* e *Pinnularia*. Esses gêneros incluem tanto formas cêntricas quanto penadas, refletindo a diversidade morfológica comumente observada em comunidades de diatomáceas associadas a ambientes aquáticos continentais lênticos (Round; Crawford; Mann, 1990; Smol; Stoermer, 2010).

A composição genérica observada neste estudo é compatível com aquela descrita em pesquisas realizadas em lagos urbanos, reservatórios e outros corpos d'água lênticos, nos quais gêneros como *Aulacoseira*, *Cyclotella* e *Asterionella* são frequentemente registrados devido à sua ampla distribuição geográfica e elevada capacidade de adaptação a variações ambientais, incluindo mudanças na disponibilidade de nutrientes e na dinâmica hidrológica (Reynolds, 2006; Smol; Stoermer, 2010). Por sua vez, gêneros penados como *Gomphonema*, *Pinnularia* e *Eunotia* são comumente associados a ambientes com maior heterogeneidade ambiental e influência de matéria orgânica, sendo recorrentes em estudos de sistemas aquáticos sob pressão antrópica moderada a elevada (Round; Crawford; Mann, 1990).

A identificação das diatomáceas foi realizada até o nível de gênero, abordagem bastante adotada em estudos ecológicos e limnológicos que utilizam microscopia óptica, sobretudo quando o objetivo é caracterizar a composição da comunidade e discutir padrões ambientais em escala local e regional. A distinção em nível específico em diatomáceas frequentemente requer análises detalhadas da ultraestrutura da frústula, obtidas por microscopia eletrônica de varredura, não contemplada neste estudo (Round; Crawford; Mann, 1990; Smol; Stoermer, 2010). Dessa forma, a identificação genérica é considerada metodologicamente adequada e cientificamente válida para a interpretação ecológica da comunidade planctônica da área estudada.

5.2 Caracterização morfológica dos gêneros identificados

O gênero *Eunotia* (figura 9) foi registrado em todas as lâminas permanentes analisadas, apresentando elevada representatividade na comunidade de diatomáceas planctônicas da área de estudo. Morfologicamente, os representantes desse gênero caracterizam-se por valvas dorsiventrais, geralmente arqueadas, com extremidades arredondadas ou levemente afiladas, além da presença de uma rafe curta ou ausente, características diagnósticas amplamente descritas para o gênero e que possibilitam sua identificação por meio de microscopia óptica (Round; Crawford; Mann, 2007; Krammer; Lange-Bertalot, 1991).

Figura 9: Prancha com diferentes espécies do gênero *Eunotia*.



Fonte: Autora, 2025

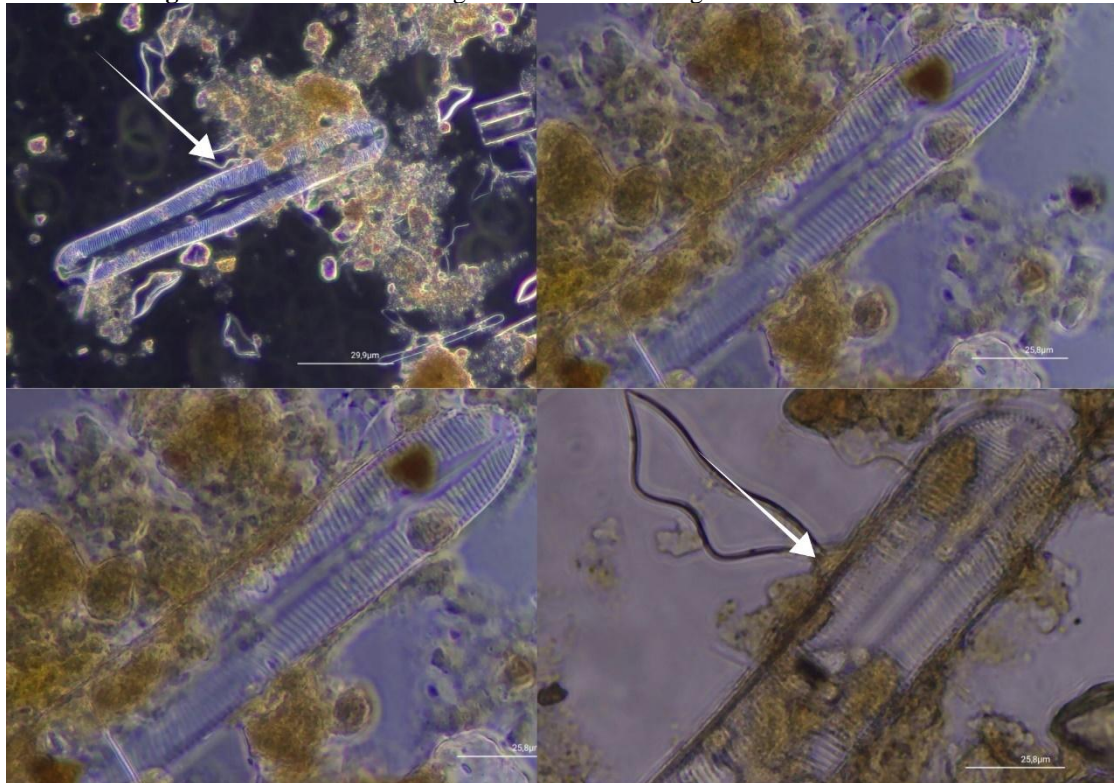
A ampla ocorrência de *Eunotia* sugere que o ambiente estudado apresenta condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento desse gênero, o qual é frequentemente associado a ambientes lânticos, com baixa a moderada condutividade, influência de matéria orgânica e, em muitos casos, águas levemente ácidas (Krammer; Lange-Bertalot, 1991; Smol; Stoermer, 2010). Estudos conduzidos em lagos e áreas alagadas tropicais indicam que *Eunotia* apresenta elevada plasticidade ecológica, sendo recorrente em ecossistemas aquáticos sujeitos a variações hidrológicas e a diferentes graus de influência antrópica (Round; Crawford; Mann, 1990).

Em ambientes urbanos ou periurbanos, a presença frequente de *Eunotia* tem sido interpretada como reflexo de sistemas aquáticos com heterogeneidade ambiental, nos quais fatores como aporte difuso de nutrientes, variações sazonais no regime hídrico e alterações no uso e ocupação do solo da bacia de drenagem influenciam a estrutura da comunidade fitoplanctônica (Smol; Stoermer, 2010). Dessa forma, a ocorrência constante desse gênero nas lâminas analisadas reforça sua importância como componente estrutural da comunidade de diatomáceas planctônicas e como um indicador sensível das condições ambientais locais.

O gênero *Pinnularia* (figura 10) foi encontrado em quase todas as lâminas permanentes analisadas, embora sua frequência tenha sido menor do que a de *Eunotia*. Morfologicamente, as diatomáceas deste gênero são geralmente reconhecidas por suas valvas bilateralmente

simétricas, com formato elíptico a linear-lanceolado, com apicalmente arredondadas ou subcapitadas e estrias regulares ao longo da superfície da valva (Parfait *et al.*, 2025). Essa forma alongada e bilateral reflete adaptações estruturais que favorecem sua estabilidade e interação com o ambiente aquático, tais como flutuação na coluna d'água ou fixação em biofilmes (Parfait *et al.*, 2025).

Figura 10: Prancha com imagem de indivíduos do gênero *Pinnularia*.



Fonte: Autora, 2025

A presença de *Pinnularia* em um grande número de lâminas, ainda que em menor abundância relativa comparada a *Eunotia*, está de acordo com observações de floras de diatomáceas em ambientes lênticos e loticos, onde *Pinnularia* é relatado como um componente comum das comunidades planctônicas e perifíticas de água doce (Li *et al.*, 2025). Estudos recentes em riachos urbanos também registram *Pinnularia* em habitats sujeitos a influências antrópicas, indicando que esse gênero possui ampla distribuição ecológica e pode tolerar uma variedade de condições ambientais, incluindo variações de nutrientes e interferências na qualidade da água (Li *et al.*, 2025).

Ecologicamente, *Pinnularia* é um dos gêneros de diatomáceas frequentemente associados a ambientes com gradientes de impacto antrópico e heterogeneidade de microhabitats, como margens de lagoas, zonas de transição lêntica-lótica e áreas com presença

de matéria orgânica em suspensão (Li *et al.*, 2025). Sua baixa abundância relativa em comparação com gêneros dominantes pode refletir tanto sua preferência por microhabitats específicos quanto a sensibilidade a certos parâmetros físico-químicos da água, como velocidade do fluxo, concentração de nutrientes e condições de luz. Ao considerar a ocorrência de *Pinnularia* em quase todas as lâminas com menor frequência, é possível inferir que esse gênero exerce um papel representativo na estrutura da comunidade de diatomáceas planctônicas, participando das respostas ecológicas do sistema hídrico analisado.

O gênero *Tryblionella* (figura 11) foi identificado em todas as lâminas permanentes analisadas, frequentemente em abundância relativamente alta, indicando sua presença consistente na comunidade de diatomáceas planctônicas da Lagoa das Garças. Morfologicamente, as espécies atribuídas ao gênero *Tryblionella* apresentam frústulas com valvas geralmente elípticas a lineares, com um sistema de raphe excêntrico elevado sobre um quilha (keel) e estrias interrompidas ou pouco marcadas — características que permitem sua distinção em microscopia óptica, especialmente quando combinadas com análise ultraestrutural disponível na literatura especializada (Olszyński *et al.*, 2025). Estudos taxonômicos recentes enfatizam atributos como a presença de uma seção transversal porosa das valvas, ondulações longitudinais e a presença de um esterno axial espesso, que, embora tais detalhes normalmente exijam microscopia eletrônica para confirmação, dão suporte à definição do gênero e à interpretação de suas variações morfológicas (Olszyński *et al.*, 2025).

Figura 11: Prancha com visualização de indivíduos do gênero *Tryblionella*.



Fonte: Autora, 2025

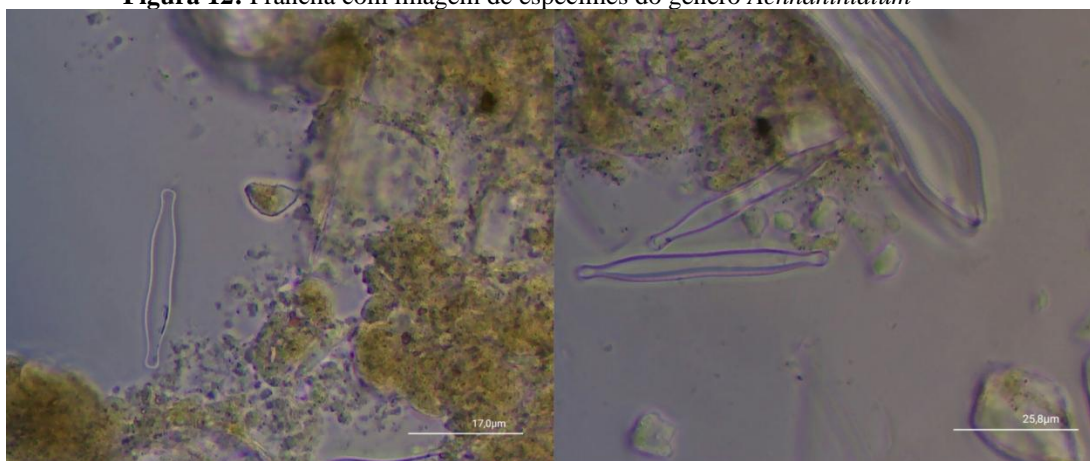
A ocorrência consistente de *Tryblionella* em ambientes aquáticos continentais tem sido documentada em diferentes contextos ecológicos, incluindo zonas litorâneas e ambientes lênticos com heterogeneidade de microhabitats que facilitam a coexistência de diversos grupos de diatomáceas (Bertolli *et al.*, 2020). Embora parte da pesquisa sobre *Tryblionella* tenha se concentrado em marismas salinas do sul do Brasil, a presença do gênero em uma ampla faixa de condições ambientais, incluindo água doce com variações de pH e salinidade, reforça sua capacidade adaptativa a diferentes níveis de estresse ambiental e composição físico-química da água, característica que pode explicar sua ocorrência elevada na Lagoa das Garças (Bertolli *et al.*, 2020; Olszyński *et al.*, 2025).

Ecologicamente, gêneros como *Tryblionella* são frequentemente interpretados como componentes de comunidades de diatomáceas que respondem a gradientes ambientais e à disponibilidade de micro-nicho, sendo capazes de persistir na coluna d'água em condições variáveis de luz, nutrientes e hidrodinâmica mesmo quando outros gêneros dominam em maior abundância. No contexto urbano e de pressões antrópicas, sua presença regular pode refletir tanto a adaptabilidade do gênero a condições heterogêneas quanto a influência de variáveis ambientais locais, como a entrada de nutrientes e a modulação sazonal de parâmetros físico-químicos, que moldam a comunidade planctônica observada.

O gênero *Achnantheidium* (figura 12) apresentou ocorrência frequente em quase todas as lâminas permanentes analisadas, com abundância moderada quando comparado aos gêneros dominantes da assembleia. Esse padrão de distribuição sugere que o gênero encontra condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento e manutenção na comunidade, atuando como um componente recorrente da flora diatomológica observada.

Do ponto de vista morfológico, *Achnantheidium* é caracterizado por valvas pequenas, geralmente linear-lanceoladas a elípticas, com estrias finas e unisseriadas, além da presença de apenas uma valva com rafe funcional (monorrafídea). Essas características permitem sua identificação segura até o nível genérico em microscopia óptica, especialmente quando associadas à análise comparativa com descrições taxonômicas atualizadas (Miao *et al.*, 2020). A elevada uniformidade morfológica entre espécies do gênero, particularmente do complexo *Achnantheidium minutissimum*, reforça a adoção do nível genérico como abordagem metodologicamente adequada neste estudo.

Figura 12: Prancha com imagem de espécimes do gênero *Achnanthydium*



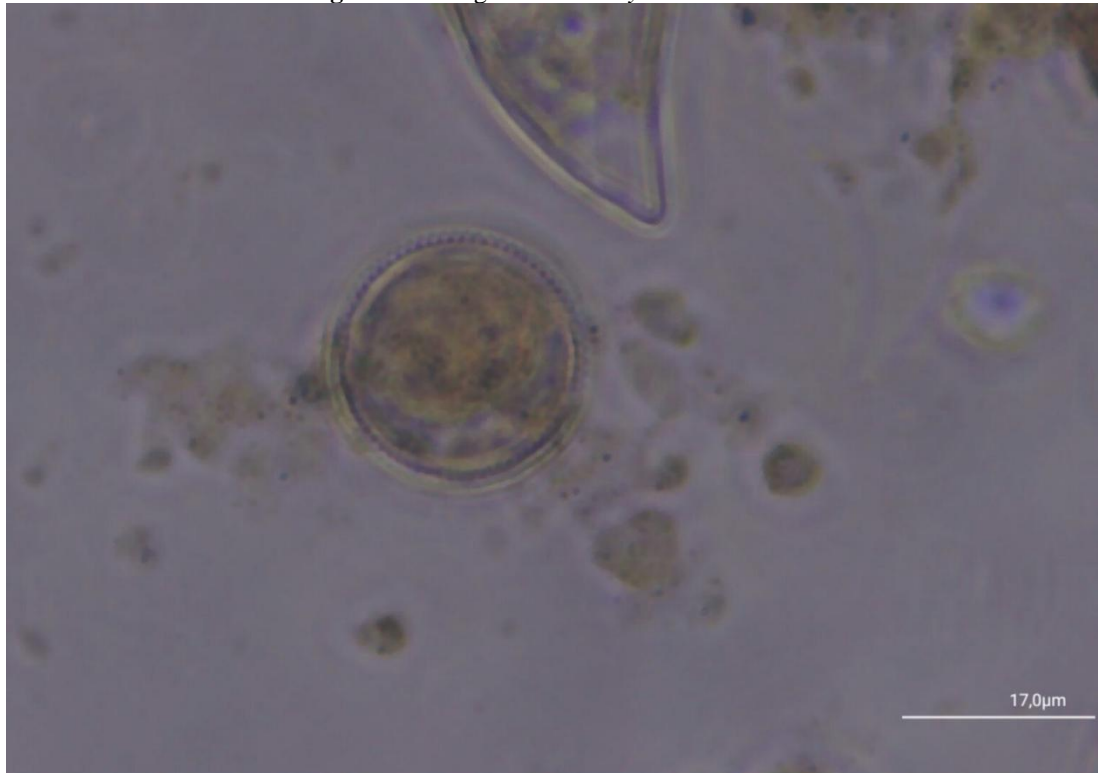
Fonte: Autora, 2025

A presença consistente de *Achnanthydium* em diferentes lâminas está relacionada à sua ampla tolerância ecológica e capacidade de persistir sob distintas condições ambientais. Estudos recentes demonstram que espécies desse gênero ocorrem tanto em ambientes com menor grau de impacto quanto em sistemas submetidos a pressões antrópicas moderadas, incluindo variações de nutrientes, condutividade e pH (Miao *et al.*, 2020; Baker *et al.*, 2012). Essa plasticidade ecológica explica sua recorrência em ambientes lênticos sujeitos à heterogeneidade ambiental e à influência da dinâmica hidrológica e do uso do solo na bacia de drenagem.

Além disso, *Achnanthydium* é frequentemente associado a comunidades estruturadas por micro-gradientes ambientais, desempenhando papel relevante como componente acompanhante em assembleias dominadas por outros gêneros mais abundantes. Sua ocorrência regular, ainda que em menor frequência relativa, contribui para a diversidade funcional da comunidade e reforça a importância de análises baseadas na composição genérica, especialmente em estudos voltados à avaliação ambiental e à caracterização limnológica de corpos d'água urbanos.

O gênero *Cyclotella* (figura 13) foi identificado em duas lâminas permanentes diferentes, embora com uma frequência bem menor em comparação a outros gêneros da comunidade. *Cyclotella* é um gênero de diatomáceas cêntricas planctônicas caracterizado por frústulas circulares ou sub-circulares, com estrias radiais bem definidas e áreas centrais relativamente distintas, características morfológicas que permitem sua distinção mesmo em microscopia óptica (Saras; Anderson, 2015). A pequena dimensão e a forma simplificada da valva tendem a favorecer uma distribuição planctônica em colunas d'água com estabilidade hidrodinâmica moderada.

Figura 13: Imagem de uma *Cyclotella*.



Fonte: Autora, 2025

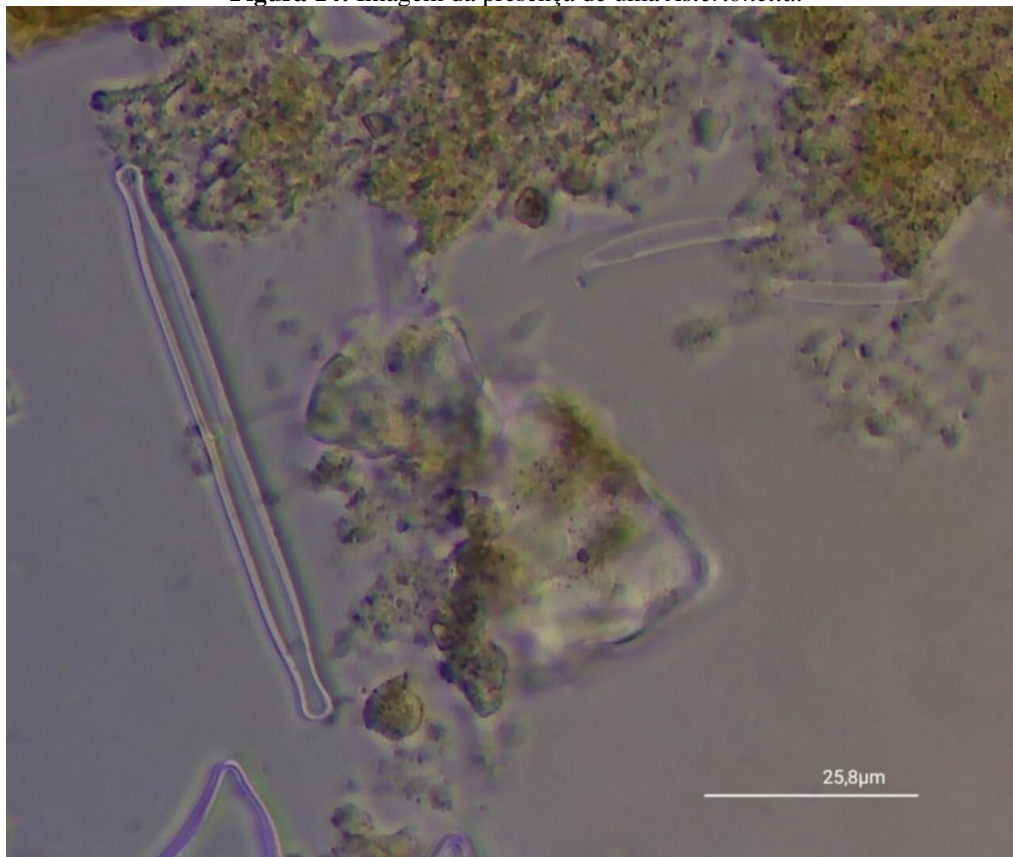
Ecologicamente, as espécies do complexo *Cyclotella sensu lato* são frequentemente registradas em ambientes lênticos de baixa a moderada produtividade, incluindo lagos e reservatórios de água doce, em que sua ocorrência pode estar relacionada a combinações específicas de fatores físico-químicos, tais como disponibilidade de luz, temperatura e concentração de nutrientes (Saras; Anderson, 2015). Estudos paleolimnológicos e ecológicos indicam que *Cyclotella* responde de forma sensível às mudanças ambientais e pode atuar como um indicador de processos limnológicos como estratificação da coluna d'água e alterações na clareza da água, ainda que seus padrões variem regionalmente dependendo das condições locais de cada sistema (Saras; Anderson, 2015).

A baixa frequência de *Cyclotella* observada neste estudo, em comparação com gêneros mais abundantes, pode refletir condições ambientais específicas da Lagoa das Garças que favorecem outros grupos planctônicos, como gêneros penados ou com maior tolerância a variações de nutrientes. Alternativamente, sua presença pontual pode indicar microhábitats aquáticos com características distintas dentro do ambiente lêntico, ou eventos sazonais de dinâmica hidrológica que favorecem temporariamente a sua ocorrência. A presença de *Cyclotella* em duas lâminas, apesar de menor em número, ainda contribui para a compreensão

da estrutura da comunidade planctônica, fornecendo pistas adicionais sobre a variabilidade ambiental e as respostas ecológicas da diatomofauna local.

O gênero *Asterionella* (figura 14) apresentou ocorrência em grande parte das lâminas permanentes analisadas, configurando-se como um componente frequente da comunidade planctônica. Morfologicamente, suas células são longas e estreitas e se unem pelas extremidades, formando colônias típicas em arranjos estrelados, geralmente constituídas por várias células associadas por mucilagem extracelular. Essa organização colonial reduz a taxa de sedimentação das células na coluna d'água, permitindo maior permanência na zona fótica e favorecendo a captação de luz para a fotossíntese, característica amplamente descrita para o gênero em estudos taxonômicos e ecológicos (Spaulding; Kociolek, 2012).

Figura 14: Imagem da presença de uma *Asterionella*.



Fonte: Autora, 2025

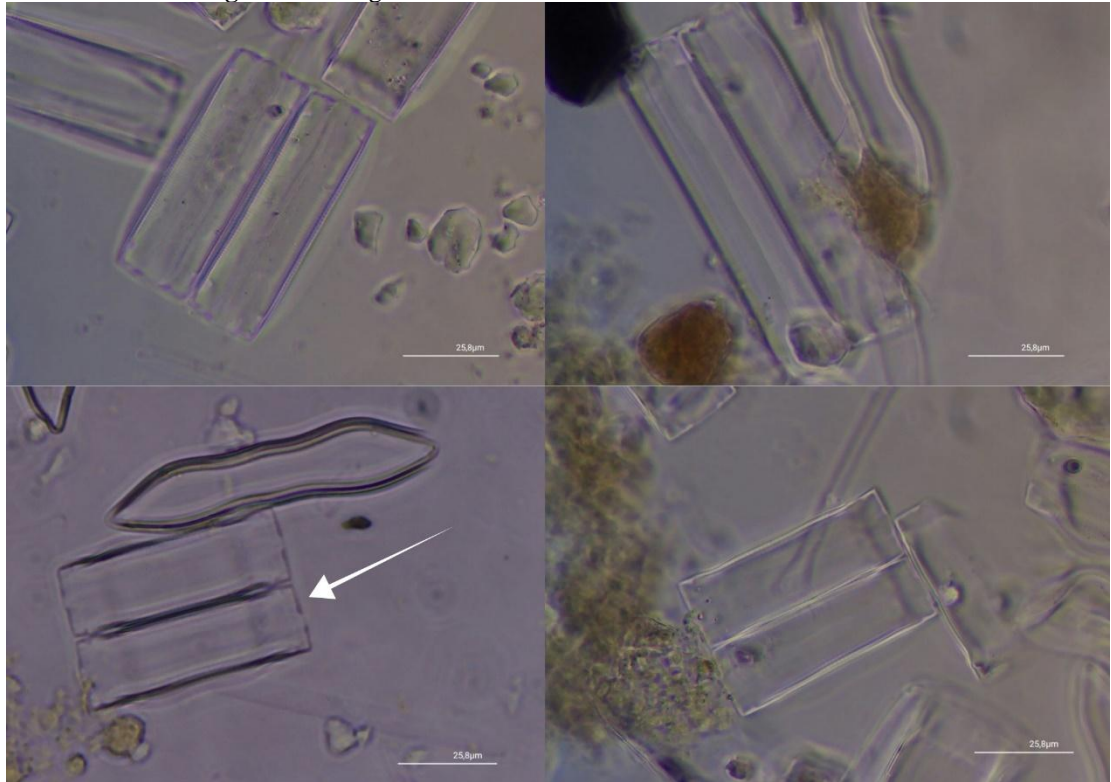
Ecologicamente, *Asterionella* é amplamente relatado em ambientes lânticos de água doce, incluindo lagos mesotróficos e eutróficos, e sua presença está frequentemente associada a condições físicas e químicas que favorecem crescimento planctônico, como disponibilidade de nutrientes, estabilidade da coluna de água e elevada produção primária (Spaulding; Kociolek, 2012; Science Direct Topics, 2025). A formação de colônias estreladas contribui para uma

menor taxa de deposição por gravidade, comparada a diatomáceas individuais, favorecendo sua persistência em zonas mais iluminadas da coluna d'água e permitindo que o gênero explore eficientemente os recursos disponíveis.

A ocorrência consistente de *Asterionella* na maioria das lâminas pode refletir as condições ambientais da Lagoa das Garças, as quais podem favorecer componentes planctônicos com vida em suspensão e que respondem a gradientes de nutrientes e dinâmica de água. Estudos de ecologia de comunidades fitoplanctônicas destacam que gêneros coloniais, como *Asterionella*, podem se beneficiar de ambientes relativamente estáveis ou de transições físicas na coluna de água que ampliem o tempo de residência das células nos estratos superiores, especialmente durante períodos de estratificação térmica ou baixa turbulência (Science Direct Topics, 2025). A presença ampla de *Asterionella* complementa a interpretação ecológica da comunidade de diatomáceas, sugerindo uma estruturação influenciada por fatores limnológicos que favorecem tanto células isoladas quanto formas coloniais em diferentes micro-nichos da coluna d'água.

O gênero *Aulacoseira* (figura 15) foi identificado em todas as lâminas permanentes analisadas, destacando-se como um componente consistente da comunidade de diatomáceas planctônicas na Lagoa das Garças. Elas são cêntricas planctônicas, caracterizado por células cilíndricas com frústulas formadas por valvas circulares conectadas em cadeias por meio de espinhos de ligação e com ornamentação estriada regularmente distribuída ao longo da superfície. Embora a identificação específica exija abordagem morfológica detalhada (por microscopia eletrônica), os traços observados permitem a atribuição confiável ao gênero em microscopia óptica (Tremarin; Ludwig; Torgan, 2014; Tremarin; Ludwig; Torgan, 2013).

Figura 15: Imagens de *Aulacoseira* em diferentes lâminas.



Fonte: Autora, 2025

A presença ubíqua de *Aulacoseira* está em consonância com vários estudos ecológicos de diatomáceas em sistemas lênticos tropicais e subtropicais brasileiros, nos quais esse gênero costuma representar um importante componente do fitoplâncton planctônico. Por exemplo, em reservatórios e represas de água doce no sudeste do Brasil, espécies de *Aulacoseira* dominaram assembléias de diatomáceas, sendo correlacionadas com gradientes tróficos e disponibilidade de nutrientes, o que indica que a sua abundância pode refletir variações nas concentrações de fósforo e nitrogênio na coluna d'água, bem como condições de mistura vertical da água (Bicudo *et al.*, 2016; Nascimento; Bush; Bicudo, 2021).

Em particular, *Aulacoseira* apresenta adaptações morfológicas que favorecem a sobrevivência planctônica em ambientes estáveis ou com certa profundidade, como espinhos de ligação que permitem formar cadeias, aumentando a resistência ao afundamento e auxiliando na exploração da coluna d'água superior em termos de luz e nutrientes (Nascimento; Bush; Bicudo, 2021).

A abundância de *Aulacoseira* em todas as lâminas pode refletir fatores limnológicos locais, tais como dinâmica hidrológica relativamente estável, mixing regime sazonal e diferentes regimes de nutrientes que influenciam as preferências ecológicas desse gênero. Estudos brasileiros indicam que *Aulacoseira tenella* e variantes de *Aulacoseira granulata*

respondem de forma diferenciada a gradientes tróficos, sendo *A. tenella* associada a águas oligotróficas e variedades de *A. granulata* mais comuns em condições eutróficas, sugerindo que a distribuição de espécies dentro do gênero pode funcionar como um indicativo do estado trófico de sistemas lênticos (Bicudo *et al.*, 2016).

Dessa forma, a ocorrência generalizada de *Aulacoseira* nas lâminas analisadas não apenas corrobora sua resiliência ecológica em ambientes lênticos tropicais, como também sugere que as condições ambientais da Lagoa das Garças permitem o estabelecimento contínuo desse gênero, possivelmente em resposta à disponibilidade de nutrientes e à dinâmica física da água.

Indivíduos do gênero *Gomphonema* (figura 16) foram registrados em parte das lâminas permanentes analisadas, compondo a assembleia de diatomáceas observada. Do ponto de vista morfológico, *Gomphonema* é caracterizado por valvas heteropolares, geralmente clavadas ou elíptico-clavadas, com uma extremidade apical mais larga que a basal. A rafe é bem desenvolvida e posicionada no eixo central da valva, e a extremidade basal apresenta, em muitas espécies, um poro peduncular, estrutura associada à fixação por meio de pedúnculo mucilaginoso (Krammer; Lange-Bertalot, 1986; Tremarin; Ludwig; Torgan, 2014).

Figura 16: Imagem de uma *Gomphonema*.



Fonte: Autora, 2025

Essas características morfológicas permitem a identificação confiável do gênero em microscopia óptica, especialmente em estudos ecológicos e florísticos, nos quais a distinção até nível genérico é metodologicamente adequada. No Brasil, diversos estudos taxonômicos e ecológicos descrevem *Gomphonema* como um gênero amplamente distribuído em ambientes

continentais, ocorrendo em sistemas lóticos e lênticos, inclusive em corpos d'água submetidos a diferentes graus de influência antrópica (Bicudo *et al.*, 2016; Tremarin; Ludwig; Torgan, 2014).

Ecologicamente, *Gomphonema* é frequentemente associado a ambientes com substratos disponíveis, como macrófitas aquáticas, detritos orgânicos e superfícies submersas, sendo comum em comunidades perifíticas. Entretanto, sua presença em amostras planctônicas pode estar relacionada ao desprendimento de colônias perifíticas ou à ressuspensão de material bentônico, processos comuns em ambientes lênticos rasos ou sujeitos à variação hidrodinâmica (Bicudo *et al.*, 2016). Dessa forma, a ocorrência de *Gomphonema* nas lâminas analisadas pode refletir a conectividade entre compartimentos ecológicos do sistema aquático.

Além disso, espécies do gênero *Gomphonema* são amplamente utilizadas em estudos de bioindicação, uma vez que respondem de maneira diferenciada a gradientes de nutrientes, matéria orgânica e alterações físico-químicas da água. Trabalhos realizados em ambientes aquáticos brasileiros demonstram que variações na composição genérica de *Gomphonema* estão associadas a mudanças na qualidade da água e no uso do solo das bacias de drenagem, reforçando a relevância do gênero como componente informativo da comunidade de diatomáceas (Tremarin; Ludwig; Torgan, 2014; Bicudo *et al.*, 2016).

Assim, a presença de *Gomphonema* nas lâminas analisadas contribui para a interpretação ecológica do ambiente estudado, indicando a influência de micro-habitats perifíticos e reforçando a complexidade estrutural da comunidade diatomológica observada.

Indivíduos do gênero *Stauroneis* (figura 17) foram registrados em parte das lâminas permanentes analisadas, compondo a comunidade de diatomáceas observada. Do ponto de vista morfológico, *Stauroneis* é caracterizado por valvas simétricas bilateralmente, geralmente elípticas a linear-elípticas, com extremidades arredondadas a levemente rostradas. A principal característica diagnóstica do gênero é a presença de uma área central transversal espessada, conhecida como estauro, que atravessa a valva perpendicularmente ao eixo apical e interrompe as estrias centrais, permitindo sua identificação segura em microscopia óptica (Krammer; Lange-Bertalot, 1986; Zlatko *et al.*, 2016).

A rafe em *Stauroneis* é bem desenvolvida, reta ou levemente sinuosa, posicionada no eixo central da valva, enquanto as estrias são finas e regularmente distribuídas ao longo da superfície valvar. Essas características morfológicas tornam o gênero facilmente reconhecível em estudos taxonômicos e ecológicos, sendo amplamente utilizado em inventários florísticos e análises de comunidades de diatomáceas continentais (Krammer; Lange-Bertalot, 1986).

Figura 17: Imagem de uma *Stauroneis*.



Fonte: Autora, 2025

Ecologicamente, *Stauroneis* é frequentemente associado a ambientes de baixa a moderada disponibilidade de nutrientes, ocorrendo em sistemas lênticos e lóticos com menor grau de perturbação antrópica. Estudos indicam que espécies desse gênero apresentam preferência por águas com boa oxigenação, baixa carga orgânica e condições relativamente estáveis, sendo muitas vezes consideradas indicadoras de ambientes com melhor qualidade ambiental (Zlatko *et al.*, 2016; Bicudo *et al.*, 2016).

No contexto deste estudo, a presença de *Stauroneis* nas lâminas analisadas pode refletir a existência de micro-habitats com condições ambientais mais favoráveis dentro do sistema aquático, mesmo em um ambiente urbano. A ocorrência do gênero, ainda que em menor frequência relativa quando comparado a gêneros mais abundantes, contribui para a interpretação da heterogeneidade ambiental do local e reforça a importância de análises baseadas na composição genérica para a avaliação da estrutura da comunidade diatomológica.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo caracterizar a composição da comunidade de diatomáceas planctônicas na Área de Proteção Ambiental Lagoa das Garças, no município de Imperatriz, Maranhão. A análise das lâminas permanentes permitiu o registro de uma comunidade diversa, composta por diferentes gêneros de diatomáceas, incluindo representantes com distintas estratégias morfológicas e ecológicas.

A presença frequente de gêneros como *Eunotia*, *Aulacoseira*, *Tryblionella*, *Asterionella* e *Achnantheidium* indica que o ambiente apresenta condições favoráveis ao desenvolvimento de diatomáceas planctônicas, refletindo a heterogeneidade ambiental do sistema e a influência de fatores físicos e ecológicos locais. A ocorrência de gêneros associados a diferentes preferências ambientais reforça a complexidade da comunidade e evidencia a sensibilidade desses organismos às condições do ambiente aquático.

Embora a identificação tenha sido realizada até o nível genérico, os resultados obtidos fornecem informações relevantes sobre a estrutura da comunidade diatomológica, contribuindo para o conhecimento limnológico de ambientes lênticos urbanos na região de transição Amazônia–Cerrado. Além disso, o estudo destaca o potencial das diatomáceas como ferramentas eficazes para a avaliação ambiental e o monitoramento da qualidade da água.

Como limitações, destaca-se a ausência de análises físico-químicas associadas às amostragens e a identificação taxonômica restrita ao nível de gênero. Dessa forma, estudos futuros podem ampliar a abordagem aqui utilizada, incorporando análises ambientais, identificação em nível específico e monitoramentos sazonais, visando aprofundar a compreensão da dinâmica ecológica da Lagoa das Garças e subsidiar ações de conservação e gestão ambiental.

REFERÊNCIAS

- Allan, J. David. Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 35, n. 1, p. 257–284, 2004.
- Allan, J. David; Castillo, Maria M. **Stream Ecology: Structure and function of running waters**. 2. ed. Nova Iorque, NY, USA: Springer, 2007.
- APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. [S.l.]: American Public Health Association, 2012.
- Baker, A.L. et al. Phycokey -- an image based key to Algae (PS Protista), Cyanobacteria, and other aquatic objects. University of New Hampshire Center for Freshwater Biology, 2012.
- Battarbee, Richard W. *et al.* Diatoms as indicators of surface-water acidity. *In*: SMOL, John P.; STOERMER, Eugene F. (Orgs.). **The Diatoms**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. p. 98–121.
- Bennion, Helen; Simpson, Gavin L. The use of diatom records to establish reference conditions for UK lakes subject to eutrophication. **Journal of Paleolimnology**, v. 45, n. 4, p. 469–488, 2011.
- Bertolli, Lucielle Merlym *et al.* The genus Tryblionella W. Smith (Bacillariaceae, Bacillariophyta) in southern Brazil salt marshes. **Biota neotropica**, v. 20, n. 1, 2020.
- BICUDO, Carlos E. de M.; MENEZES, Mariângela. **Gêneros de Algas de Águas Continentais do Brasil**: Chave para identificação e descrições. 3. ed. São Carlos,SP: RiMa, 2017. 552 p. ISBN 978-85-7656-353-2.
- Bicudo, Denise C. *et al.* Ecology and distribution of Aulacoseiraspecies (Bacillariophyta) in tropical reservoirs from Brazil. **Diatom Research: The Journal of the International Society for Diatom Research**, v. 31, n. 3, p. 199–215, 2016.
- BRASIL. **Lei nº LEI No 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. 18 jul. 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 23 dez. 2025.
- Carvalho, A. S. de. **Estudo espacial e análise prévia ambiental da microbacia do riacho Bacuri**. Imperatriz:UEMA/CESI, 2002. (Monografia de Garduação).
- Cavalcante, Kaoli. **Diatomáceas – as algas douradas**. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~veiga/ficologia/diatomaceas.html>. Acesso em: 13 mar. 2012.
- Silva, Aichely Rodrigues *et al.* Saúde E Qualidade Da Água Em Uma Sub-Bacia Hidrográfica Do Rio Tocantins, Em Imperatriz - Ma. **Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, p. e2067, 2024.
- Silva, Aichely Rodrigues. Análise Da Paisagem Em Um Afluente Do Rio Tocantins No Município De Imperatriz -Ma. **Revista Contexto Geográfico**, p. 134–146, 2023.

Silva, Aichely Rodrigues; DE ARAÚJO MOURÃO, Ana Carolina. A relação entre o saneamento ambiental e a saúde da população na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins, no município de Imperatriz-MA. **Revista Georaguiaia**, p. 1–18, 2024.

Silva, Jonatas José Luiz Soares. **Impactos Do Desenvolvimento Do Potencial Hidroelétrico Sobre Os Ecossistemas Aquáticos Do Rio Tocantins**: Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 2007.

Dias, Luiz Jorge Bezerra da Silva *et al.* **As Dinâmicas Climáticas do Estado do Maranhão entre 1989 e 2018**: precipitações, umidade atmosférica e evapotranspiração potencial. São Luís - MA: IMESC-MA, 2021. 230 p. v. 1. ISBN 978-65-87226-24-8.

Esteves, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 15 dez 2025.

Falkowski, Paul. *Ocean Science: The power of plankton*. **Nature**, v. 483, n. 7387, p. S17-20, 2012.

Filho, Willian Barbosa. **A Gestão das Políticas Ambientais em São Luís (MA)**: os conflitos socioambientais e territoriais na APA Maracanã. 2019. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Socioespacial e Regional) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís - MA, 2019. Disponível em: https://www.ppdsr.uema.br/wp-content/uploads/2022/01/disserta%C3%A7%C3%A3o-Willian.pdf?utm_source. Acesso em: 23 dez. 2025.

Gomes, Janderson Bruzaca *et al.* *Evaluation Of Aquatic Contamination In An Urban Lagoon Environment In A Coastal Region In The North Of Brazil*. **Bioscience Journal**, [S. l.], v. 35, n. 3, p. 920-932, 11 jun. 2019. DOI 10.14393/BJ-v35n3a2019-39858. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/39858>. Acesso em: 23 dez. 2025.

Guidelines for drinking-water quality. 4. ed. [S. l.]: World Health Organization, 2017. 631 p. ISBN 978-92-4-154995-0. Disponível em: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/1b7a285e-3635-45dd-a1a9-6068c8fbe173/content>. Acesso em: 23 dez. 2025.

Heller, Léo. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 3, ed. 2, p. 73–84, 1998. DOI 10.1590/S1413-81231998000200007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/4wdHGnBkYZg4qzdgSMnLwgx/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 23 dez. 2025.

IERE, Team. **How Does Urbanization Affect the Hydrologic Cycle?**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://iere.org/how-does-urbanization-affect-the-hydrologic-cycle/>. Acesso em: 23 dez. 2025.

Climate Imperatriz: Data and graphs for weather & climate in Imperatriz, 2022. Disponível em: <https://en.climate-data.org/south-america/brazil/maranhao/imperatriz-29543/>. Acesso em: 23 dez. 2025.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Cidades e Estados, Imperatriz-MA., 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/imperatriz.html>. Acesso em: 23 dez. 2025.

Karpowicz, M. et al. *Transfer efficiency of carbon, nutrients, and polyunsaturated fatty acids in planktonic food webs under different environmental conditions*. PMC, 2021. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8216980/>

Karpowicz, Maciej *et al.* Transfer efficiency of carbon, nutrients, and polyunsaturated fatty acids in planktonic food webs under different environmental conditions. **Ecology and Evolution**, [s. l.], ano 2021, 18 maio 2021.

Krammer, Kurt; Lange-Bertalot, Horst. **Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae**. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1986.

Krammer, Kurt; Lange-Bertalot, Horst. **Süßwasserflora von Mitteleuropa / Bacillariophyceae: Achnantheaceae. Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. Gesamtliteraturverzeichnis für Teil 1-4**. 1. ed. Munique, Germany: Urban & Fischer in Elsevier, 1991b.

Li, Yuyao *et al.* Four New Pinnularia Ehrenberg Species (Bacillariophyta) from Urban Freshwater Streams in South Korea. **Plants**, p. 1–24, 2025.

Lobo, Eduardo A.; Heinrich, Carla; Schuch, Marilia; Wetzel, Carlos E. Diatoms as Bioindicators in Rivers. Separata de: RIVER Algae. [S. l.: s. n.], 2016.

Miao, Minzi *et al.* Two new benthic diatoms of the genus Achnantheidium (Bacillariophyceae) from the hangang river, Korea. **Diversity**, v. 12, n. 7, p. 285, 2020.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Áreas de Preservação Permanente Urbanas**, 2012 Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/areas-verdes-urbanas/%C3%A1reas-de-prote%C3%A7%C3%A3o-permanente.html>>. Acesso em: 23 dez. 2025.

Ministério do Meio Ambiente Mudança e Clima – MMA. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC)**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/areas-protegidas/sistema-nacional-de-unidades-de-conservacao-da-natureza-snuc?utm_source>. Acesso em: 23 dez. 2025.

Namwaya, David W.; Raburu, Philip O.; Lunaligo, Lubanga. Diatomáceas como bioindicadores no monitoramento da qualidade da água, rio Sosiani, Quênia. **African Journal of Education, Science and Technology (AJEST)**, v. 1, n. 3, p. 128–138, 2013. Disponível em: <https://ajest.org/index.php/ajest/article/view/349>. Acesso em: 21 set. 2025.

Nascimento, Majoi de Novaes; Bush, Mark; Bicudo, Denise de Campos. Water quality and spatial and seasonal dynamics in the largest water supply reservoir in Brazil and implications for diatom assemblages. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 33, n. e7, 2021.

Nascimento, Majoi de Novaes; Bush, Mark; Bicudo, Denise de Campos. Water quality and spatial and seasonal dynamics in the largest water supply reservoir in Brazil and implications for diatom assemblages. **Acta Limnologica Brasiliensia**, [s. l.], 2021. DOI 10.1590/S2179-975X7120. Disponível em: <https://app.periodikos.com.br/journal/alb/article/doi/10.1590/S2179-975X7120>. Acesso em: 16 dez. 2025.

Olszyński, Rafał M. *et al.* Taxonomic review of Tryblionella with special reference to the Apiculatae group-New characters of genus Tryblionella sensu stricto (Bacillariaceae). **Journal of Phycology**, v. 61, n. 2, p. 330–352, 2025.

Padisák, Judit; Crossetti, Luciane O.; Naselli-Flores, Luigi. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. **Hydrobiologia**, v. 621, n. 1, p. 1–19, 2009.

Parfait, Ndjouondo Gildas *et al.* Morphological and Ecological Characterization of Benthic Diatoms in Some Rivers of Bamenda, North-West Cameroon. **Revista de Ecologia Global e Meio Ambiente**, v. 21, p. 83–95, 2025.

Patrick, Ruth; Reimer, Charles W. **The diatoms of the United States: exclusive of Alaska and Hawaii**. Philadelphia: Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 1966. v. 1: Fragilariaceae, Eunotiaceae, Achnantheaceae, and Naviculaceae. 688 p.

Paul, Michael J.; Meyer, Judy L. Streams in the urban landscape. *In: Urban Ecology*. Boston, MA: Springer US, 2001. p. 207–231.

Reynolds, C. S. **The Ecology of Phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

Round, F. E.; Crawford, R. M.; Mann, D. G. **Diatoms: Biology and morphology of the genera**. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2007.

Round, Frank Eric; Crawford, Richard M.; Mann, David G. **The Diatoms: biology & morphology of the genera**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 747 p.

Santos, Jessflan Rafael Nascimento *et al.* Tendências De Extremos Climáticos Na Região De Transição Amazônia-Cerrado No Estado Do Maranhão. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020.

SAROS, J. E.; ANDERSON, N. J. The ecology of the planktonic diatom Cyclotella and its implications for global environmental change studies: <I>Cyclotella</i>and global change. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 90, n. 2, p. 522–541, 2015.

Science Direct Topics. *Asterionella – overview of diatom ecology*. ScienceDirect, 2025. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/asterionella?utm_source

Silva, M.F.da. **Análise fitossociológica e padrão de dispersão das espécies arbustivo-arbóreas de uma área do Cerrado Meridional Maranhense no município de São João do Paraíso**. Imperatriz: UEMA/CESI, 1999. (Monografia de Graduação)

Simonsen, R. The diatom plankton of the Indian Ocean Expedition of R/V "Meteor" 1964-1965. **Meteor Forschungsergebnisse**, Reihe D-Biologie, Berlin, v. 19, p. 1-107, 1974.

Smol, John P.; Stoermer, Eugene F. (ORGS.). **The diatoms: Applications for the environmental and earth sciences**. 2. ed. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2010.

Souza, J. P. F. De; Teixeira, A. P.; Brito, A. O. et al. *Diatomáceas como bioindicador da qualidade dos ambientes aquáticos: uma revisão*. **Anais do CEPE/UEG**, 2018. Disponível em: <https://www.anais.ueg.br/index.php/cepe/article/view/10099>. Acesso em: 17 dez. 2025

Spaulding, Sarah; Kociolek, Pat. **Asterionella formosa**, 2012 Disponível em: <https://diatoms.org/species/49167/asterionella_formosa>.

Spaulding, *et al.*, (ed.). **What are Diatoms?**. [s. l.], 2021. Disponível em: <https://diatoms.org/what-are-diatoms>. Acesso em: 20 nov. 2025.

TAN, Xiang; SHELDON, Fran; BUNN, Stuart E.; ZHANG, Quanfa. Utilização de índices de diatomáceas para avaliação da qualidade da água em um rio subtropical na China. **Link da Springer Nature**, [s. l.], v. 20, p. 4164–4175, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-012-1343-9>. Acesso em: 6 nov. 2025.

Tison-Rosebery, J. *et al.* A new diatom-based multimetric index to assess lake ecological status. **Link da Springer Nature**, [s. l.], v. 195, n. 1202, 2023. DOI 10.1007/s10661-023-11855-w. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-023-11855-w>. Acesso em: 20 nov. 2025.

Tremarin, Priscila Izabel; Ludwig, Thelma Veiga; Torgan, Lezilda Carvalho. Morphological variation and distribution of the freshwater diatom *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen in Brazilian continental environments. p. 139–158, 2013.

Tremarin, Priscila Izabel; Ludwig, Thelma; Torgan, Lezilda. *Aulacoseira veraluciae* sp. nov. (Coscinodiscophyceae, Aulacoseiraceae): a common freshwater diatom from Brazil. **Phytotaxa**, v. 184, n. 4, p. 208, 2014. Acesso em: https://www.researchgate.net/publication/268446910_Aulacoseira_veraluciae_sp_nov_Coscinodiscophyceae_Aulacoseiraceae_A_common_freshwater_diatom_from_Brazil

Tucci, Carlos E. M. Águas urbanas. **Estudos avançados**, [s. l.], v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. DOI 10.1590/S0103-40142008000200007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/SfqYWrhrvtkxybFsjYQtx7v/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 22 dez. 2025.

Tundisi, José G.; Matsumura-Tundisi, Takako. Recursos Hídricos no Século XXI. Porto Alegre: Oficina de Texto, 2025. E-book. p.15. ISBN 9788579750694. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788579750694/>. Acesso em: 15 dez. 2025.

Tundisi, José Galizia; Tundisi, Takako Matsumura. **Limnologia**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 15 dez 2025.

Vieira, Carlos Eduardo Lucas. Diatomáceas. Separata de: PALEONTOLOGIA. 3. ed. [s. l.: s. n.], 2011. cap. 6, p. 109 - 133. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262836546_Diatomaceas. Acesso em: 21 dez. 2025.

Von Sperling, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol I. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014. 452p.

Wanek, Eva; Esteban-Cantillo, Oscar Julian; Bourgeois-Gironde, Sacha. Valuing marine plankton: a review of ecosystem services and disservices and an expert assessment of the potential of area-based protection. **Frontiers in Marine Science**, [s. l.], ano 2025, v. 12, 2025.

Wetzel, Robert G. **Limnology: Lake and River Ecosystems**. 3. ed. San Diego, CA, USA: Academic Press, 2001.

Xue, H. *et al.* Applicability of Benthic Diatom Indices Combined with Water Quality Valuation for Dish Lake from Nanjishan Nature Reserve, Lake Poyang. **Water**, [s. l.], v. 15, ed. 20, 2023. DOI [10.3390/w15203695](https://doi.org/10.3390/w15203695). Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/20/3695>. Acesso em: 6 nov. 2025.

Yuan, Tianma *et al.* Urbanization Impacts the Physicochemical Characteristics and Abundance of Fecal Markers and Bacterial Pathogens in Surface Water. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, [s. l.], v. 16, ed. 10, p. 1-19, 2019. DOI [10.3390/ijerph16101739](https://doi.org/10.3390/ijerph16101739). Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6572354/pdf/ijerph-16-01739.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2025.

Zlatko, Levkov *et al.* Revision Of The *Stauroneis Smithii* Grunow (Bacillariophyceae) Species Complex From Macedonia. 2016.