



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
CURSO DE ECOLOGIA & ANÁLISE AMBIENTAL

**Distribuição espacial da comunidade zooplancônica em um lago raso: importância das macrófitas aquáticas como fator de heterogeneidade ambiental**

Naya'h Soares Pestana Ferreira

Goiânia – GO  
2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

### 1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): Naya'h Soares Pestana Ferreira

Título do trabalho: Distribuição espacial da comunidade zooplancônica em um lago raso: importância das macrófitas aquáticas como fator de heterogeneidade ambiental

### 2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [ X ] SIM [ ] NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

#### Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

**Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Priscilla De Carvalho, Professor do Magistério Superior**, em 10/12/2024, às 07:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Naya'H Soares Pestana Ferreira, Discente**, em 10/12/2024, às 14:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5026399** e o código CRC **C40135F0**.

Naya'h Soares Pestana Ferreira

**Distribuição espacial da comunidade zooplancônica em um lago raso: importância das macrófitas aquáticas como fator de heterogeneidade ambiental**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ecologia & Análise Ambiental, do Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de bacharel de Ecólogo e Analista Ambiental.

**Orientadora:** Prof. Dra. Priscilla de Carvalho

**Coorientadora:** Dra. Danielle Goeldner Pereira

Goiânia – GO  
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Ferreira, Naya'h Soares Pestana

Distribuição espacial da comunidade zooplanctônica em um lago raso: importância das macrófitas aquáticas como fator de heterogeneidade ambiental [manuscrito] / Naya'h Soares Pestana Ferreira. - 2024.

XXXVII, 37 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Priscilla de Carvalho; co-orientadora Dra. Danielle Goeldner Pereira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Ecologia e Análise Ambiental, Goiânia, 2024.

Bibliografia.

Inclui gráfico, tabelas.

1. zooplâncton. 2. região litorânea. 3. região limnética. 4. variação espacial. I. de Carvalho, Priscilla, orient. II. Título.

CDU 574



**UFG**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao(s) 6 dias do mês de dezembro do ano de 2024 iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “Distribuição espacial da comunidade zooplanctônica em um lago raso: importância das macrófitas aquáticas como fator de heterogeneidade ambiental”, de autoria de Naya'h Soares Pestana Ferreira, do curso de Ecologia e Análise Ambiental, do Instituto de Ciências Biológicas da UFG. Os trabalhos foram instalados pelo Profa. Dra. Priscilla de Carvalho (Departamento de Ecologia/Instituto de Ciências Biológicas/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Profa. Dra. Jascieli Carla Bortolini (Departamento de Botânica/Instituto de Ciências Biológicas/UFG) e Me. Catarina de Castro Alves Frischknecht (Pós Graduação em Ecologia e Evolução/UFG). Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição do(a) estudante. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de 10,0 (dez), tendo sido o TCC considerado aprovado.

Proclamados os resultados, os trabalhos foram encerrados e, para constar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Catarina De Castro Alves Frischknecht, Usuário Externo**, em 06/12/2024, às 11:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jascieli Carla Bortolini, Professora do Magistério Superior**, em 06/12/2024, às 13:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Priscilla De Carvalho, Professor do Magistério Superior**, em 06/12/2024, às 14:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5004059** e o código CRC **81565B27**.

Dedico este trabalho ao meu pai, que esteve presente fisicamente comigo durante 16 anos e sempre me apoiou em todas as situações e foi o melhor pai que eu poderia ter, sei que ele me acompanha mesmo estando em outro plano. À minha mãe, que sempre esteve e está comigo em todos os momentos, sempre me ampara em todas as situações e nunca me deixou desistir de nenhum dos meus sonhos.

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus por me abençoar durante todos os dias da graduação e por me permitir chegar até esse momento.

Sou grata à minha mãe e ao meu irmão que sempre me apoiaram e nunca deixaram de se esforçar para me ver me feliz, sempre fizeram de tudo para que eu estive presente em todas as aulas e nunca me deixaram desamparada. Ao meu pai, que sei que cuida de mim todos os dias mesmo em outro plano, com certeza ele me daria os melhores conselhos durante todo esse caminho e me daria um abraço apertado sempre.

Agradeço ao meu namorado, João do Sonho, que está comigo desde o segundo período da graduação e sempre fez de tudo para me amparar e não me deixar desistir. Aos seus pais, Marly Vieira e Batista Custódio (*in memoriam*), que sempre me aconselharam desde o início e sempre conversaram comigo sobre a importância da Ecologia na sociedade, serei eternamente grata por cada conversa que tivemos juntos.

À minha orientadora, Priscilla de Carvalho, que eu sempre admirei em sala de aula e que sempre me auxiliou durante os estágios e durante essa fase tão importante, sempre me mostrando a direção correta.

À minha coorientadora, Danielle Goeldner, que sempre me ensinou sobre toda taxonomia e identificação de zooplâncton e sempre me tirou todas as dúvidas com paciência.

Por fim, agradecer à todos os professores que fizeram essa jornada ser incrível e cheia de aprendizado, levarei para sempre comigo cada ensinamento.

## **PREFÁCIO**

Este trabalho é composto por dois capítulos. No primeiro capítulo o objetivo principal do estudo foi conhecer a comunidade zooplanctônica em uma lagoa rasa e avaliar alguns fatores que estão estruturando esta comunidade, incluindo a presença das macrófitas aquáticas na região litorânea da lagoa. No segundo capítulo, nós fizemos uma revisão sistemática sobre os estudos que avaliaram a importância das macrófitas aquáticas na biodiversidade aquática. Estes trabalhos seguiram as normas do periódico *Acta Limnologica Brasiliensia* (ALB) da Associação Brasileira de Limnologia (<https://www.scielo.br/journal/alb/about/#instructions>).

## SUMÁRIO

<b>Capítulo 1</b> .....	1
Resumo .....	1
Abstract.....	2
1. Introdução.....	3
2. Material e Métodos .....	4
2.1. Área de Estudo .....	4
2.2. Amostragem e análise dos dados ambientais .....	5
2.3. Comunidade zooplanctônica .....	6
2.4. Análise dos dados .....	6
3. Resultados.....	7
3.1. Fatores ambientais .....	7
3.2. Comunidade zooplanctônica .....	9
4. Discussão .....	12
5. Referências .....	14
<b>Capítulo 2</b> .....	18
Resumo .....	18
Abstract.....	19
1. Introdução.....	20
2. Material e Métodos .....	21
3. Resultados.....	21
4. Discussão .....	27
5. Referências .....	28

## Capítulo 1

### **Avaliação da comunidade zooplanctônica na região litorânea e limnética em uma lagoa rasa**

#### **Resumo**

Diversos estudos ecológicos buscam compreender os fatores que estruturam as comunidades aquáticas, tais como as características abióticas e a presença de macrófitas aquáticas, que aumentam a heterogeneidade espacial. Este estudo teve por objetivo analisar a distribuição espacial e os fatores estruturantes da comunidade zooplanctônica de uma lagoa rasa localizada na Universidade Federal de Goiás – Campus Samambaia. Foram realizadas coletas em 11 pontos da lagoa Samambaia no mês de julho de 2023, durante o período de seca na região. Em cada ponto de coleta, foram mensurados alguns parâmetros ambientais, tais como temperatura da água, condutividade elétrica, turbidez, pH, concentração de oxigênio dissolvido e concentrações de nutrientes (fósforo total, orto-fosfato, nitrato e nitrogênio amoniacal). Simultaneamente, nós também coletamos amostras dos organismos zooplanctônicos. No total, foram registrados 80 táxons zooplanctônicos, sendo representados principalmente por tecamebas (41,25%), rotíferos (38,75%), cladóceros (18,75%) e copépodos (1,25%). Nós observamos maior riqueza de táxons e densidade de tecamebas na região litorânea, enquanto os rotíferos predominaram na região limnética. Os pontos situados na região litorânea apresentaram mudança na composição e densidade de táxons, comparando com a região limnética, principalmente quando consideramos os pontos colonizados por macrófitas aquáticas. Apesar de uma diferença nas condições abióticas entre as regiões litorânea e limnética, o fator principal que explicou a mudança na estrutura das comunidades zooplanctônica foi a presença das macrófitas aquáticas, aumentando a heterogeneidade espacial da lagoa.

**Palavras-chave:** zooplâncton, região litorânea, região limnética, variação espacial.

## **Abstract**

Several ecological studies seek to understand the factors that structure aquatic communities, such as abiotic characteristics and the presence of aquatic macrophytes, which increase spatial heterogeneity. This study aimed to analyze the spatial distribution and structuring factors of the zooplankton community of a shallow lake located at the Federal University of Goiás – Samambaia Campus. Collections were carried out at 11 points in the Samambaia lake in July 2023, during the dry season. At each sampling point, some environmental parameters were measured, such as water temperature, electrical conductivity, turbidity, pH, dissolved oxygen, and nutrient concentrations (total phosphorus, orthophosphate, nitrate, and ammonia nitrogen). Simultaneously, we also collected samples of zooplankton organisms. A total of 80 zooplankton taxa were recorded, represented mainly by testate amoebae (41.25%), rotifers (38.75%), cladocerans (18.75%) and copepods (1.25%). We observed greater richness and density of testate amoebae taxa in the littoral region, while rotifers predominated in the limnetic region. The sampling points located in the littoral region presented changes in the composition and density of taxa, compared to the limnetic region, mainly when the points were colonized by aquatic macrophytes. Despite a difference in abiotic conditions between the littoral and limnetic regions, the main factor that explained the change in the structure of the zooplankton communities was the presence of aquatic macrophytes, increasing the spatial heterogeneity of the lake.

**Keywords:** zooplankton, littoral region, limnetic region, spatial variation.

## 1. Introdução

A comunidade zooplanctônica é constituída por invertebrados microscópicos que vivem em diversos ambientes aquáticos e incluem principalmente os rotíferos, cladóceros, copépodos e tecamebas (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008). Esses organismos possuem uma extrema importância no fluxo de energia entre os produtores primários e os demais níveis tróficos (Maia-Barbosa et al., 2006), além de serem considerados bioindicadores nos ecossistemas aquáticos devido a seu curto ciclo de vida e a alta sensibilidade de algumas espécies a diversas mudanças ambientais (Gazonato et al., 2014). Além disso, são importantes para o controle de crescimento de algas planctônicas (controle “bottom up”) (Roche e Rocha, 2005).

Nos ambientes aquáticos de água doce, diversos estudos têm demonstrado os principais fatores responsáveis pela estruturação das comunidades zooplanctônicas, tais como a clorofila-a, que representa uma medida indireta da densidade fitoplanctônica, temperatura da água, turbidez e pH (Pujoni, 2010). Em seu trabalho, Pujoni (2010) demonstrou que, dentre os principais grupos zooplanctônicos, os rotíferos foram influenciados pelas variáveis ambientais locais. Um estudo realizado por Attayde e Bozelli (1999) em uma lagoa demonstrou que a variação na concentração de nutrientes proporcionou diferenças espaciais na composição das espécies zooplanctônicas. Assim, os fatores abióticos locais são responsáveis por grande parte da variação espacial da composição, riqueza e densidade dos organismos zooplanctônicos nos ambientes aquáticos, incluindo as lagoas rasas.

Nas lagoas pequenas e rasas, a variação espacial na estrutura das comunidades zooplanctônicas pode ficar bem evidente quando comparamos as regiões litorâneas e limnéticas. De maneira geral, a região litorânea se caracteriza pela proximidade com o ecossistema terrestre, enquanto a região limnética está mais ao centro da lagoa, na região mais profunda (Esteves, 1998). Os organismos que habitam estas diferentes regiões possuem adaptações características (Wetzel & Likens, 1991; Nogueira et al., 2003). Por exemplo, tendo em vista a maior profundidade na região limnética, pode-se verificar a influência da variação vertical dos fatores ambientais, tais como temperatura (estratificação térmica) sobre os organismos, principalmente aqueles que realizam migração vertical (Straskraba & Tundisi, 2000). Por outro lado, a região litorânea costuma ser colonizada por macrófitas aquáticas, que fornecem uma maior heterogeneidade de habitats e abrigo para diversas espécies (Thomaz & Bini, 2003). De fato, alguns trabalhos destacam a importância das macrófitas aquáticas como fatores responsáveis pela maior

variação na composição e densidade zooplanctônica (Waichman et al., 2002; Choi et al., 2016).

A presença das macrófitas aquáticas nos ambientes aquáticos resulta em um aumento da heterogeneidade espacial do ambiente e, conseqüentemente, um aumento na diversidade biológica (Thomas & Cunha, 2010). Essa relação positiva entre a presença de macrófitas aquáticas e o aumento na biodiversidade aquática pode ser explicado pela maior disponibilidade de nichos para alimentação, reprodução e fuga de predadores (Thomas & Cunha, 2010; Meerhoff & los Ángeles González-Sagrario, 2022). Dentro deste contexto, a fauna zooplanctônica pode variar muito entre os compartimentos litorâneo e limnético. Vários estudos demonstraram uma maior riqueza de espécies zooplanctônicas em regiões litorâneas, especialmente quando estão associadas com macrófitas aquáticas (Serrano & Toja, 1998; Lima et al., 2003; Choi et al., 2016). Alguns estudos também demonstraram que as espécies zooplanctônicas podem ser divididas entre espécies especialistas, que colonizam a região litorânea ou limnética (Smiley & Tessier, 1998) ou espécies que ocorrem em ambos os ambientes, mas que possuem preferência por alguma zona (Cryer & Townsend, 1988), resultando no processo de migração horizontal (Van de Meutter et al., 2005).

Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar a variação horizontal da comunidade zooplanctônica em diferentes pontos situados em uma lagoa rasa. Em específico, nós queremos verificar a importância de fatores ambientais e de heterogeneidade espacial (presença de macrófitas aquáticas) na estruturação da comunidade. Esperamos que a riqueza e densidade da comunidade zooplanctônica seja maior em locais com a presença de macrófitas, tendo que estas plantas aumenta a heterogeneidade espacial, resultando no aumento da biodiversidade aquática. Além disso, esperamos uma mudança na composição de espécies, comparando os locais com e sem a presença de macrófitas aquáticas.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Área de Estudo**

Este estudo foi realizado na lagoa Samambaia (16° 35' S, 49°16' W), situada na Universidade Federal de Goiás, em Goiânia. As coletas foram realizadas no dia 26 de julho de 2023 (período de estiagem) e a lagoa apresentou uma profundidade média de 2,6 metros e profundidade máxima de 4,6 metros.

No total, nós selecionamos 11 pontos de coleta, abrangendo um transecto entre a região litorânea e a região limnética. Dentre estes pontos, 4 estão situados na região litorânea (pontos 1, 7, 9 e 10) e 7 pontos na região limnética (pontos 2, 3, 4, 5, 6, 8 e 11) (Figura 1). Na região litorânea, 3 pontos apresentavam pequenos bancos de macrófitas aquáticas (*Salvinia auriculata*), o que nos permitiu verificar a influência da presença destas plantas sobre a composição, riqueza, e densidade dos organismos zooplanctônicos (pontos 1, 7 e 10).



Figura 1: Locais de coleta com os pontos de amostragem. No total, 11 pontos foram amostrados na lagoa (4 situados na região litorânea e 7 pontos na região limnética). O símbolo vermelho representa a presença de macrófitas aquáticas em 3 pontos da região litorânea (pontos 1, 7 e 10).

## 2.2. Variáveis ambientais

Em cada ponto de coleta, utilizando um barco, nós obtivemos em campo os valores de temperatura da água, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido (sonda multiparâmetro). Amostras de água foram coletadas logo abaixo da superfície em frascos de polietileno e levadas ao laboratório de ecologia aquática, situado na Universidade Federal de Goiás.

Em laboratório, no mesmo dia a coleta, a turbidez da água foi mensurada através de um turbidímetro digital Digimed. Além disso, parte das amostras foi filtrada, no mesmo dia da coleta, em membranas Whatman GF/C, e armazenadas em freezer a  $-20$  °C para posterior determinação das concentrações e clorofila-*a*.

As amostras de água filtrada e não filtrada foram preservadas em geladeira para posterior determinação das concentrações de fósforo total, fósforo dissolvido, nitrato e nitrogênio amoniacal, de acordo com a metodologia proposta pelo Standard Methods (APHA, 2005). A concentração de clorofila-*a* foi quantificada através da extração com acetona (90%) e leitura em espectrofotômetro (Golterman et al., 1978).

### **2.3. Comunidade zooplanctônica**

A amostragem da comunidade zooplanctônica foi realizada em todos os pontos de coleta através da filtragem de 200 litros de água por amostra, em uma rede de plâncton de 68  $\mu\text{m}$  de abertura de malha. O material coletado foi acondicionado em frascos de polietileno e fixado em solução de formaldeído a 4%, tamponada com carbonato de cálcio. Em laboratório, a identificação e contagem dos organismos zooplanctônicos foram realizadas em microscópio óptico. A densidade foi estimada através da contagem, em câmaras de Sedgwick-Rafter, de pelo menos 10% do volume total da sub-amostra ou até que nenhum novo táxon seja encontrado, sendo os resultados de densidade final expressos em indivíduos por  $\text{m}^3$ . A identificação dos indivíduos ocorreu até o menor nível taxonômico possível com apoio da literatura especializada.

### **2.4. Análise dos dados**

Inicialmente, nós calculamos a estatística descritiva dos fatores ambientais analisados. O índice de estado trófico (IET) também foi calculado, com o objetivo de classificar os locais de coleta. Para tanto, utilizamos as concentrações de fósforo total e clorofila-*a* na equação modificada por Lamparelli (2004).

A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada com o objetivo de sintetizar as variáveis ambientais mensuradas nos diferentes pontos de coleta (Legendre e Legendre, 2012). Para tanto, utilizamos as seguintes variáveis: temperatura da água (°C), condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, turbidez, concentração de clorofila-*a* e concentração de nutrientes. Para essa análise, os dados foram  $\log(x+1)$  transformados (com exceção dos valores de pH), e utilizou-se o pacote *Vegan* (Oksanen et al., 2020). O

modelo de “broken-stick” (Jackson, 1993) foi utilizado para determinar quais componentes principais seriam retidos para análise.

Com o objetivo de verificar a similaridade entre os pontos de coleta considerando a estrutura das comunidades zooplancônicas, foi realizada uma análise de coordenadas principais (PCoA; Legendre e Legendre, 2012). Para o cálculo da matriz de distância foi utilizado o método de Bray-Curtis (matriz com os dados de densidade), utilizando o pacote *Vegan* (Oksanen et al., 2020). Todas as análises foram feitas no Programa R (R Core Team, 2022).

### 3. Resultados

#### 3.1. Fatores ambientais

A região litorânea apresentou, em média, os maiores valores de temperatura da água, pH, turbidez, fósforo total e orto-fosfato. Os valores de profundidade e as concentrações de oxigênio dissolvido, nitrato e nitrogênio amoniacal foram maiores na região limnética (Tabela 1). Mesmo considerando alguma diferenciação nos valores médios dos parâmetros ambientais, de acordo com o índice de estado trófico, os pontos amostrados podem ser classificados entre ultraoligotrófico e oligotrófico, considerando as concentrações de fósforo total e clorofila-a (Tabela 2).

Tabela 1: Valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão dos parâmetros limnológicos mensurados nos pontos de coleta situados na região litorânea e limnética da lagoa Samambaia, Goiânia.

	Região litorânea				Região limnética			
	média	Min.	Máx.	D.P	média	Min.	Máx.	D.P
Profundidade (m)	0,7	0,6	0,8	0,115	2,61	1,8	4,6	0,994
Temperatura (°C)	22,65	22,3	23,4	0,519	22,54	22,1	22,9	0,287
Oxigênio (mg/L)	7	5,1	7,7	1,270	7,68	7,3	7,9	0,226
pH	7,26	7,15	7,36	0,086	7,14	7,01	7,29	0,098
Condutividade (µS/cm)	44,57	44,1	45,2	0,457	44,71	45,3	43,7	0,614
Turbidez (NTU)	4,025	2,87	4,52	1,164	3,74	2,75	4,92	0,761
Clorofila-a (µg/L)	1,909	0,78	2,60	0,823	0,794	<0,01	1,262	0,409
Fósforo total (µg/L)	15,94	14,15	19,81	2,628	12,96	11,77	14,15	1,139
Orto-fosfato (µg/L)	3,81	1,65	6,42	1,964	1,78	0,46	4,93	1,554
Nitrato (mg/L)	0,339	0,265	0,389	0,052	0,35	0,234	0,513	0,089
N-amoniacal (mg/L)	0,033	0,029	0,041	0,005	0,039	0,027	0,052	0,008

Tabela 2: Valores de IET (índice de estado trófico) dos pontos de coleta situados na lagoa Samambaia, Goiânia.

Pontos	IET	Classificação
P1	50,81	Oligotrófico
P2	36,69	ultraoligotrófico
P3	49,13	Oligotrófico
P4	47,84	Oligotrófico
P5	48,63	Oligotrófico
P6	48,04	Oligotrófico
P7	51,99	Oligotrófico
P8	48,26	Oligotrófico
P9	50,34	Oligotrófico
P10	48,08	Oligotrófico
P11	46,69	ultraoligotrófico

A análise de componentes principais (PCA) demonstrou a diferença entre região limnética e litorânea (Figura 2). De maneira geral, os dois primeiros eixos da análise de componentes principais explicaram 53,7% da variabilidade dos dados, sendo que os 3 primeiros eixos foram maiores que o esperado pelo método de Broken-stick.

Através desta análise, foi possível observar que nos pontos da região litorânea houve uma maior concentração de fósforo total, orto-fosfato e maiores valores de turbidez, enquanto na região limnética observamos os maiores valores de condutividade elétrica e profundidade (Figura 2). Podemos destacar o ponto 6, que apresentou maior concentração de nitrato (relação positiva com o eixo 2) (Figura 2).

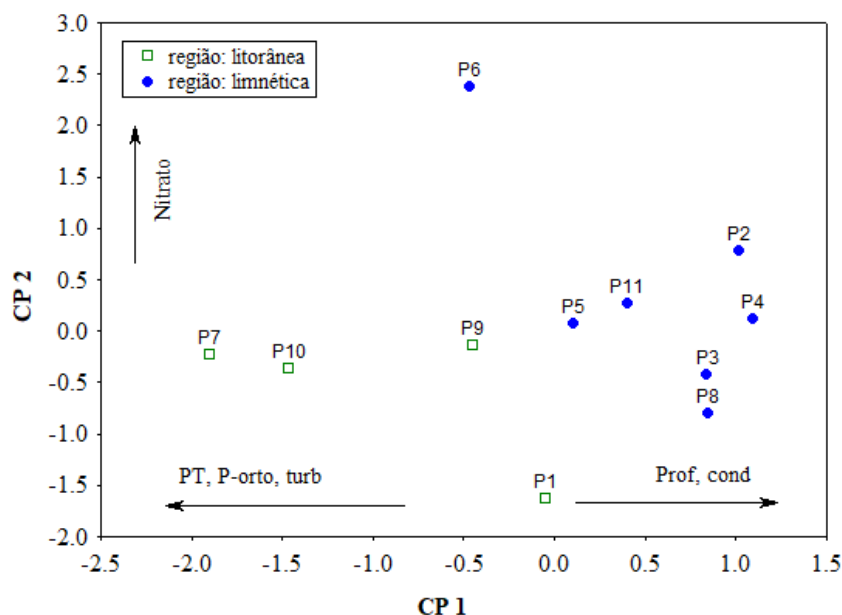


Figura 2: Resultado da análise de componentes principais (PCA), com os escores dos pontos de coleta. As variáveis apresentadas apresentaram as maiores correlações com o primeiro e segundo eixos da PCA. Prof = profundidade, cond = condutividade elétrica, PT = fósforo total, P-orto = orto fosfato, turb = turbidez.

### 3.2. Comunidade zooplanctônica

No total, nós identificamos 80 táxons zooplanctônicos na lagoa Samambaia em julho de 2023. A maior parte dos táxons são tecamebas (33 táxons), seguido por rotíferos (31 táxons), cladóceros (15 táxons) e copépodos (1 táxons). Os copépodos jovens não foram considerados na riqueza pelo fato de não conseguirmos distinguir os táxons.

Na região litorânea foram registrados 58 táxons, com predominância de tecamebas (28 táxons), rotíferos (18 táxons), cladóceros (11 táxons) e copépodos (1 táxon) (Figura 3). Já na região limnética, nós identificamos 55 táxons, com predominância de rotíferos (26 táxons), tecamebas (20 táxons), cladóceros (8 táxons) e copépodos (1 táxons) (Figura 3).

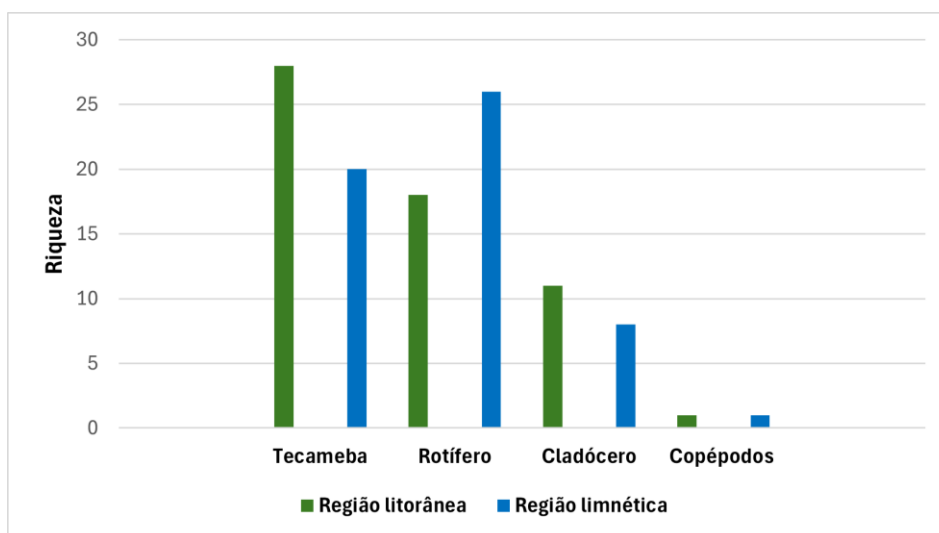


Figura 3: Riqueza da comunidade zooplanctônica na região litorânea e limnética da lagoa Samambaia, Goiânia, Goiás.

Considerando os valores de densidade total, nós também observamos uma predominância dos táxons pertencentes ao grupo das tecamebas (469.558 ind/m<sup>3</sup>), seguido por rotíferos (195.923 ind/m<sup>3</sup>), cladóceros (158.440 ind/m<sup>3</sup>) e copépodos (73.158 ind/m<sup>3</sup>). Em relação aos copépodos, 70.156 ind/m<sup>3</sup> são copépodos jovens e 3.002 ind/m<sup>3</sup> são adultos. As tecamebas predominaram na região litorânea, com 463.227 ind/m<sup>3</sup>, seguido por cladóceros (150.343,3 ind/m<sup>3</sup>), rotíferos (133.438,30 ind/m<sup>3</sup>), e copépodos (29.500 ind/m<sup>3</sup> copépodos jovens e 2.800 ind/m<sup>3</sup> copépodos adultos) (Figura 4). Já na região limnética, nós registramos menores valores de densidade (117.770,5 ind/m<sup>3</sup>), com predominância de rotíferos (62.484,6 ind/m<sup>3</sup>), seguido por copépodos jovens (40.656

ind/m<sup>3</sup>), cladóceros (8.096,6 ind/m<sup>3</sup>), tecamebas (6.331 ind/m<sup>3</sup>) e copépodos adultos (202 ind/m<sup>3</sup>) (Figura 4).

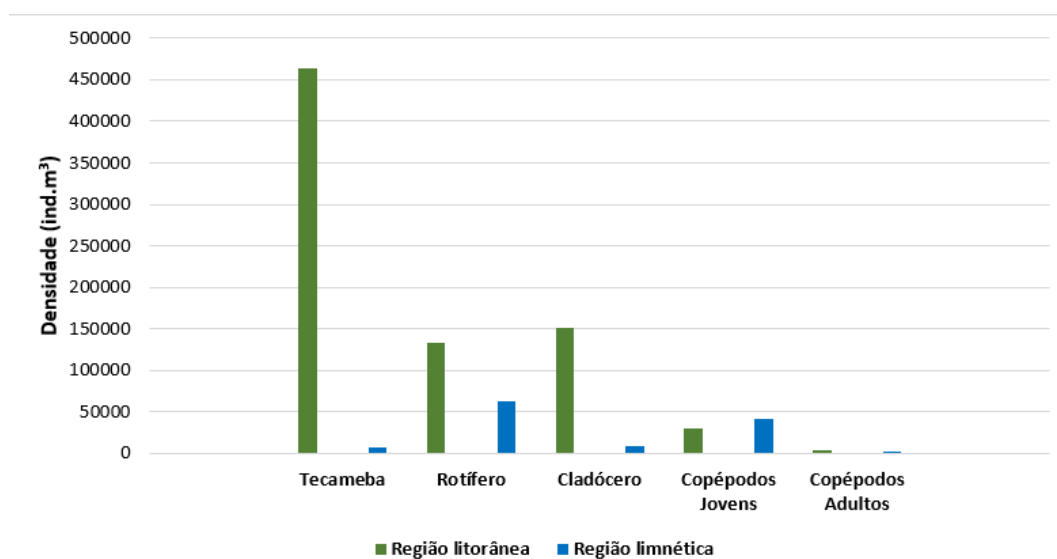
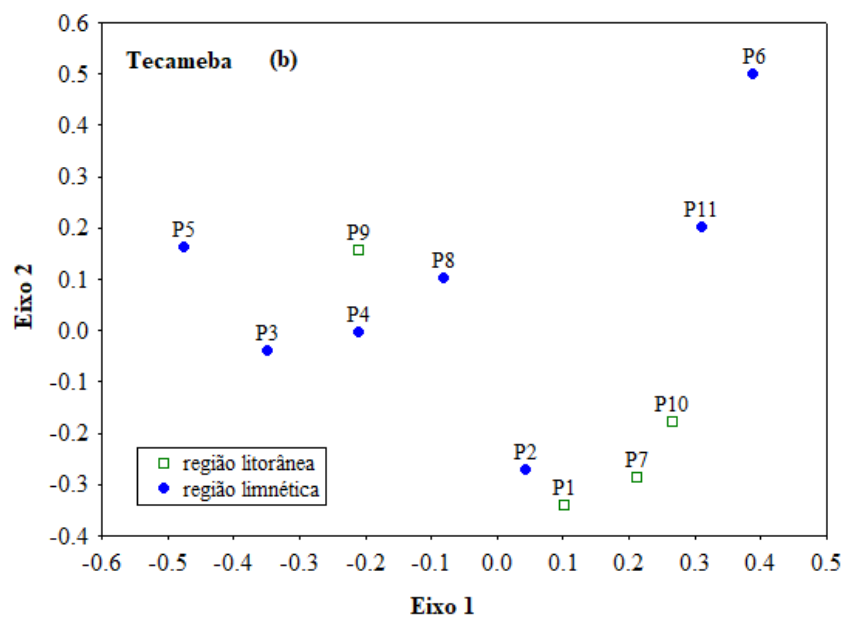
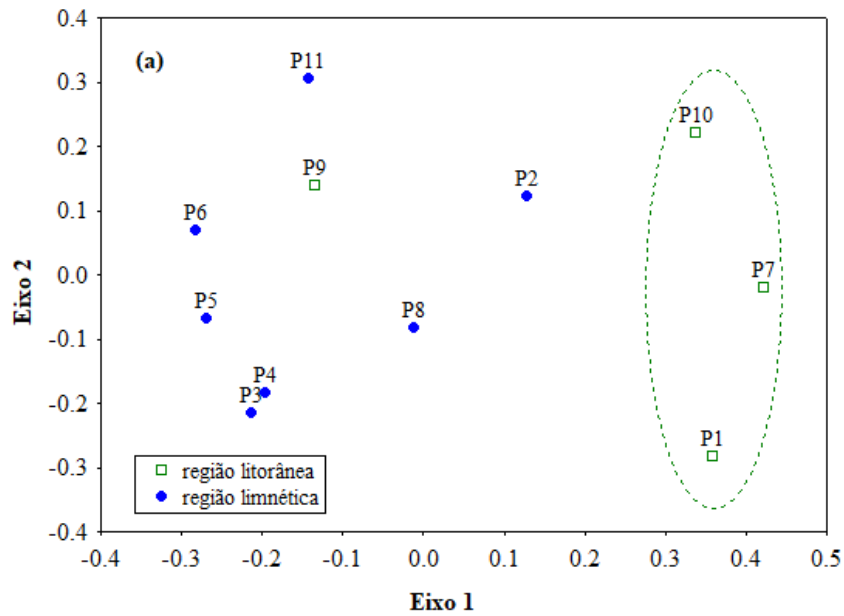


Figura 4: Densidade da comunidade zooplanctônica na região litorânea e limnética da lagoa Samambaia, Goiânia, Goiás.

De acordo com a análise de coordenadas principais (PCoA), foi possível observar uma diferenciação entre a região limnética e litorânea, considerando a composição e densidade de todas as espécies zooplanctônicas (Figura 5a). No entanto, é importante ressaltar que essa diferenciação ocorreu, considerando somente a região litorânea com a presença de macrófitas aquáticas (pontos 1, 7 e 10). A estrutura da comunidade zooplanctônica na região litorânea sem a presença de macrófitas aquáticas (ponto 9) foi similar aos demais pontos amostrados na região limnética (Figura 5a). Padrão similar foi observado quando analisamos separadamente as tecamebas e rotíferos (Figuras 5b, c).

De fato, as espécies que mais se destacaram na região litorânea com a presença de macrófitas aquáticas foram *Simocephalus aqua-brancai* Bergamin, 1939 (cladóceros; 88.000 ind.m<sup>3</sup>) e as tecamebas *Diffugia lobostoma* var. *multilobata* Gauthier- Lièvre & Thomas, 1958 (66.666 ind.m<sup>3</sup>), *Diffugia gramen* Penard, 1902 (53.000 ind.m<sup>3</sup>), *Centropyxis acculeata* Ehrenberg, 1838 (49.600 ind.m<sup>3</sup>) e *Arcella vulgaris* var. *penardi* Deflandre, 1928 (42.400 ind.m<sup>3</sup>). É importante ressaltar que algumas destas espécies estavam ausentes na região litorânea sem a presença de macrófitas aquáticas, enquanto outras apresentam baixos valores de densidade, o que explica a diferença entre os pontos com e sem a presença de macrófitas. Por outro lado, na região limnética, nós registramos

elevada densidade das espécies de rotíferos *Kellicottia bostoniensis* Rousselet, 1908 (23.358 ind.m<sup>3</sup>), *Keratella cochlearis* Gosse, 1851 (23.350 ind.m<sup>3</sup>) e *Polyarthra vulgaris* Carlin, 1943 (6.599 ind.m<sup>3</sup>).



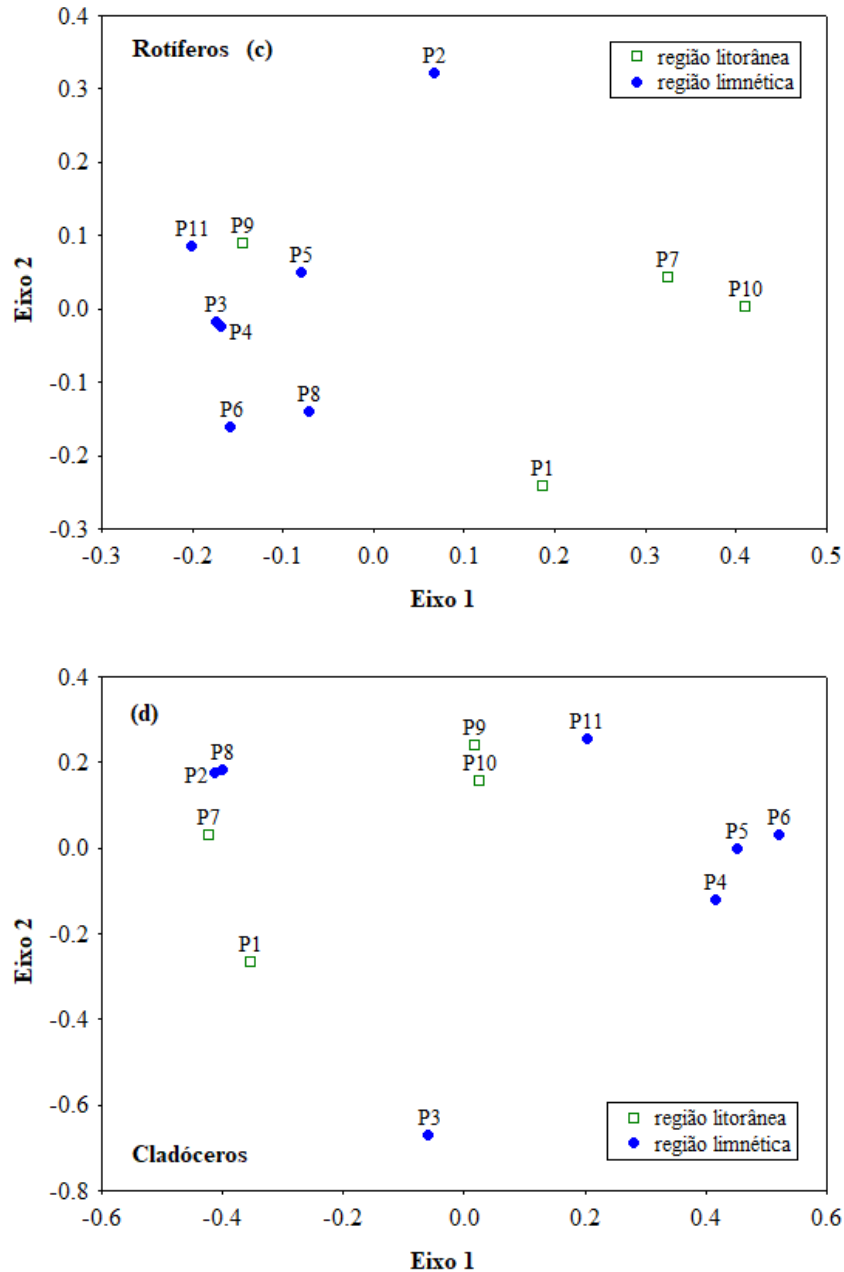


Figura 5: Dispersão dos escores dos pontos de coleta amostrados na região limnética e litorânea da lagoa Samambaia, considerando toda a comunidade zooplanctônica identificada (a), o grupo das tecamebas (b), rotíferos (c) e cladóceros (d).

#### 4. Discussão

Nossos resultados demonstraram uma elevada biodiversidade zooplanctônica na lagoa estudada, tendo em vista que outros estudos em pequenas lagoas rasas encontram valores de riqueza similar (Bini et al., 2007; Lima et al., 2012; Castilho, 2018). Além disso, observamos uma mudança na composição e densidade das comunidades entre as regiões litorâneas e limnética, principalmente quando a região litorânea está colonizada

por macrófitas aquáticas, corroborando a nossa hipótese sobre a importância das macrófitas como fatores de heterogeneidade ambiental.

Considerando os fatores ambientais, foi possível observar que a lagoa estudada apresentou uma clara distinção entre região litorânea e limnética. A região litorânea foi caracterizada por apresentar maiores concentrações de fósforo total, orto-fosfato, maiores valores de turbidez e menores valores de profundidade. Tal resultado é característico desta região mais rasa da lagoa. No presente estudo, nós também podemos destacar o ponto 6 que apresentou as maiores concentrações de nitrato, tendo em vista que este ponto está situado em um extremo do transecto horizontal da lagoa, nas proximidades do córrego conectado a esta lagoa. Assim, provavelmente, a maior velocidade da água propicia maior concentração da forma oxidada de nitrogênio nesta região.

A composição e densidade das espécies zooplancônicas apresentaram uma diferenciação quando comparamos região litorânea e limnética, no entanto, podemos inferir que essa diferença não foi resultado, somente, dos fatores abióticos estudados. A análise de coordenadas principais (PCoA) demonstrou a similaridade da estrutura da comunidade estudada no ponto 9 (região litorânea) com os demais pontos analisados na região limnética. Assim, podemos verificar que os pontos que apresentaram clara diferenciação na composição e densidade de espécies estavam na região litorânea e eram pontos colonizados por macrófitas aquáticas (pontos 1, 7 e 10), o que demonstra a importância destas plantas como componentes de heterogeneidade espacial.

Diversos estudos têm demonstrado a importância das macrófitas aquáticas na heterogeneidade ambiental (Dibble & Thomaz, 2006; Thomaz & Cunha, 2010; Coelho & Henry, 2022). Taniguchi et al. (2003) demonstraram a influência de macrófitas aquáticas submersas na estrutura das comunidades de invertebrados. Outros pesquisadores também verificaram a importância das macrófitas aquáticas sobre a riqueza e densidade de peixes (Pelicice et al., 2008; Dibble & Pelicice, 2010; Quirino et al., 2021). De maneira similar, nossos resultados demonstraram que nos locais com a presença de macrófitas aquáticas ocorreu a predominância, principalmente de tecaebas. Por outro lado, a região limnética foi caracterizada pela presença de rotíferos. Šorf e Devetter (2011) também destacaram a ocorrência de rotíferos na região limnética. Os rotíferos são organismos cosmopolitas que habitam diversos tipos de ambientes aquáticos, possuem ampla distribuição e uma alta capacidade de dispersão dos ovos através de várias formas, como vento, presos em peixes, entre outros (Esteves, 2011). Muitas espécies de rotíferos possuem adaptações morfológicas que permitem sua sobrevivência na região limnética dos corpos aquáticos,

tais como o formato do corpo oval, tamanho pequeno, ausência de pés e/ou presença de espinhos (Koste, 1978), além do consumo de bactérias e algas (Soares et al., 2010). De fato, neste estudo, as espécies de rotíferos com maior abundância na região limnética (*Kellicottia bostoniensis*, *Keratella cochlearis* e *Polyarthra vulgaris*) apresentam estas características morfológicas.

Por outro lado, as tecamebas são organismos que apresentam carapaças, tecas e são frequentemente mais abundantes em regiões rasas, como as regiões litorâneas, ou aderidas em plantas aquáticas (Esteves, 2011). Isso pode explicar a maior riqueza e densidade que encontramos deste grupo na região litorânea colonizada por macrófitas aquáticas, principalmente os táxons *Diffugia lobostoma multilobata*, *Diffugia gramem*, *Centropyxis acculeata* e *Arcella vulgaris penardi*.

Em suma, nossos resultados demonstraram que, apesar de uma diferenciação abiótica entre a região litorânea e limnética, o fator principal que estruturou as comunidades zooplancônicas na lagoa Samambaia foi a presença de macrófitas aquáticas em alguns locais na região litorânea. De fato, a lagoa estudada apresentou elevadas concentrações de oxigênio dissolvido, baixos valores de turbidez, baixas concentrações de nutrientes (que pode indicar condições oligotróficas) tanto na região litorânea quanto limnética, o que poderia explicar a maior importância das plantas aquáticas como fator de heterogeneidade espacial resultando na mudança na estrutura das comunidades zooplancônicas e, também, resultando no incremento da diversidade da lagoa.

## 5. Referências

- Attayde, J. L., & Bozelli, R. L. (1998). Environmental heterogeneity patterns and predictive models of chlorophyll a in a Brazilian coastal lagoon. *Hydrobiologia*, 390, 129-139. <https://doi.org/10.1023/A:1003546810358>
- Maia-Barbosa, P.M., Brito, S., Rietzler, A.C., & Eskinazi- Sant'Anna, E.M.S., 2006. Diversidade do zooplâncton de Minas Gerais. *Revista Ciência Hoje*, 38, 67-69.
- Bini, L.M., Vieira, L.C.G., Machado, J., & Velho, L.F.M., 2007. Concordance of species composition patterns among microcrustaceans, rotifers and testate amoebae in a shallow pond. *International review of hydrobiology*, 92(1), 9-22. <https://doi.org/10.1002/iroh.200610865>

- Castilho, M.C.A., 2018. O papel da comunidade zooplanctônica em estados limnológicos alternativos em uma lagoa rasa. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), 134 p.
- Choi, J.Y., Jeong, K.S., Kim, S.K., & Joo, G.J., 2016. Impact of habitat heterogeneity on the biodiversity and density of the zooplankton community in shallow wetlands (Upo wetlands, South Korea). *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 45(4), 485-492.
- Coelho, P. N., & Henry, R., 2022. Is the littoral zone taxonomically and functionally more diverse? Investigating the rotifer community of a tropical shallow lake. *Limnology*, 23(3), 429-440. <https://doi.org/10.1007/s10201-022-00697-z>
- Cryer, M., & Townsend, C. R. (1988). Spatial distribution of zooplankton in a shallow eutrophic lake, with a discussion of its relation to fish predation. *Journal of plankton research*, 10(3), 487-501. <https://doi.org/10.1093/plankt/10.3.487>
- Dibble, E.D., & Thomaz, S.M., 2006. A simple method to estimate spatial complexity in aquatic plants. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 49, 421-428.
- Dibble, E. D., & Pelicice, F. M., 2010. Influence of aquatic plant-specific habitat on an assemblage of small neotropical floodplain fishes. *Ecology of freshwater fish*, 19(3), 381-389. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2010.00420.x>
- Esteves, F.A., 2011. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro, Interciência.
- Gazonato, A.J., Silva, L.C.D., Saggio, A.A., & Rocha, O., 2014. Zooplankton communities as eutrophication bioindicators in tropical reservoirs. *Biota Neotropica*, 14(4), e20140018. <https://doi.org/10.1590/1676-06032014001814>
- Lima, A.F., Lansac-Tôha, F.A., Velho, L.F.M., Bini, L.M., & Takeda, A.M., 2003. Composition and abundance of Cladocera (Crustacea) assemblages associated with *Eichhornia azurea* (Swartz) Kunth stands in the Upper Paraná River floodplain. *Acta Scientiarum: Biological Sciences*, 25(1), 41-48.
- Lima, P.V., Oliveira, S.M.L., Silva, M.C., & Oliveira, V.A., 2012. Variação na riqueza das espécies zooplanctônicas em lagoas marginais do rio Cuiabá (Pantanal-MT). *Biodiversidade*, 11(1), 57-68.
- Meerhoff, M., & de los Ángeles González-Sagrario, M., 2022. Habitat complexity in shallow lakes and ponds: importance, threats, and potential for restoration. *Hydrobiologia*, 849(17), 3737-3760. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04771-y>
- Meutter, F.V.D., Stoks, R., & Meester, L.D., 2005. Spatial avoidance of littoral and pelagic invertebrate predators by *Daphnia*. *Oecologia*, 142, 489-499. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1738-5>.

- Pellicice, F.M., Thomaz, S.M., & Agostinho, A.A., 2008. Simple relationships to predict attributes of fish assemblages in patches of submerged macrophytes. *Neotropical Ichthyology*, 6, 543-550.
- Pujoni, D.G.F., 2010. A comunidade zooplanctônica da região limnética de dezoito lagoas do Médio Rio Doce e as implicações para a conservação ambiental: um olhar macroecológico. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Quirino, B.A., Lansac-Tôha, F.M., Thomaz, S.M., Heino, J., & Fugi, R., 2021. Macrophyte stand complexity explains the functional  $\alpha$  and  $\beta$  diversity of fish in a tropical river-floodplain. *Aquatic Sciences*, 83(1), 12. <https://doi.org/10.1007/s00027-020-00768-2>
- Roche, F.K., & Rocha, O., 2005. Aspectos de predação por peixes em lagos e represas, com enfoque na planctivoria. In: Roche, F.K., & Rocha, O. (eds.). *Ecologia trófica de peixes com ênfase na planctivoria em ambientes lênticos de água doce no Brasil*. São Carlos: Rima, p.146.
- Serrano, L., & Toja, J., 1998. Interannual variability in the zooplankton community of a shallow temporary pond. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 26, 1575-1581.
- Smiley, E.A., & Tessier, A.J., 1998. Environmental gradients and the horizontal distribution of microcrustaceans in lakes. *Freshwater Biology*, 39(3), 397-409. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1998.00287.x>
- Šorf, M., & Devetter, M., 2011. Coupling of seasonal variations in the zooplankton community within the limnetic and littoral zones of a shallow pond. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 47, 259-268.
- Straskraba, M. & Tundisi, J. G. 2000. Gerenciamento da qualidade da água de represas. In: Tundisi, J. G. ed. *Diretrizes para o gerenciamento de lagos*. São Carlos, ILEC/IEE.
- Taniguchi, H., Nakano, S., & Tokeshi, M., 2003. Influences of habitat complexity on the diversity and abundance of epiphytic invertebrates on plants. *Freshwater Biol.*, 48, 718-728.
- Thomaz, S.M., & Cunha, E.R.D., 2010. The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition and biodiversity. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 22, 218-236. <https://doi.org/10.4322/actalb.02202011>
- Thomaz, S. M.; Bini, L. M., 2003. *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. Maringá: EDUEM.

- Tundisi, J.G., & Matsumura-Tundisi, T., 2008. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Waichman, A.V., García-Dávila, C.R., Hardy, E.R., & Robertson, B.A., 2002. Composição do zooplâncton em diferentes ambientes do lago Camaleão, na ilha da Marchantaria, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 32(2), 339-339. <https://doi.org/10.1590/1809-43922002322347>
- Wetzel, R. G., & Likens, G. E., 1991. *Limnological analysis*. New York, Springer-Verlag.

## Capítulo 2

### **Importância das macrófitas aquáticas para a biodiversidade aquática: Uma revisão sistemática**

#### **Resumo**

A revisão sistemática é uma importante ferramenta para o conhecimento das principais tendências e lacuna sobre um determinado tema. O principal objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sistemática das publicações científicas que avaliaram a importância das macrófitas aquáticas sobre a biodiversidade aquática. A busca foi realizada através do banco de dados da plataforma Web of Science. No total 85 publicações foram avaliadas. Nós observamos uma tendência de aumento do número de artigos ao longo dos anos, o que indica o maior interesse da comunidade científica sobre o assunto. Além disso, nós também observamos uma maior concentração de estudos empíricos que avaliaram a importância das macrófitas aquáticas sobre a riqueza e densidade de macroinvertebrados e peixes. Nós também identificamos algumas lacunas de conhecimento como por exemplo a necessidade de mais estudos experimentais.

**Palavras-chave:** complexidade ambiental, heterogeneidade ambiental, biodiversidade aquática.

## **Abstract**

Systematic reviews are an important tool for understanding the main trends and gaps on a given topic. The main objective of this work was to perform a systematic review of scientific publications that evaluated the importance of aquatic macrophytes on aquatic biodiversity. The search was carried out through the Web of Science database. A total of 85 publications were evaluated. We observed a tendency for the number of articles to increase over the years, which indicates the greater interest of the scientific community in the subject. In addition, we also observed a greater concentration of empirical studies that evaluated the importance of aquatic macrophytes on the richness and density of macroinvertebrates and fish. We also identified some knowledge gaps, such as the need for more experimental studies.

**Keywords:** environmental complexity, environmental heterogeneity, aquatic biodiversity.

## 1. Introdução

Nos ecossistemas aquáticas, a heterogeneidade ambiental pode ser mensurada através da variabilidade das características químicas da água ou através das características físicas do ambiente, tais como a presença de estruturas, pedras, cascalhos ou plantas aquáticas no ambiente (Li & Reynolds, 1995). Assim, ambientes mais complexos, com diferentes estruturas físicas, por exemplo, tendem a apresentar um maior número de espécies, tendo em vista a maior disponibilidade de nichos, recursos alimentares e locais para reprodução (Thomaz & Cunha, 2010). Um exemplo da importância da heterogeneidade espacial para a biodiversidade aquática é a influência das pedras em riachos na comunidade de macroinvertebrados aquáticos (Reid et al., 2010; Milesi et al., 2016). Milesi et al. (2016) destacaram a importância da maior heterogeneidade do substrato de um riacho para uma maior diversidade de invertebrados, com diferentes tamanhos e nichos de alimentação, resultando em um melhor funcionamento do ecossistema.

As macrófitas aquáticas, além de possuírem um importante papel na produtividade primária dos ecossistemas aquáticos (Thomaz & Bini, 2003), também proporcionam estrutura física que aumenta a complexidade ou heterogeneidade dos habitats resultando, conseqüentemente, em um acréscimo na diversidade dos organismos aquáticos (Thomas & Cunha, 2010; Petersen, 2023). Assim, a presença das macrófitas aquáticas pode influenciar a riqueza e composição de espécies, além do tamanho corporal de diversos organismos aquáticos, tendo em vista que fornecem abrigo, local para alimentação e local para refúgio de diversas espécies (Thomaz & Cunha, 2010).

O conhecimento sobre as pesquisas que relacionam a presença de macrófitas aquáticas e a diversidade biológica se torna importante, considerando a busca por padrões e lacunas nestes estudos. Dentro deste contexto, a utilização da revisão sistemática é uma ótima ferramenta para o conhecimento de uma determinada área da ciência (Nakagawa et al., 2019). Em ecologia, muitos estudos foram elaborados com o objetivo de sintetizar o conhecimento em uma determinada área, além de conhecer as tendências e vieses na literatura científica (Nabout et al., 2012; Thomaz et al., 2015; Silva & Perbiche-Neves, 2016; Nabout et al., 2023). Sabe-se que muitos estudos avaliaram a importância das macrófitas aquáticas para a biodiversidade aquática, no entanto, se torna necessário a síntese deste conhecimento para indicarmos os grupos ainda pouco estudados e as principais lacunas de conhecimento que ainda precisamos estudar. Assim, o objetivo deste trabalho é fazer uma revisão sistemática sobre as publicações científicas que

avaliaram a importância das macrófitas aquáticas para a biodiversidade aquática e avaliar as principais lacunas de conhecimento ainda existente.

## **2. Material e Métodos**

Em fevereiro de 2024, foi realizada uma busca na base de dados do *Web of Science* com as palavras-chave “habitat heterogeneity” OR “spatial heterogeneity” AND “aquatic macrophyte\*”, considerando o período entre 1992 e 2023.

Após a obtenção dos artigos, foi realizada uma leitura inicial dos títulos e resumos para selecionar apenas os trabalhos que avaliaram a importâncias das macrófitas aquáticas sobre a biodiversidade aquática. O artigo cujo objetivo central não era analisar a relação entre macrófitas e diversidade biológica foi excluído. Posteriormente, foram retiradas as seguintes informações de cada trabalho: ano da publicação, país onde o estudo foi realizado, tipo de estudo (empírico, teórico e experimental), tipo de ambiente estudado, espécies de macrófitas aquáticas estudadas, grupos de organismos avaliados em resposta à presença de macrófitas aquáticas, quais medidas foram mensuradas e qual o resultado obtido (efeito positivo, negativo ou sem efeito, considerando a presença das macrófitas aquáticas). Quando não foi possível obter os dados através da leitura apenas do resumo, o trabalho foi lido integralmente.

Após a obtenção dos dados, utilizamos estatística descritiva para avaliar os resultados.

## **3. Resultados**

Inicialmente, um total de 155 artigos foram encontrados na busca bibliográfica. No entanto, destes, somente 85 artigos realmente avaliaram a importância das macrófitas aquáticas para a biodiversidade. Estes 85 trabalhos foram retidos para a obtenção de cada uma das informações listadas em “material e métodos.

De maneira geral, observamos um aumento no número de publicações ao longo dos anos (entre 1992 e 2023). O maior número de publicações foi registrado em 2021, com 9 publicações, seguido pelos anos de 2022 e 2023 (6 publicações) (Figura 1).

A maior parte das pesquisas foram realizadas no Brasil (17 publicações), seguido pelos Estados Unidos (13 publicações), China (7 publicações) e Argentina (7 publicações) (Figura 2). Diversos países como Noruega, África do Sul, Hungria, Tanzânia, Espanha,

Canadá, Holanda, Zimbabué, Gales e Itália apresentaram apenas 1 publicação, totalizando 80 artigos (Figura 2).

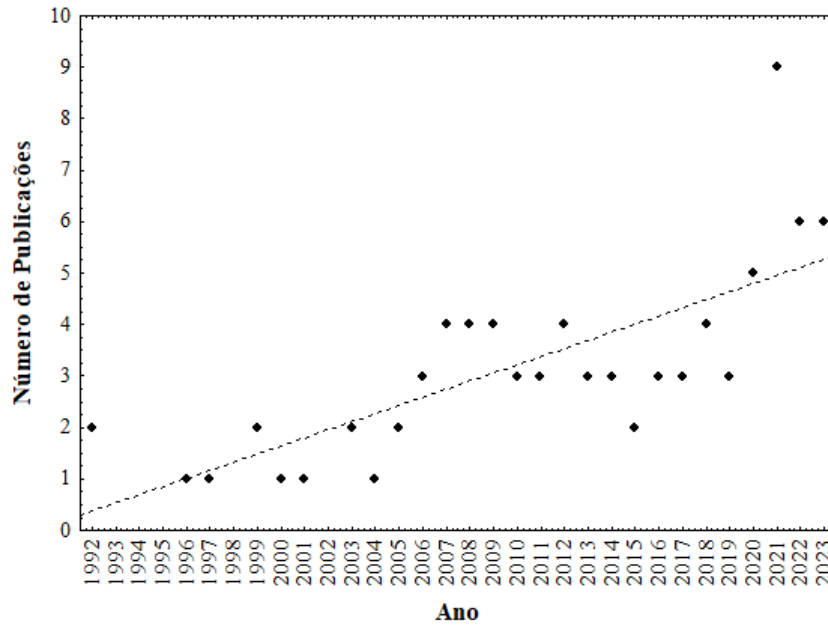


Figura 1. Número de publicações sobre o tema “macrófitas aquáticas e biodiversidade aquática” entre 1992 e 2023.

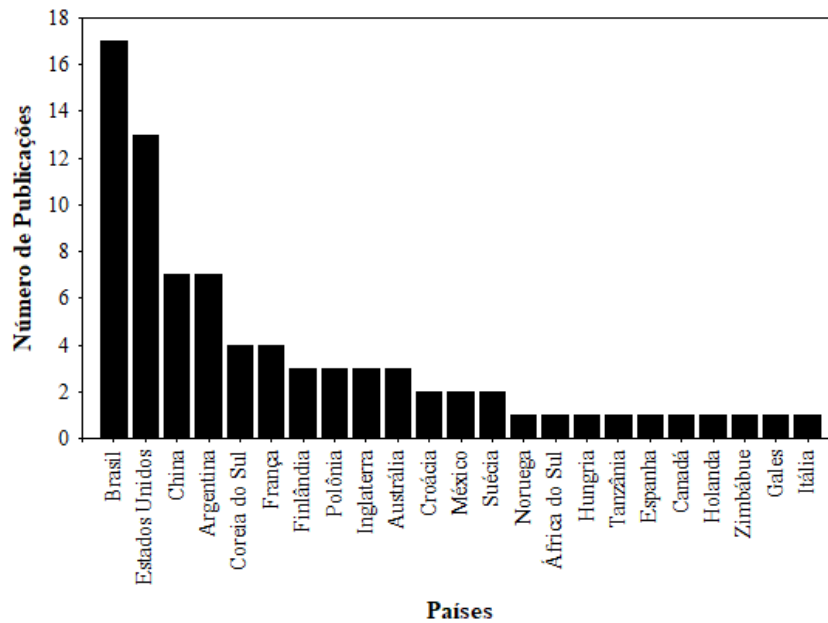


Figura 2: Países que realizaram os estudos sobre o tema “macrófitas aquáticas e biodiversidade aquática”, entre 1992 e 2023.

O tipo de estudo mais realizado foi o estudo empírico (65 publicações), seguido pelos estudos experimentais (15 publicações) e os estudos teóricos (8 publicações).

Alguns trabalhos também avaliaram a influência das macrófitas sobre a biodiversidade aquática tanto empiricamente quanto através de um experimento (3 publicações) (Figura 3).

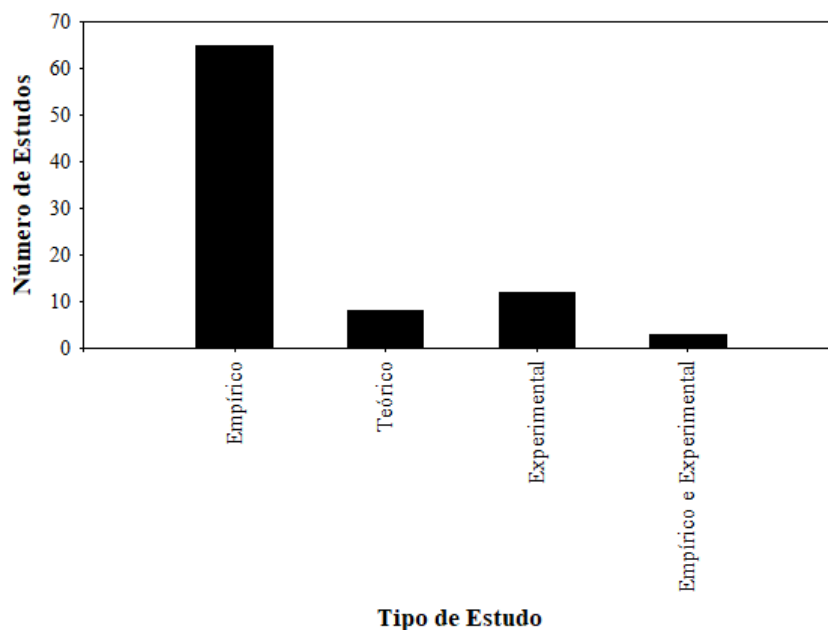


Figura 3: Abordagem utilizada nas pesquisas realizadas entre 1992 e 2023 sobre o tema “macrófitas aquáticas e biodiversidade aquática”.

Dentre os diversos ambientes aquáticos estudados, observamos o predomínio das pesquisas realizadas em lagoas/lagos (45 publicações), seguido pelos rios, riachos e reservatórios (Figura 4). Os estudos realizados em outros sistemas, como estuários, baías, dentre outros, foram classificados como “outros” (Figura 4).

Somente 34 artigos (40%) citaram o nome das macrófitas aquáticas presentes no ambiente estudado. A macrófita mais estudada foi *Eichhornia azurea* (7 publicações), seguida por *Eichhornia crassipes* (5 publicações), *Ceratophyllum demersum*, *Egeria densa*, *Hydrilla verticillata* (3 publicações cada); *Egeria najas*, *Myriophyllum aquaticum* e *Cobomba furcata* (2 publicações) (Figura 5). Outras diversas espécies foram citadas em apenas uma publicação, como *Cabomba caroliniana*, *Azolla filiculoides*, *Pontedaria cordata*, dentre outras espécies (Figura 5).

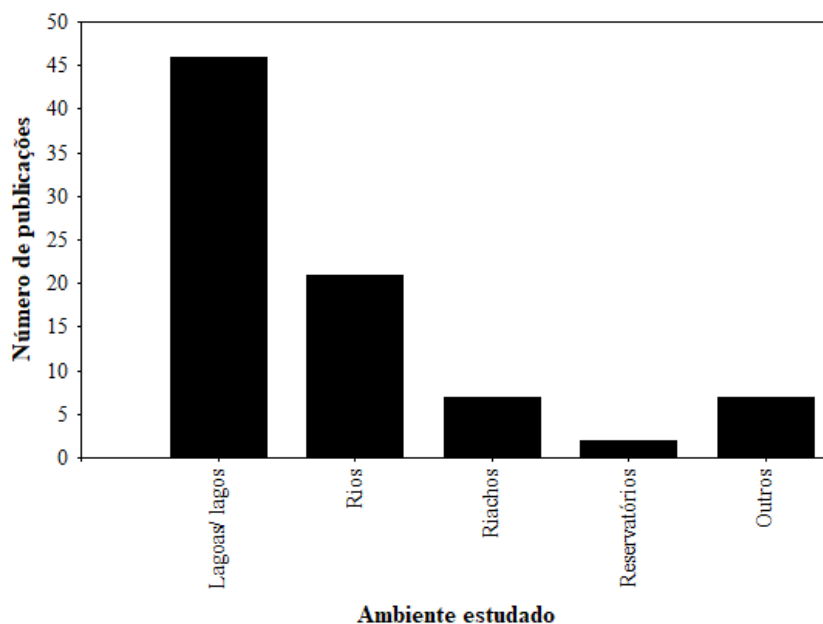


Figura 4: Ambiente estudado nas pesquisas realizadas entre 1992 e 2023 sobre o tema “macrófitas aquáticas e biodiversidade aquática”.

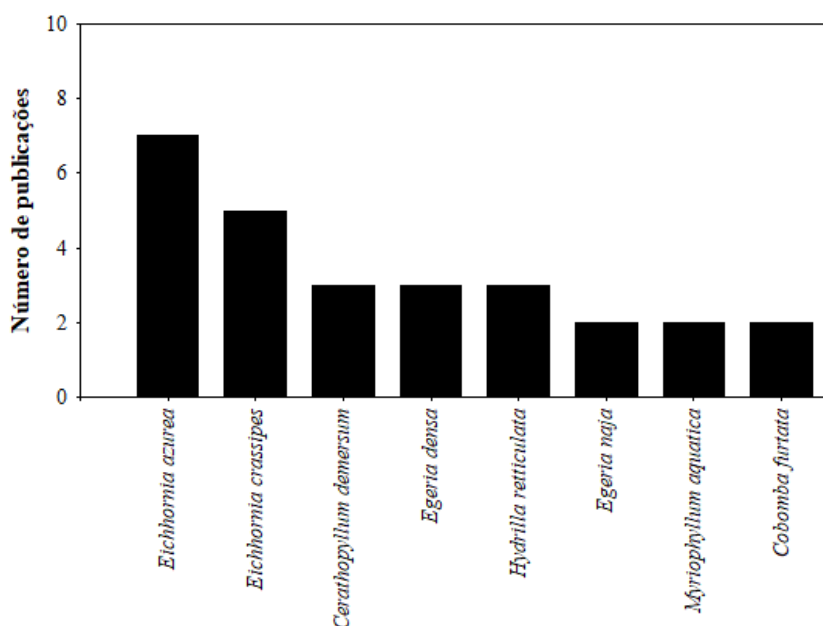


Figura 5: Espécies de macrófitas aquáticas citadas nas pesquisas realizadas entre 1992 e 2023 sobre o tema “macrófitas aquáticas e biodiversidade aquática”.

Dentre os organismos associados às macrófitas aquáticas, os macroinvertebrados foram os mais estudados (44 artigos), seguidos pelos peixes (25 artigos), zooplâncton (10 artigos), fitoplâncton (9 artigos), perifíton (5 artigos), bacterioplâncton (3 artigos) e, por fim, briozoários, répteis, anfíbios e aves (1 artigo cada) (Figura 6). Com o objetivo de

comparar o efeito das macrófitas aquáticas sobre outros organismos aquáticos, as medidas mais avaliadas foram de densidade/abundância (66 artigos), riqueza de táxons (33 artigos), aplicação de algum índice de diversidade (23 artigos), composição de táxons (9 artigos) e genética (1 artigo) (Figura 7).

A maior parte dos estudos demonstrou a relação positiva entre a presença de macrófitas aquáticas e as medidas de diversidade, densidade e composição de diferentes grupos de organismos aquáticos (65 artigos) (Figura 8). Alguns trabalhos mostraram uma relação negativa (12 publicações), enquanto outros não citaram a relação (6 publicações), ou demonstraram ausência de relação entre as macrófitas e a estrutura das comunidades aquáticas (2 publicações) (Figura 8).

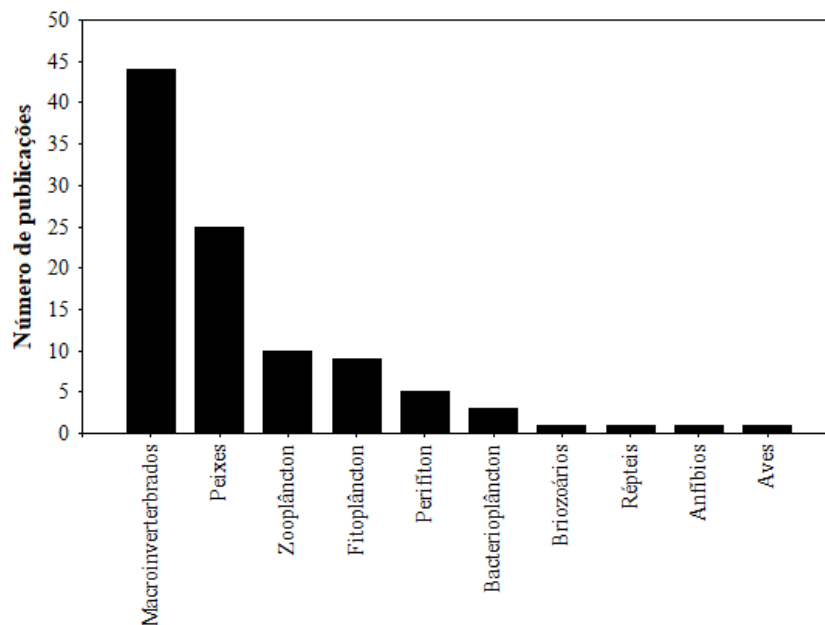


Figura 6: Grupos de organismos estudados nas pesquisas realizadas entre 1992 e 2023 sobre o tema “macrófitas aquáticas e biodiversidade aquática”.

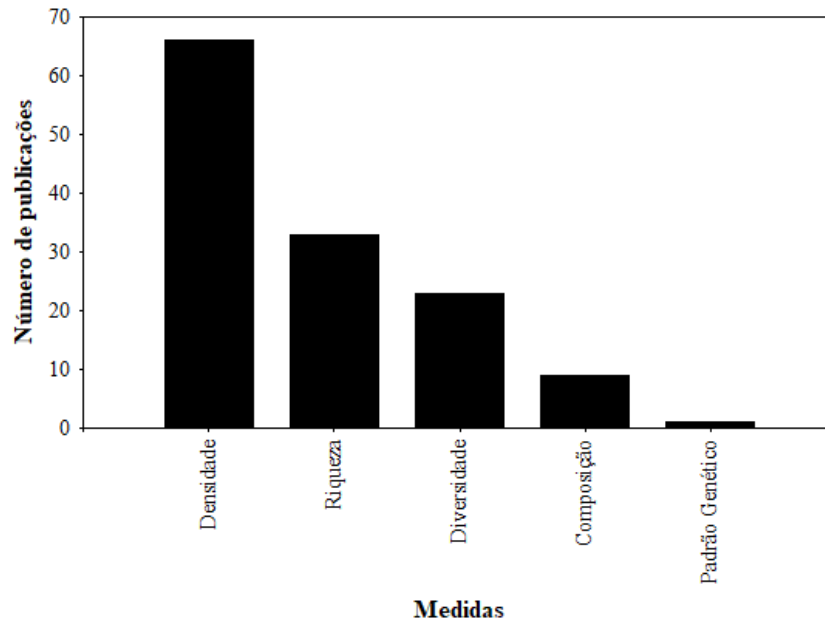


Figura 7: Medidas mensuradas nas pesquisas realizadas entre 1992 e 2023 sobre o tema “macrófitas aquáticas e biodiversidade aquática”.

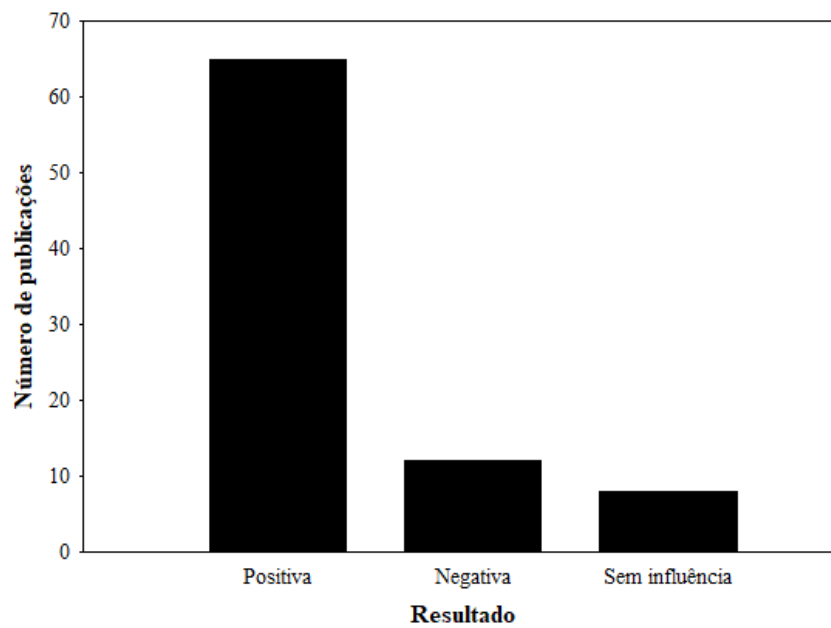


Figura 8: Relação entre a presença de macrófitas aquáticas e a estrutura das comunidades aquáticas, considerando os artigos publicados sobre o tema entre 1992 e 2023.

#### 4. Discussão

Nossos resultados demonstraram o aumento no interesse sobre o tema “macrófitas aquáticas e biodiversidade aquática” ao longo dos anos. De fato, a relação positiva, ou seja, o efeito positivo da presença das macrófitas aquáticas sobre biodiversidade aquática foi o resultado predominante nos estudos. Esse resultado corrobora os estudos que destacam a importância das plantas aquáticas como um fator de heterogeneidade ambiental, resultando em um aumento da biodiversidade aquática (Takeda et al., 2003; Thomaz & Cunha, 2010; Fontanarrosa et al., 2013).

Padial et al. (2008) em um trabalho de revisão, destacaram que a maior parte dos estudos realizados com macrófitas aquáticas estão relacionados com a relação “fator abiótico influencia as comunidades de macrófitas” ou ao tema “manejo das macrófitas”. Dessa forma, nosso estudo demonstrou um resultado importante sobre o aumento temporal no interesse do efeito destas plantas na biodiversidade aquáticas como um todo. Esse aumento no interesse dos pesquisadores pode ser resultado de um crescente interesse nos serviços ecossistêmicos fornecidos por estas plantas (Thomaz, 2023).

Nós podemos destacar os estudos produzidos no Brasil. De fato, outros estudos também destacaram a elevada produção científica de alguns países da América do Sul, como Brasil e Argentina (Hermes-Lima et al., 2007; Padial et al., 2008). O grande interesse de pesquisadores brasileiros pelas macrófitas aquáticas pode ser resultado da grande variedade de ambientes aquáticos no Brasil (lagoas, planícies de inundação, rios, reservatórios, entre outros) (Thomaz & Bini, 2003), além elevada biodiversidade destas plantas aquáticas em uma região tropical.

Nosso estudo de revisão também demonstrou algumas características interessantes destas pesquisas. Apesar de muitas espécies de macrófitas aquáticas serem estudadas, a maior parte das pesquisas foi realizada com *Eichhornia azurea* e *Eichhornia crassipes*. Provavelmente este resultado é explicado pela ampla distribuição destas espécies, além da maior “facilidade” em se trabalhar com espécies flutuantes livres, tanto em estudos empíricos quanto em estudos experimentais. Além disso, considerando os organismos associados às macrófitas aquáticas, foi possível verificar que a maior parte dos estudos se concentrou em avaliar a biodiversidade de macroinvertebrados. Santana et al. (2021) destacaram que a maior complexidade espacial causada pela morfologia das plantas aquáticas, permite a colonização de diferentes táxons de macroinvertebrados. Os microrganismos, tais como a comunidade zooplânctônica e fitoplânctônica ainda são

menos estudados. Provavelmente, o decréscimo no número de taxonomistas, principalmente, de microrganismos explique este resultado (Irfanullah, 2006). Outro fator que pode explicar este resultado seja o interesse econômico na ictiofauna e a relação direta entre macroinvertebrados e peixes, que consomem estes organismos (Diehl, 1992; Dillon, 2000).

A prevalência de estudos empíricos também evidencia a maior necessidade de estudos experimentais. Alguns trabalhos demonstraram a falta de estudos experimentais e ausência de replicabilidade nos estudos ecológicos, provavelmente devido aos maiores custos e dificuldade deste tipo de estudo (Lemoine et al., 2016), além da crítica de alguns trabalhos sobre a dificuldade na extrapolação de resultados experimentais para o sistema real (Englund & Cooper, 2003). Os estudos experimentais podem contribuir com questões atuais como por exemplo i) avaliar o efeito das mudanças climáticas em áreas com a presença de macrófitas aquáticas (maior heterogeneidade ambiental) e sem a presença destas plantas, ou seja, regiões mais homogêneas e, conseqüentemente, com menor riqueza de espécies ou ii) avaliar o efeito da presença das plantas não somente sobre a biodiversidade, mas também sobre o funcionamento dos ecossistemas. De fato, nós observamos que as variáveis mais estudadas foram os valores de densidade e riqueza.

Dessa forma, nosso trabalho demonstrou a grande contribuição dos estudos desenvolvidos até o momento, corroborando a hipótese da importância das macrófitas aquáticas para a diversidade aquática. Por outro lado, nosso estudo também deixou evidente algumas lacunas, tais como a necessidade de mais estudos experimentais, além de estudo que consigam responder questões relacionadas às funções ou serviços ecossistêmicos. Tendo em vista que os ecossistemas aquáticos podem ser considerados os mais ameaçados pelas atividades humanas, resultando em grande perda de diversidade (Reid et al., 2018), a maior compreensão sobre os fatores que podem resultar em um aumento na biodiversidade aquáticas são extremamente importantes e o uso destas plantas aquáticas em técnicas de manejo ou restauração devem ser consideradas.

## **5. Referências**

- Diehl, S., 1992. Fish predation and benthic community structure – The role of omnivory and habitat complexity. *Ecology*, 73, 1646–1661. <https://doi.org/10.2307/1940017>
- Dillon, R. T., 2000. *The ecology of freshwater molluscs*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.

- Englund, G., & Cooper, S.D., 2003. Scale effects and extrapolation in ecological experiments. *Advances in Ecological Research*, 33, 161-213.
- Fontanarrosa, M.S., Chaparro, G.N., & O'Farrell, I., 2013. Temporal and spatial patterns of macroinvertebrates associated with small and medium-sized free-floating plants. *Wetlands*, 33, 47–63. <https://doi.org/10.1007/s13157-012-0351-3>
- Irfanullah, H.M., 2006. Algal taxonomy in limnology: an example of the declining trend of taxonomic studies? *Hydrobiologia*, 559, 1–9. doi 10.1007/s10750-005-9202-z
- Hermes-Lima, M., Santos, N.C.F., Alencastro, A.C.R., & Ferreira, S.T., 2007. Whither Latin America? Trends and Challenges of Science in Latin America. *IUBMB Life*, 59, 199-210.
- Lemoine, N.P., Hoffman, A., Felton, A.J., Baur, L., Chaves, F., Gray, J., Yu, Q., Smith, M.D., 2016. Underappreciated problems of low replication in ecological field studies. *Ecology*, 97, 2554-2561. <https://doi.org/10.1002/ecy.1506>
- Li, H., & Reynolds, J.F., 1995. On definition and quantification of heterogeneity. *Oikos*, 73(2), 280-284. <https://doi.org/10.2307/3545921>
- Nabout, J.C., Carvalho, P., Prado, M.U., Borges, P.P., Machado, K.B., Haddad, K.B., Michelin, T.S., Cunha, H.F., & Soares, T. N., 2012. Trends and biases in global climate change literature. *Natureza & Conservação*, 10(1), 45-51. <http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2012.008>
- Nabout, J.C., Machado, K.B., David, A.C.M., Mendonça, L.B.G., Silva, S.P.D., & Carvalho, P., 2023. Scientific literature on freshwater ecosystem services: trends, biases, and future directions. *Hydrobiologia*, 850(12), 2485-2499. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05012-6>
- Nakagawa, S., Samarasinghe, G., Haddaway, N.R., Westgate, M.J., O'Dea, R.E., Noble, D. W., & Lagisz, M., 2019. Research weaving: visualizing the future of research synthesis. *Trends in Ecology and Evolution*, 34(3), 224–238.
- Padial, A.A., Bini, L.M., Thomaz, S.M., 2008. The study of aquatic macrophytes in Neotropics: a scientometrical view of the main trends and gaps. *Braz. J. Biol.*, 68, 1051-1059. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500012>
- Petersen, A.C.G., 2023. Papel das macrófitas aquáticas na distribuição espacial de macroinvertebrados bentônicos. *Revista Foco*, 16(02), e889-e889. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n2-036>

- Reid, H.E., Brierley, G.J., & Boothroyd, I.K.G., 2010. Influence of bed heterogeneity and habitat type on macroinvertebrate uptake in peri-urban streams. *International Journal of Sediment Research*, 25(3), 203-220.
- Reid, A.J., Carlson, A.K., Creed, I.F., Eliason, E.J., Gell, P.A., Johnson, P.T.J., Kidd, K.A., MacCormack, T.J., Olden, J.D., Ormerod, S.J., Smol, J.P., Taylor, W.W., Tockner, K., Vermaire, J.C., Dudgeon, D., Cooke, S.J., 2018. Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biol Ver Camb Philos Soc.*, 94, 849–873. <https://doi.org/10.1111/brv.12480>
- Santana, M.S., dos Santos, C.B., & Mitsuka, P.M., 2021. Composição de macroinvertebrados associados a macrófitas aquáticas como parâmetro para avaliação da qualidade da água de um reservatório no semiárido baiano. *Biotemas*, 34(3), 1. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2021.e78598>
- Silva, W.M., & Perbiche-Neves, G., 2016. Trends in freshwater microcrustaceans studies in Brazil between 1990 and 2014. *Brazilian Journal of Biology*, 77, 527-534. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.17915>
- Takeda, A.M., Souza-Franco, G.M., Melo, S.M., & Monkolski, A., 2003. Invertebrados associados às macrófitas aquáticas da planície de inundação do alto rio Paraná (Brasil). In Thomaz, S.M., & Bini, L.M. (eds.), *Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas*. Maringá: Eduem.
- Thomaz, S.M., & Bini, L.M., 2003. *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. Maringá: EDUEM.
- Thomaz, S.M., & Cunha, E.R.D., 2010. The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition and biodiversity. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 22, 218-236. <https://doi.org/10.4322/actalb.02202011>
- Thomaz, S.M., Kovalenko, K.E., Havel, J.E., & Kats, L.B., 2015. Aquatic invasive species: general trends in the literature and introduction to the special issue. *Hydrobiologia*, 746, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2150-8>
- Thomaz, S.M., 2023. Ecosystem services provided by freshwater macrophytes. *Hydrobiologia*, 850, 2757–2777. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04739-y>