

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí
Programa de Pós-Graduação em Conservação de
Recursos Naturais do Cerrado

**FATORES LOCAIS DETERMINAM A
AUSÊNCIA DE SINCRONIA DO
ZOOPLÂNCTON EM UM RESERVATÓRIO
TROPICAL**

CLÁUDIA FÉLIX DE ALMEIDA

Orientador(a): Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva

Coorientador(a): Dr^a Sarah Lodi de Carvalho Spacek

Urutaí, 29 de agosto de 2023.



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Reitor

Prof. Dr. Elias de Pádua Monteiro

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. Alan Carlos da Costa

Campus Urutaí

Diretor Geral

Prof. Dr. Paulo César Ribeiro Cunha

Diretor de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva

Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado

Coordenadora

Prof. Dr. Débora Astoni Moreira

Urutaí, 29 de agosto de 2023

CLÁUDIA FÉLIX DE ALMEIDA

**FATORES LOCAIS DETERMINAM A AUSÊNCIA DE SINCRONIA DO
ZOOPLÂNCTON EM UM RESERVATÓRIO TROPICAL**

Orientador

Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva

Coorientadora

Dr^a Sara Lodi de Carvalho Spacek

Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano –
Campus Urutaí, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais
do Cerrado para obtenção do título de Mestre.

Urutaí (GO)

2023

Os direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

ISSN XX-XXX-XXX

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

FC615f Félix de Almeida, Cláudia
FATORES LOCAIS DETERMINAM A AUSÊNCIA DE SINCRONIA
DO ZOOPLÂNCTON EM UM RESERVATÓRIO TROPICAL / Cláudia
Félix de Almeida; orientador Daniel de Paiva Silva
; co-orientador Sarah Lodi de Carvalho Spacek. --
Urutaí, 2023.
64 p.

Tese (Doutorado em Mestrado em Conservação dos
Recursos Naturais do Cerrado) -- Instituto Federal
Goiano, Campus Urutaí, 2023.

1. lagos. 2. limnologia. 3. plâncton. 4. dinâmica
populacional. I. de Paiva Silva, Daniel, orient.
II. Lodi de Carvalho Spacek, Sarah, co-orient. III.
Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 n°2376

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input checked="" type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: jogo didático intitulado “Jogo Plâncton”. | |

Nome Completo do Autor: Cláudia Félix de Almeida

Matrícula: 2021101330940028

Título do Trabalho: Fatores Locais Determinam a Ausência de Sincronia do Zooplâncton em um Reservatório Tropical

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 17/08/2023

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.



Catalão, 17/10/2023.

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 90/2023 - CREPG-UR/DPGPI-UR/CMPURT/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE MESTRADO

Aos vinte e nove dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e três, às quinze horas, reuniram-se os membros da banca examinadora em sessão pública realizada virtualmente para proceder à avaliação da defesa de Trabalho de Conclusão de Curso de mestrado profissional, de autoria de **Cláudia Félix de Almeida**, discente do **Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado do Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí**, com trabalho intitulado "**Fatores Locais Determinam a Ausência de Sincronia em um Reservatório Tropical**". A sessão foi aberta pelo presidente da banca examinadora, **Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva**, que fez a apresentação formal dos membros da banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor para, em até 40 minutos, proceder à apresentação de seu Trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o candidato, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação pela banca. Tendo-se em vista o Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado, o Trabalho de Conclusão de Curso foi **APROVADO**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**, na área de concentração em **Ciências Ambientais**, pelo Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado da versão definitiva do Trabalho de Conclusão de Curso, com as devidas correções apontadas pela banca e orientador. Assim sendo, a defesa perderá a validade se não cumprida essa condição em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. Cumpridas as formalidades, a presidência da banca avaliadora encerrou a sessão de defesa e, para constar, foi lavrada a presente ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da banca examinadora.

Membros da Banca Examinadora:

Nome	Instituição	Situação no Programa
Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva	IF Goiano	Orientador/Presidente
Prof. Estevão Alves da Silva	IF Goiano	Membro interno

Profª. Drª. Sara Lodi de Carvalho
Spacek

UFPA

Membro externo

Prof. Dr. Bruno Spacek Godoy

UFPA

Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- Bruno Godoy, Bruno Godoy - 2030 - PESQUISADORES DAS CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - Instituto Federal Goiano (1), em 29/08/2023 17:22:09.
- Sara Lodi de Carvalho Spacek, Sara Lodi de Carvalho Spacek - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano (1), em 29/08/2023 17:21:28.
- Estevo Alves da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 29/08/2023 17:19:18.
- Daniel de Paiva Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 29/08/2023 17:17:56.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 29/08/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 526307

Código de Autenticação: 7fdc555b2a



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Urutá
Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, SN, Zona Rural, URUTAÍ / GO, CEP 75790-000
(64) 3465-1900



FICHA DE APROVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Título da dissertação:	FATORES LOCAIS DETERMINAM A AUSÊNCIA DE SINCRONIA ZOOPLÂNCTON EM UM RESERVATÓRIO TROPICAL
Orientador(a):	Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva
Coorientador(a):	Dr^a Sarah Lodi de Carvalho Spacek
Autor(a):	Cláudia Félix de Almeida

Dissertação de Mestrado **APROVADA** em 29 de agosto de 2023, como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**, pela Banca Examinadora especificada a seguir.

Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva
Orientadora, IF Goiano – Campus Urutaí
Presidente

Prof. Dr. Estevão Alves da Silva
IF Goiano – Campus Urutaí
Membro titular

Prof. Dr. Bruno Spacek Godoy
Universidade Federal do Pará
Membro titular

*“O homem não é nada além daquilo
que a educação faz dele .”*

(Immanuel Kant)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus, que me deu forças para alcançar mais esse objetivo.

Ao Instituto Federal Goiano – Câmpus Urutaí, que por meio do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais do Cerrado, contribuiu com o meu desenvolvimento acadêmico.

Ao meu orientador, Professor Dr. Daniel de Paiva Silva, por toda a paciência, confiança e empenho com que sempre me orientou e apoiou neste trabalho.

Ao meu esposo, pais e irmã, por me manter firme em minha meta e me lembrar todos os dias que eu sou capaz, com muito companheirismo me incentivaram na conclusão de mais um projeto para a vida.

Ao meu pequeno filho, a minha vontade de fornecer o melhor para ele me encorajou a retornar aos estudos. Obrigada pelo companheirismo nas noites de estudo, mesmo que em diversos momentos perdia a concentração, a sua alegria e amor me fortaleceram nos momentos mais difíceis.

À empresa Serra do Facão Energia S. A. e meus colegas de trabalho, por me permitirem realizar mais esta conquista, através do apoio e disponibilização dos dados para a Dissertação, contribuindo para o conhecimento científico e para o meu crescimento profissional.

Gostaria de expressar um agradecimento especial à minha coorientadora Dr^a. Sara Lodi de Carvalho Spacek pela parceria no desenvolvimento deste trabalho, orientando-me e apontando correções com delicadeza em sua condução. Sua motivação generosa me ajudou a atravessar dúvidas. Por fim, agradeço seu apoio, confiança, olhar atento e interessado pelo meu projeto de pesquisa, apresentado aqui na forma de dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	12
RESUMO	13
ABSTRACT	14
1. INTRODUÇÃO	15
2. MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1. Área de estudo	17
2.2. Dados coletados	18
2.3. Análises estatísticas	22
3. RESULTADOS	24
3.1. Sincronia Espacial	24
3.2. Direcionadores de Sincronia Espacial	25
4. DISCUSSÃO	29
4.1. Sincronia Espacial	29
4.2. Sincronia Biológica e Determinantes Ambientais	29
4.2.1. Distância Geográfica	29
4.2.2. Operação do Reservatório e Clima	30
4.3. Variáveis Limnológicas	31
4.4. CONCLUSÃO	34
5. REFERÊNCIAS	35
ANEXO I – MATERIAL SUPLEMENTAR I	40
ANEXO II – MATERIAL SUPLEMENTAR II	42
ANEXO III– Produto Técnico -Tecnológico (PTT)	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização dos pontos de coleta no reservatório da UHE Serra do Facão.	21
Figura 2: Representação esquemática das análises de sincronia e teste de mantel. O P representa os pontos amostrados, T a escala temporal, B a matriz de sincronia biológica aplicada para 3 táxons: espécies, gêneros e Grupos, G a matriz de distância geográfica, C a matriz de sincronia climática, E a matriz de sincronia ambiental geral e R a matriz de sincronia dos dados operacionais do reservatório.	23
Figura 3: Valores dos níveis médios de sincronia e respectivos intervalos de confiança (IC) baseado em correlação de Spearman das espécies de zooplâncton coletadas no reservatório da Serra do Facão. Os dados consideram a significância de $P < 0,05$	24
Figura 4: Valores dos níveis médios de sincronia e respectivos intervalos de confiança (IC) baseado na correlação de Spearman das espécies de zooplâncton coletadas no reservatório da Serra do Facão Energia S. A. Considerando a significância de $P < 0,05$	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição e localização das estações de amostragem da comunidade zooplanctônica e das variáveis limnológicas na UHE SEFAC. As coordenadas geográficas latitude e longitude estão apresentadas no sistema Universal Transversa de Mercator (UTM).	19
Tabela 2. Variáveis ambientais monitoradas no reservatório da UHE Serra do Facão e agrupadas conforme sua natureza com suas respectivas unidades de medida. Siglas que poderão ser usadas ao longo do texto também estão descritas.	19
Tabela 3 - Valores de abundância dos grupos (ind.m^{-3}), níveis médios de sincronia e respectivos \pm intervalos de confiança (IC) baseado na correlação de Spearman das espécies de zooplâncton coletadas no reservatório da Serra do Facão Energia S. A.	25
Tabela 4 – Valores de correlação do teste de Mantel entre os valores de sincronia das espécies e as variáveis explanatórias: variáveis físicas (E_2), e variáveis de produtividade (E_4), considerando os que tiveram significância de $P < 0,05$. Valores em negrito indicam valores significativos.	26
Tabela 5 – Valores de correlação do teste de Mantel entre os gêneros e variáveis explanatórias: variáveis físicas (E_2) e variáveis de produtividade (E_4), considerando os que tiveram significância de $P < 0,05$. Valores em negrito indicam valores significativos.	27
Tabela 6 – Valores de correlação do teste de Mantel entre os grupos de zooplâncton e variáveis explanatórias: variáveis físicas (E_2) e variáveis de produtividade (E_4), considerando os que tiveram significância de $P < 0,05$. Valores em negrito indicam valores significativos.	28

RESUMO

Estudos de sincronia espacial contribuem para o conhecimento das dinâmicas populacionais no decorrer do tempo. As comunidades zooplancônicas são excelentes modelos para estudos de sincronia, principalmente em lagos, onde espera-se alta conectividade. Estudamos a sincronia espacial desses organismos no reservatório da Usina Hidrelétrica Serra do Facão, localizada no rio São Marcos da Bacia do Alto Paranaíba, sudeste goiano, e sua correlação com matrizes de variáveis ambientais limnológicas, climatológicas e operacionais do reservatório, e uma matriz euclidiana de distância geográfica. Para tanto, foram utilizados dados de 10 pontos de amostragem, uma estação climatológica e dados operacionais do site da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), coletados durante os anos de 2016 a 2022, sumarizados por análise de componentes principais (PCAs) antes da geração das matrizes por estimativas dos coeficientes de correlação de Spearman. Por último, a matriz de sincronia biológica foi correlacionada com as demais matrizes através do teste de Mantel. Todos os táxons apresentaram ausência de sincronia. Verificamos também que a dispersão não foi importante. Os táxons mais abundantes (grupos, gêneros e espécies) apresentaram correlação com as variáveis limnológicas físicas e de produtividade, com destaque para os grupos Copepoda e Cladocera, indicando a existência de uma dinâmica compensatória no sistema, onde fatores locais (i.e. antrópicos) são preponderantes na ausência de sincronia espacial. Corroborando com isso, constatamos que a baixa variação dos dados operacionais e não cíclica pode atuar como fator regionalizado independente da densidade, limitando os efeitos do clima na sincronia. Os conhecimentos adquiridos no presente trabalho serão importantes para a avaliação de tomada de decisões frente a possíveis impactos no reservatório em questão, inclusive quanto a necessidade de revisão da malha amostral, além de servir como fonte de informação para estudos em outros reservatórios.

Palavras-chave: lagos, limnologia, plâncton, dinâmica populacional.

ABSTRACT

Spatial synchrony studies contribute to understanding population dynamics over time. Zooplankton communities are excellent models for synchrony studies, especially in lakes, where high connectivity is expected. We studied the Spatial synchrony of these organisms in the reservoir of the Serra do Facão Hydroelectric Power Plant, located on the São Marcos River in the Alto Paranaíba Basin, southeast Goiás, and its correlation with matrices of limnological, climatological and operational variables of the reservoir, and a Euclidean matrix of geographical distance. To this end, data from 10 sampling points, a climatological station and operational data from the website of the National Water and Sanitation Agency (ANA), collected during the years 2016 to 2022, summarized by a principal component analysis (PCAs) before the matrices were generated by estimating Spearman's correlation coefficients. Finally, the biological synchrony matrix was correlated with the other matrices using the Mantel test. Synchrony was not significant for any taxa. All the taxa showed lack of synchrony. We also found that dispersal was not important. The most abundant taxa (groups, genera and species) were correlated with the physical limnological and productivity variables, especially the Copepoda and Cladocera groups, indicating the existence of a compensatory dynamic in the system, where local factors (i.e. anthropogenic) are preponderant in the occurrence of absencespatial synchrony. Corroborating this, we found that the low variation in non-cyclical operational data can act as a regionalized factor independent of density, limiting the effects of climate on synchrony. The knowledge acquired in this study will be important for evaluating decisions regarding possible impacts on the reservoir in question, including the need to revise the sampling mesh, it will also serve as a source of information for studies in other reservoirs.

Keywords: lakes, limnology, plankton, population dynamics

1. INTRODUÇÃO

A sincronia espacial estuda a estrutura de correlação temporal de populações biológicas ou ambientais entre diferentes locais, e pode ser definida como coerência temporal quando aplicada a variáveis abióticas (BJØRNSTAD et al., 1999; KENT et al., 2007). Análises de sincronia espacial podem trazer contribuições interessantes à ecologia, dentre as quais o aumento no conhecimento de fatores que podem influenciar e controlar as densidades populacionais, e a verificação dos riscos de extinção de espécies (GRIFFEN et al., 2009). Tais informações são relevantes na definição e gerenciamento de áreas de conservação e na elaboração de modelos eficientes de monitoramento.

Devido à sua relevância, a sincronia espacial tem sido amplamente estudada, abrangendo diferentes grupos de organismos, ecossistemas, e escalas temporais e espaciais (LASKY et al., 2016; LIMA-RIBEIRO et al., 2007; LODI et al., 2014; POWNEY et al., 2010). Elevados níveis de sincronia podem possibilitar que sejam feitas previsões sobre as dinâmicas populacionais. Quando a sincronia espacial entre locais é elevada, é possível extrapolar informações das populações (e.g., densidade) para escalas maiores. Por outro lado, mesmo valores de sincronia mais baixos trazem interpretações importantes acerca das dinâmicas populacionais e dos fatores que regulam flutuações.

Fatores ambientais regionalizados (ou extrínsecos) e locais (ou intrínsecos) funcionam como importantes reguladores de comunidades aquáticas (BJØRNSTAD et al., 1999; LANSAC-TÔHA et al., 2008). Fatores regionais como a dispersão (RINKE et al., 2009; THOMPSON et al., 2015), variações no nível d'água (MITSUKA & HENRY, 2002; GRANZOTTI et al., 2022) e fatores climáticos (e.g., temperatura e precipitação; efeito Moran)(MORAN, 1953) já foram relatados como responsáveis por sincronizar populações de organismos aquáticos em corpos d'água (THOMPSON et al., 2015; ZANON et al., 2019). Estes fatores regionais exercem um efeito que é comum em locais a uma extensão espacial ampla e assim tendem a homogeneizar populações espacialmente, de modo que conforme variáveis regionais oscilam, as populações sensíveis a tais variações mudam conjuntamente, apesar da distância espacial (i.e., mostra um padrão de oscilação sincrônica; BJØRNSTAD et al., 1999; MORAN, 1953). Mesmo que fatores regionais não exerçam uma pressão grande o suficiente para determinar altos valores de sincronia, a dispersão também pode causar o efeito de elevar seus níveis resultante do aumento da conectividade do sistema (HEINO et al., 1997). Por outro lado, fatores locais (e.g., variáveis limnológicas) e fatores biológicos (e.g., competição) tendem a reduzir a sincronia espacial por tornar as populações mais únicas ao longo do espaço (JIANG,

2009; KENT et al., 2007; LODI et al., 2014; XU et al., 2012).

Populações altamente sincrônicas em ambientes homogêneos e/ou altamente conectados, como lagos, podem apresentar potenciais riscos de extinção. (HEINO et al., 1997). Reservatórios são contínuos e aparentemente homogêneos. Entretanto, variáveis limnológicas de reservatórios de hidrelétricas podem variar principalmente devido às alterações no nível da água que são frequentes e de natureza antrópica (GODOY et al., 2023), e à heterogeneidade ambiental inerente ao sistema (e.g., braços do reservatório). Além disso, estudos têm mostrado a existência de maiores valores de sincronia espacial principalmente entre pontos adjacentes a barragens ou com características limnológicas semelhantes, que pode diminuir conforme os pontos se distanciam e pelo efeito da diminuição da dispersão (KOENIG 2002; LANSAC-TÔHA et al., 2008).

Elevados níveis de sincronia espacial mesmo entre locais distantes são consistentes com a atuação do efeito Moran. O efeito Moran sugere que duas populações distribuídas regionalmente e que compartilham a mesma estrutura de dependência da densidade, tendem a flutuar em sincronia sob a influência de variações ambientais comuns que atuam padronizando as flutuações populacionais, podendo influenciar a dispersão e interação de espécies de forma direta ou indireta (HANSEN et al., 2020; KOENIG, 1999 e 2002). Por outro lado, a primeira lei de Tobler estabelece que "Todas as coisas estão relacionadas com todas as outras, mas coisas próximas estão mais relacionadas do que coisas distantes" (TOBLER, 1970). Logo, habitats mais distantes geograficamente podem ter um menor efeito Moran uma vez que fatores que interferem na densidade podem variar conforme as características dos ambientes mudam (WALTER et al., 2017).

A comunidade zooplanctônica, constituída principalmente de Protistas, Rotíferas e Crustáceos, ocupa um importante nível trófico na cadeia alimentar dos ambientes aquáticos e abrange organismos consumidores primários que se alimentam de fitoplâncton e predadores. Estes organismos são fundamentais para a manutenção do funcionamento do ecossistema e fluxo de energia de um reservatório. Desta forma, a comunidade zooplanctônica contribui para a manutenção da qualidade da água e compreende bioindicadores ambientais, pois apresentam resposta rápida a variações no ambiente e podem indicar, por exemplo, um processo de eutrofização em reservatórios (DODSON et al., 2000; VINEBROOKE, et al., 2003). Desta forma, comunidades zooplanctônicas são excelentes modelos para estudar a dinâmica temporal de populações aquáticas, incluindo as pesquisas sobre padrões de sincronia espacial e os fatores locais e regionais reguladores. Em reservatórios processos de transporte tendem a aumentar a

conectividade, os tornando modelos de sistemas úteis para estudar a sincronia de populações (LODI et al., 2014; VIEIRA et al., 2019).

Neste estudo analisamos os padrões de séries temporais da comunidade zooplanctônica considerando as variações limnológicas, climáticas e operacionais do reservatório monitoradas, e a distância entre os pontos no reservatório da usina hidroelétrica (UHE) Serra do Facão (SEFAC). Este reservatório se encontra em uma bacia sem centros urbanos, mas com a presença de agricultura intensiva em vários pontos da bacia, sugerindo a necessidade de se realizar monitoramentos ambientais. Nosso objetivo foi verificar a existência de sincronia espacial para diferentes resoluções taxonômicas da comunidade zooplanctônica e possíveis fatores determinantes dos valores de sincronia encontrados. O sistema monitorado é contínuo (um reservatório), altamente conectado e tem 10 anos de formação (i.e., um ambiente estável). Logo, esperávamos elevados valores de sincronia por entender que a taxa de dispersão seria elevada no sistema (LANSAC-TÔHA et al., 2008). Esperávamos também um efeito do clima impulsionando essa homogeneização regional (efeito Moran), possivelmente associado a variáveis que estimulam a produtividade biológica, uma vez que a precipitação aumenta o escoamento superficial de áreas ao redor do reservatório. Neste caso, o escoamento superficial seria uma fonte difusa de nutrientes e outros compostos utilizados na agricultura intensiva. Considerando os riscos de extinções em populações sincronizadas (HEINO et al., 1997), os conhecimentos adquiridos no trabalho servirão como subsídio para a tomada de decisões quanto a ações que visam preservar as populações e otimizar os monitoramentos, além de servir de base para estudos de sincronia deste e de outros grupos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido no Aproveitamento Hidrelétrico (AHE) Serra do Facão (SEFAC), situado no sudeste goiano na bacia do rio São Marcos, e abrange cinco municípios goianos: Catalão, Campo Alegre de Goiás, Davinópolis, Ipameri e Cristalina, e o município de Paracatu, no estado de Minas Gerais. As extremidades do eixo da barragem correspondem as terras dos municípios de Catalão, na margem direita, e Davinópolis, na margem esquerda. A montante do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) SEFAC está localizada a UHE Batalha no rio São Marcos e à jusante após o ajuntamento das águas do rio São Marcos com o rio Paranaíba, está a UHE Emborcação. O reservatório da UHE SEFAC possui uma área inundável de 218,84 km de extensão e está localizado na região da bacia do rio São Marcos. O tipo de

vegetação predominante se encontra no domínio do Cerrado, a região é caracterizada por apresentar alta produtividade de grãos (principalmente soja e milho) com intensa irrigação por pivôs, criação bovinos de corte e de leite, e plantios de eucalipto e pinus (MARTINS, 2017; REIS et al., 2017). Portanto, o reservatório em questão é uma importante fonte de água para a realização das atividades supracitadas e para a manutenção da fauna e flora terrestre e aquática da região.

O clima da região é tropical com estação seca (Köppen Aw). O estado de Goiás apresenta duas estações bem definidas, sendo uma quente e seca (abril a setembro) e a outra chuvosa (outubro a março) com temperatura média de 24.6 °C e pluviosidade média anual de 1500 mm (Clima Data, 2022). De acordo com a classificação dos corpos de água doces de águas superficiais e diretrizes ambientais para o seu enquadramento disposto na Resolução CONAMA N°357/05, as águas da bacia do rio São Marcos apresentam boa qualidade, enquadrando-se nas Classes 1 e 2 dos padrões estabelecidos (CUNHA, 2019).

2.2. Dados coletados

Os dados foram obtidos de um monitoramento limnológico realizado em atendimento a condicionante específica do órgão licenciador IBAMA, que contempla coletas de amostras para identificação do zooplâncton a nível de espécie e dos parâmetros físicos e químicos da água. O trabalho abrangeu 10 campanhas amostrais semestrais (novembro/2016 a maio/2022), um total de 65 espécies pertencentes a 37 gêneros e 20 famílias de zooplâncton, distribuídas entre os principais grupos (i.e., Cladóceros, Rotíferos, Copépodes).

Foram monitorados 10 pontos em trechos próximos ao barramento, médio e final do reservatório da UHE SEFAC (Tabela 1 e Figura 1). Os parâmetros físicos e químicos foram coletados nos mesmos pontos da coleta de zooplâncton, metade da zona fótica, com o uso de uma sonda multiparamétrica (pH, temperatura do ar e da água e condutividade elétrica) e de coleta de amostra de água para posterior análise em laboratório. As amostras foram coletadas, preservadas e acondicionadas de acordo com procedimentos internos baseados no método 1060 e 9060 do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 22^aed e 23^aed). Os dados climáticos foram obtidos da estação climatológica na UHE SEFAC localizada no início de trecho médio do reservatório. Os dados do funcionamento do reservatório foram obtidos do site da Agência Nacional de Águas (ANA) no Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR). A lista das variáveis limnológicas, climáticas e operacionais coletadas está disponível na

Tabela 2.

Tabela 1: Descrição e localização das estações de amostragem da comunidade zooplancônica e das variáveis limnológicas na UHE SEFAC. As coordenadas geográficas latitude e longitude estão apresentadas no sistema Universal Transversa de Mercator (UTM).

Pontos	zona do reservatório	Coordenada Geográfica	
		Latitude	Longitude
Sf3	Inicial	217237	8002922
Sf4	intermediária	216191	8018048
Sf5	Final	219691	8047078
Sf10	Inicial	220483	8003493
Sf11	Inicial	211974	8008966
Sf12	Inicial	213073	8014999
Sf13	intermediária	220083	8021360
Sf14	intermediária	213501	8021901
Sf15	intermediária	216361	8028316
Sf16	intermediária	219411	8031419

Tabela 2. Variáveis ambientais monitoradas no reservatório da UHE Serra do Facão e agrupadas conforme sua natureza com suas respectivas unidades de medida. Siglas que poderão ser usadas ao longo do texto também estão descritas.

Grupo	Variável	Unidade	Sigla
Iônicas	Condutividade	$\mu\text{S/cm}$	Cond
	pH	-	-
	Alcalinidade	mg/L	Alk
Produtividade	Oxigenio Dissolvido	mg/L	OD
	Clorofila- <i>a</i>	$\mu\text{g/L}$	Cl- <i>a</i>
	Fósforo total	mg/L	PT
	Nitrato	mg/L	NO_3^-
	Nitrogênio amoniacal	mg/L	Amonia
	Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	DBO
	Microcistina	mg/L	micro
	Químicas	Óleos graxos	
Surfactantes		mg/L	-
Demanda Química de Oxigênio		mg/L	DQO
Ferro		mg/L	Fe
Cloretos		mg/L	-
Sulfato		mg/L	SO_4^{2-}
Cobre Solúvel		mg/L	Cu

Grupo	Variável	Unidade	Sigla
	Fenois	mg/L	-
	Manganes	mg/L	Mg
Físicas	Turbidez	NTU	Turb
	Cor	mg/L	-
	Sólidos Suspensos Totais	mg/L	SST
	Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	STD
	Transparência	-	Transp
Climáticas	Temperatura	°C	-
	Umidade	%	-
	Pressão	hPa	-
	Radiação	w/m ²	-
	Precipitação	mm	-
Operação do reservatório	Volume	%	-
	Cota	m	-
	Afluência	m ³ /s	-
	Defluência	m ³ /s	-
	Vão turbinada	m ³ /s	-
	Vazão natural	m ³ /s	-

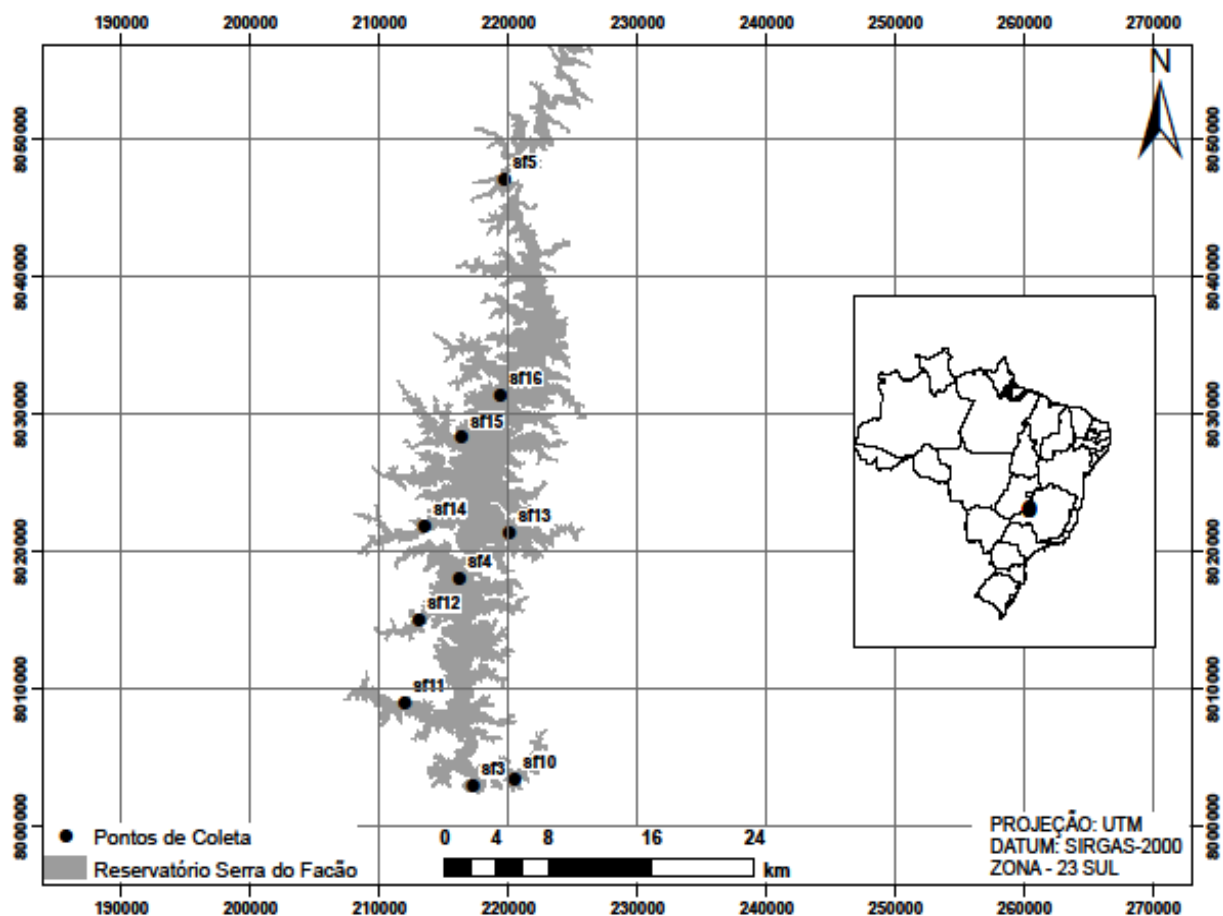


Figura 1: Localização dos pontos de coleta no reservatório da UHE Serra do Facão.

A densidade dos organismos foi quantificada em ind.m^{-3} . Os indivíduos foram identificados, sempre que possível, até o nível taxonômico de espécie, utilizando as chaves disponíveis e com o auxílio de bibliografia básica, tais como: Alves et al. (2007), Deflandre (1928, 1929), Gauthier-Lièvre & Thomas (1958, 1960), Vucetich (1973), Koste (1978), Reid (1985), Segers (1995), Velho & Lansac-Tôha (1996), Velho et al. (1996) Velho & Lansac-Tôha (1996), Elmoor-Loureiro (1997) e Souza (2008).

Os dados bióticos e abióticos tiveram pequenas variações quanto à metodologia, principalmente no que se refere à forma de conservação (Material Suplementar I). No entanto, todos são métodos reconhecidos para este tipo de amostragem. Apesar de serem empresas diferentes, optamos por manter o esforço temporal pois entendemos que é preferível manter um maior número de réplicas temporais a excluí-las. Consideramos tais diferenças metodológicas como um ruído que seria diluído nas análises estatísticas. Além do mais a maioria das campanhas foram realizadas seguindo um método único.

2.3. Análises estatísticas

Os dados de densidade foram usados em diferentes resoluções taxonômicas (i.e., espécies, gêneros e grupos taxonômicos) para reduzir o excesso de zeros e tornar padrões mais claros. Além disso, a avaliação em diferentes resoluções taxonômicas pode contabilizar efeitos de compensação, previstos como frequentemente ausentes em comunidades naturais (HOULAHAN et al., 2007). Dado o elevado número de espécies presentes no nosso banco de dados, foi realizada uma seleção onde apenas espécies e gêneros com mais de 25% de abundância dentre os pontos foram incluídos (LEGENDRE & LEGENDRE, 2012, LOPES et al., 2018). Seguindo esse critério realizamos as análises com 13 espécies e 13 gêneros. Neste total, estão inclusas também as formas larvais e juvenis como entidades taxonômicas.

Estimamos os coeficientes de correlação de Spearman ($b_{i,j}$) entre as séries temporais obtidas para os pares de pontos de coleta (i,j) para espécies, gêneros e grupos taxonômicos (rotífera, cladocera e copepoda), obtendo assim matriz de correlação \bar{B} (função `mSynch()` do pacote `ncf`) (BJØRNSTAD et al., 1999). A significância da correlação média de cada unidade taxonômica foi estimada avaliando intervalos de confiança definidos por Monte Carlo (i.e., bootstrap, BJØRNSTAD et al., 1999, MANLY & ALBERTO, 2008). Os valores de sincronia variam de -1 a 1 . Quando próximos de 0 indicam ausência de sincronia, enquanto valores mais próximos de 1 ou -1 , indicam relações positivas ou negativas de sincronia, respectivamente.

A PCA foi executada para reduzir a dimensionalidade de cada matriz de dados ambientais, usando os dados brutos (sem padronização), uma vez que a redução do número de variáveis que buscamos visava manter a variação original dos dados, representando de forma mais fidedigna as diferenças entre as unidades amostrais (MANLY & ALBERTO, 2008).

Por conseguinte, os coeficientes de correlação também foram calculados para as variáveis climáticas ($c_{i,j}$) dando origem à matriz \bar{C} , ambientais limnológicas ($e_{i,j}$) gerando a matriz \bar{E} e operacionais do reservatório ($r_{i,j}$; matriz \bar{R}), usando o primeiro eixo da Análise de Componentes de Principais (PCA). Além disso, também calculamos o correlograma para as variáveis ambientais limnológicas agrupadas, segundo sua natureza, em iônicas ($e_{1i,j}$), físicas ($e_{2i,j}$), químicas ($e_{3i,j}$) e produtividade ($e_{4i,j}$) (ver

Tabela 2), também usando o primeiro eixo da análise de componentes principais (PCA).

Uma matriz simétrica (\bar{G}) contendo a distância euclidiana entre os pontos também foi utilizada para testar se os valores de sincronia $b_{i,j}$ estavam relacionados com as distâncias ($g_{i,j}$). Para tanto, correlacionamos por permutação as matrizes \bar{B} e \bar{G} usando um teste de Mantel

(Mantel 1967, função mantel.test(), pacote ncf, 10000 permutações). Também usamos o teste de mantel para relacionar as matrizes \bar{B} à matrizes dos grupos de variáveis ambientais (Matrizes \bar{E}), operacionais do reservatório (Matriz \bar{R}) e climáticas (Matriz \bar{C}). Optamos por realizar as correlações com cada grupo de variável ambiental separadamente, pois um modelo linear não iria produzir resultados confiáveis dado o baixo tamanho amostral. Além disso, optamos por realizar o teste de mantel entre a variável resposta (sincronia populacional) e a autocorrelação temporal das variáveis explanatórias por considerar que assim o contexto de oscilação ambiental ao qual os organismos estão sujeitos é retratado de maneira mais fidedigna. Todas as análises descritas foram realizadas no programa R. A Figura 2 abaixo demonstra esquema das análises realizadas.

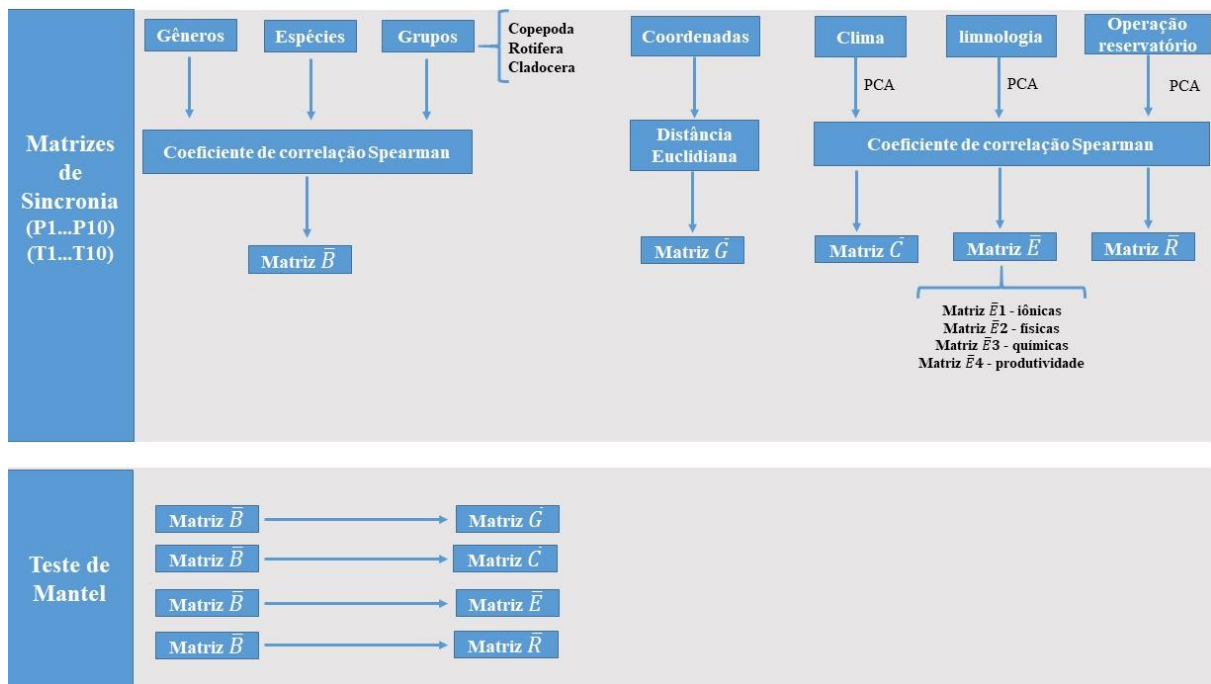


Figura 2: Representação esquemática das análises de sincronia e teste de mantel. O P representa os pontos amostrados, T a escala temporal, \bar{B} a matriz de sincronia biológica aplicada para 3 táxons: espécies, gêneros e Grupos, \bar{G} a matriz de distância geográfica, \bar{C} a matriz de sincronia climática, \bar{E} a matriz de sincronia ambiental geral e \bar{R} a matriz de sincronia dos dados operacionais do reservatório.

3. RESULTADOS

3.1. Sincronia Espacial

Dentre as 13 espécies selecionadas, a *Notodiptomus* sp. foi mais abundante considerando todo o período de coletas e a espécie menos abundante foi a *Bosmina hagamanni*, com densidades totais de 565.198 ind.m⁻³ e 62.847 ind.m⁻³, respectivamente. A forma imatura Copepodito de Cyclopoida apresentou o maior valor com 29,07% da abundância total (1.426.247 ind.m⁻³), seguido por Copepodito de Calanoida (802.933 ind.m⁻³) com 16,36%. Os valores de sincronia populacional média variaram entre -0,1148 a 0,1052. Entretanto, os intervalos de confiança dos valores de sincronia média sobrepuseram o zero para todas as espécies, evidenciando padrões de oscilações de densidade independentes, i.e., a ausência de sincronia (ver Figura 3).

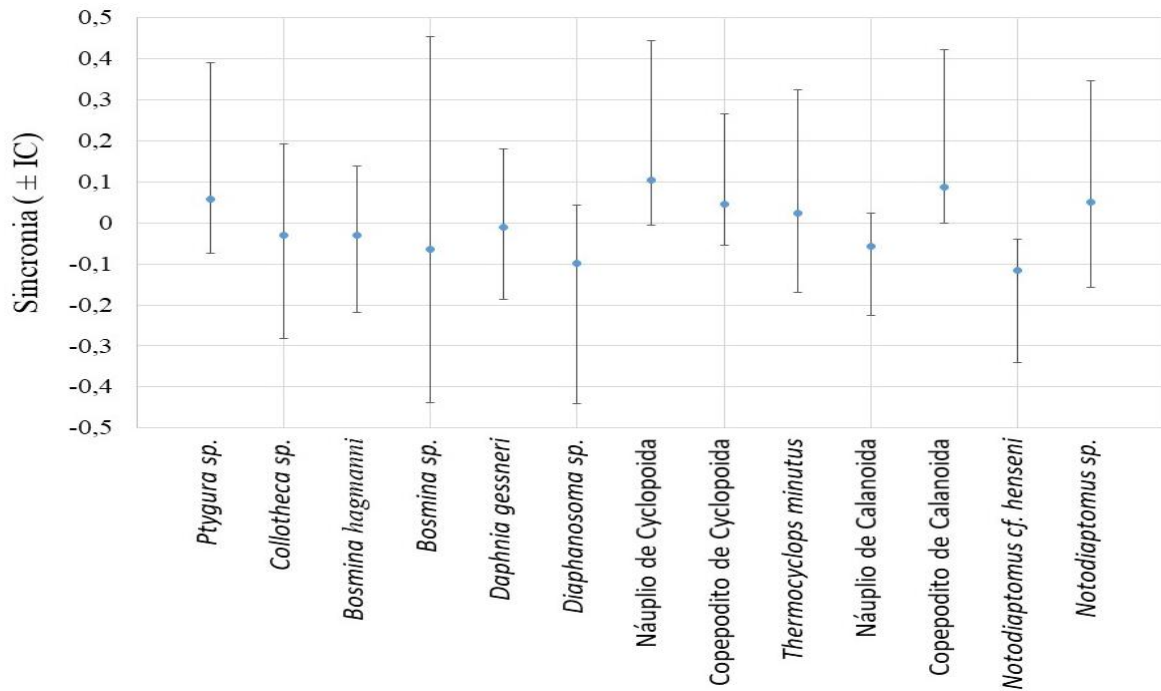


Figura 3: Valores dos níveis médios de sincronia e respectivos intervalos de confiança (IC) baseado em correlação de Spearman das espécies de zooplâncton coletadas no reservatório da Serra do Facão. Os dados consideram a significância de $P < 0,05$.

O gênero mais abundante foi *Notodiptomus* com 628.806 ind.m⁻³, representando 12,39% do total da abundância, e o menos abundante foi *Simocephalus* com abundância de 25.908 ind.m⁻³ (0,51%). Os intervalos de confiança dos valores de sincronia média calculados para os gêneros incluíram o valor zero, indicando que as densidades dos gêneros se comportam de forma independente dentre os diferentes pontos, com valores de sincronia variando entre -0,0646 e 0,1445 (ver Figura 4).

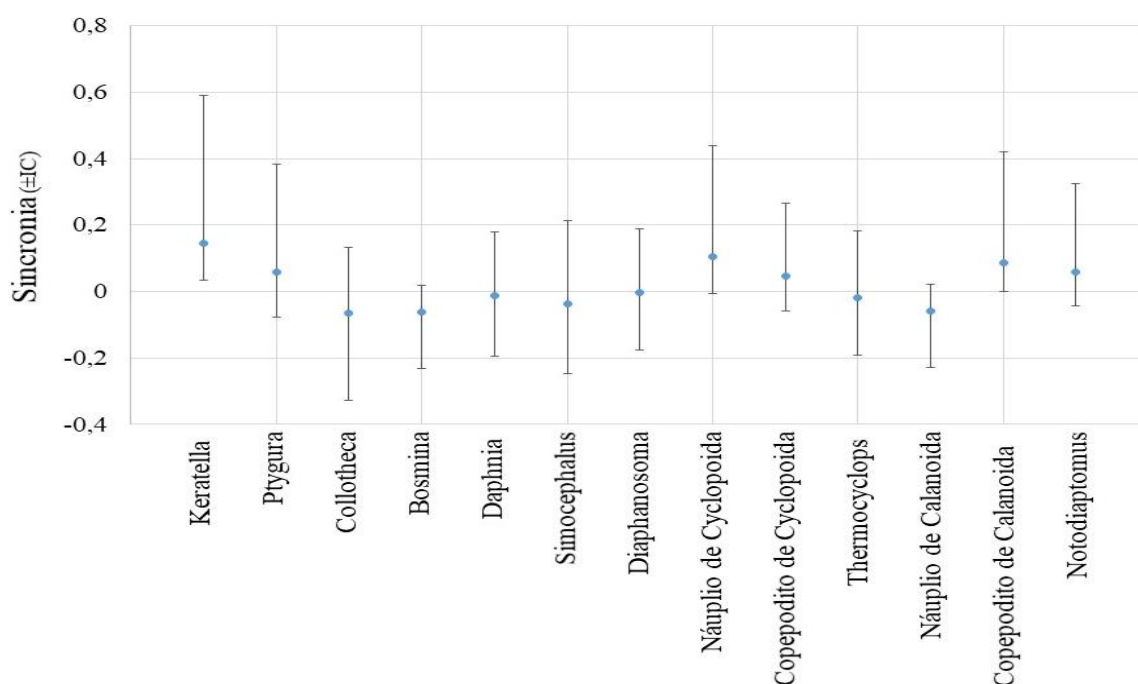


Figura 4: Valores dos níveis médios de sincronia e respectivos intervalos de confiança (IC) baseado na correlação de Spearman das espécies de zooplâncton coletadas no reservatório da Serra do Facão Energia S. A. Considerando a significância de $P < 0,05$.

O grupo de zooplâncton mais abundante foi o copepoda com $3.730.630 \text{ ind.m}^{-3}$, provavelmente influenciado pela elevada densidade das fases reprodutivas, seguido por cladocera ($800.424 \text{ ind.m}^{-3}$) e rotífera ($654.758 \text{ ind.m}^{-3}$) (Tabela 3). Os copepoda representaram 71,6% do total da abundância para grupos. Os valores de sincronia variaram entre $-0,0701$ e $0,0615$.

Tabela 3 - Valores de abundância dos grupos (ind.m^{-3}), níveis médios de sincronia e respectivos \pm intervalos de confiança (IC) baseado na correlação de Spearman das espécies de zooplâncton coletadas no reservatório da Serra do Facão Energia S. A.

Grupos de zooplâncton	Abundância	Sincronia	Intervalo de confiança	
			2.50%	97.50%
Rotífera	654758	-0,0031	-0,17	0,26
Cladocera	800424	-0,0701	-0,18	0,08
Copepoda	3730629	0,0615	-0,13	0,31

3.2. Direcionadores de Sincronia Espacial

Os dados do primeiro eixo da PCA explicaram 68,63% da variação das variáveis físicas, 88,07% das variáveis iônicas, 74,33% das variáveis químicas e 58,87% das variáveis de produtividade. O primeiro da eixo da PCA explicou 98,85 % das variáveis climáticas e 90,82% das variáveis operacionais.

A distância geográfica não influenciou os níveis de sincronia espacial das variáveis biológicas independente da resolução taxonômica considerada (i.e., espécies, gêneros ou grupos; Tabelas 4, 5 e 6). O mesmo foi encontrado para variáveis climáticas, que também não estiveram relacionadas com a sincronia espacial das populações/grupos zooplantônicos. O eixo da PCA realizada com os dados de operação do reservatório foi um vetor com números igual a um. Logo, devido à ausência de variação, não foi possível realizar o teste de mantel com essas variáveis.

Os valores de correlação do teste de Mantel para as 13 espécies avaliadas variaram de 0,2958 a 0,5308 (Tabela 4). Os coeficientes de correlação das matrizes ambientais (E e E₁–E₄) não explicaram os valores de sincronia da maioria das entidades taxonômicas. Entretanto, pelo menos um dos grupos de variáveis ambientais explicaram parte da variação existente na sincronia espacial de sete espécies. Não houveram espécies correlacionadas com todas variáveis limnológicas juntas, com variáveis iônicas ou com as variáveis químicas.

Os grupo das variáveis associadas à produtividade explicaram parte da variação sincronia espacial de seis espécies e as variáveis físicas de cinco. A estrutura temporal da produtividade explicou os valores de sincronia das espécies *Daphnia gessneri* (r= 0,3370), *Diaphanosoma* sp. (r = 0,4782, e p = 0,0001), náuplio de Cyclopoida (r= 0,5308, e p= 0,0002), copepodito de Calanoida (r= 0,2958, e p= 0,0180), *Collotheca* sp. (r= 0,3397, e p= 0,0092) e copepodito de Cyclopoida (r= 0,4142, e p= 0,0031). As variáveis físicas foram correlacionadas com as espécies *Daphnia gessneri* (r= 0,4497, e p= 0,0020), *Diaphanosoma* sp. (r= 0,4846, e p= 0,0008), náuplio de Cyclopoida (r= 0,3994, e p= 0,0060), copepodito de Calanoida (r= 0,4047, e p= 0,0055) e *Notodiaptomus* sp. (r= 0,3339, e p= 0,0161). Entretanto, os tamanhos de efeito das correlações foram baixos. O maior valor de correlação foi apresentando pelo Náuplio de Cyclopoida com as variáveis de produtividade (r= 0,5308, e p = 0,0002).

Tabela 4 – Valores de correlação do teste de Mantel entre os valores de sincronia das espécies e as variáveis explanatórias: variáveis físicas (E₂), e variáveis de produtividade (E₄), considerando os que tiveram significância de P<0,05. Valores em negrito indicam valores significativos.

Espécies	Variáveis explanatórias	
	E2	E4
<i>Collotheca</i> sp.	0.2296	0.3397
<i>Daphnia gessneri</i>	0.4497	0.3370

<i>Diaphanosoma</i> sp.	0.4846	0.4782
Náuplio de Cyclopoida	0.3994	0.5308
Copepodito de Cyclopoida	0.1336	0.4142
Copepodito de Calanoida	0.4047	0.2958
<i>Notodiaptomus</i> sp.	0.3339	0.2221

Um padrão similar ao encontrado para as espécies foi encontrado para os gêneros. A correlação obtida pelo teste de mantel entre a variação na sincronia dos gêneros e os grupos de variáveis ambientais, variou entre 0,2958 a 0,5308. Variáveis físicas apresentaram correlação com os gêneros *Daphnia* ($r= 0,4268$, e $p= 0,0028$), *Diaphanosoma* ($r= 0,4738$ e $p= 0,007$), Náuplio de Cyclopoida ($r= 0,3994$, e $p= 0,0047$), Copepodito de Calanoida ($r= 0,4047$, e $p= 0,0060$) e *Notodiaptomus* ($r= 0,2856$ e $p= 0,0339$), e as variáveis de produtividade com os gêneros *Daphnia* ($r= 0,3138$ e $p= 0,0147$), *Diaphanosoma* ($r= 0,4684$ e $p= 0,0005$), Náuplio de Cyclopoida ($r= 0,5308$ e $p= 0,0001$), Copepodito de Calanoida ($r= 0,2958$ e $p= 0,0194$), copepodito de Cyclopoida ($r= 0,4142$ e $p= 0,0034$) e *Thermocyclops* ($r= 0,2528$ e $p= 0,0427$). Os tamanhos de efeito das relações encontradas também foi bem baixo, ainda de maneira similar ao registrado para a resolução de espécies sendo o maior efeito para o Náuplio de Cyclopoida ($r= 0,5308$ e $p= 0,0001$).

Tabela 5 – Valores de correlação do teste de Mantel entre os gêneros e variáveis explanatórias: variáveis físicas (E₂) e variáveis de produtividade (E₄), considerando os que tiveram significância de $P<0,05$. Valores em negrito indicam valores significativos

Gêneros	Variáveis explanatórias	
	E ₂	E ₄
<i>Daphnia</i>	0.4268	0.3138
	0.0028	0.0147
<i>Diaphanosoma</i>	0.4738	0.4684
	0.0007	0.0005
Náuplio de Cyclopoida	0.3994	0.5308
	0.0047	0.0001
Copepodito de Cyclopoida	0.1336	0.4142
	0.1797	0.0034

Thermocyclops	0.2178	0.2528
	0.0869	0.0427
Copepodito de Calanoida	0.4047	0.2958
	0.0060	0.0194
Notodiaptomus	0.2856	0.1944
	0.0339	0.0847

As variáveis de produtividade estiveram correlacionadas com o grupo taxonômico dos cladoceras ($r= 0,4776$, $r^2=0,2281$ e $p= 0,0001$), copepodes ($r= 0,5464$, $r^2= 0,2986$ e $p= 0,0001$) e rotífera ($r= 0,2542$, $r^2= 0,0646$ e $p= 0,0453$). As variáveis físicas apresentaram correlação com os cladoceras ($r= 0.5081$, $r^2= 0,2581$ e $p= 0,0006$) e copepodes ($r= 0,3668$, $r^2= 0,1345$ e $p= 0,0085$). As variáveis físicas ($r = 0,4566$, $r^2= 0,2085$ $p= 0,0028$) e variáveis de produtividade ($r= 0,5084$, $r^2= 0,2585$ e $p= 0,0002$) também explicaram a oscilação temporal da densidade da comunidade zooplanctônica como um todo (Tabela 6).

Tabela 6 – Valores de correlação do teste de Mantel entre os grupos de zooplâncton e variáveis explanatórias: variáveis físicas (E₂) e variáveis de produtividade (E₄), considerando os que tiveram significância de $P<0,05$. Valores em negrito indicam valores significativos.

Grupos de zooplâncton	Variáveis explanatórias	
	E ₂	E ₄
Rotífera	0.2000	0.2542
	0.0972	0.0453
Cladocera	0.5081	0.4776
	0.0006	0.0001
Copepoda	0.3668	0.5464
	0.0085	0.0001
Todos	0.4566	0.5084
	0.0028	0.0002

4. DISCUSSÃO

4.1. Sincronia Espacial

As modificações geradas pela formação do reservatório acarretam mudanças nas populações aquáticas devido à transição de um ambiente lótico para lêntico. Neste trabalho abrangemos um período no qual podemos considerar o reservatório estável (seis anos após a formação), com um ambiente homogeneizado e altamente conectado. Estudos tem reforçado a expectativa de uma elevada sincronia em reservatórios devido à alta conectividade hidrológica (por outro lado, taxas de dispersão podem diminuir conforme os pontos se distanciam; ver LANSAC-TÔHA et al., 2008; LODI et al., 2015). No entanto, observamos uma ausência de sincronia para as todas as resoluções taxonômicas da comunidade zooplanctônica no UHE SEFAC. Estes resultados divergem das análises realizadas no mesmo reservatório nas fases rio e após formação do reservatório (abril/2008 a junho/2010), onde foi registrada a sincronia espacial do zooplâncton, mesmo que em níveis baixos, principalmente no período após a formação do reservatório (PY-DANIEL, 2017).

Nossos resultados não são atípicos, pois a sincronia pode ser revelada apenas para um determinado táxon, como no trabalho realizado por Lansac-Tôha et al. (2008), onde não foram encontrados valores de sincronia significativos para Cladóceros e Copépodes, e sim para rotíferos e amebas. Porém, a sincronia encontrada para estes grupos pode ser explicada pela presença de muitas espécies pseudoplanctônicas, que são altamente dispersivas, influenciadas principalmente pela precipitação que altera o fluxo de água e lava os organismos (LANSAC-TÔHA et al., 2008).

Flutuações ambientais podem aumentar a variabilidade de espécies, principalmente quando apresentam variações de densidade sincrônicas. Por outro lado, interações (e.g., competição por recursos) poderão reduzir a sincronia ou gerar dinâmicas compensatórias, dependendo da sensibilidade das espécies à variações ambientais (LOREAU E DE MAZANCOURT, 2008). Em locais onde as populações apresentam oscilação sincrônica, a competição entre as espécies costuma ser pouca ou fraca (LOREAU E DE MAZANCOURT, 2008; mas veja Vasseur & Fox (2009), um exemplo de elevada sincronia devido a predação associada ao efeito moran).

4.2. Sincronia Biológica e Determinantes Ambientais

4.2.1. Distância Geográfica

Diversos estudos já revelaram redução da sincronia espacial conforme a distância geográfica entre os pontos aumenta (SEEBENS et al., 2013). No entanto, em nossos resultados não encontramos essa relação, apesar de esperar alta conectividade em reservatórios e aumento da dispersão principalmente entre pontos próximos (GRANZOTTI et al., 2022). Entendemos que neste caso a dispersão não foi um importante agente sincronizador, pois os valores de sincronia encontrados foram baixos e não significativos, indicando a prevalência de fatores locais no controle das dinâmicas populacionais (KENT et al., 2007, WALTER et al., 2017). Além disso, é esperado que a distância geográfica seja mais influente na sincronia quando os pontos se localizam em distâncias maiores que 100 km (DEFRIEZ et al., 2016) e os pontos avaliados aqui estão localizados dentro de um raio de aproximadamente 50 km ao longo do eixo longitudinal do reservatório (traçando uma linha reta). Por outro lado, o reservatório possui braços originários de diversos tributários confluentes com o canal principal, podendo resultar em uma elevada heterogeneidade ambiental. Esta elevada heterogeneidade ao longo do reservatório pode diminuir a importância do efeito Moran e da dispersão nas densidades populacionais (ANDERSON et al., 2018; WALTER et al., 2017), reduzindo nos níveis de sincronia.

4.2.2. Operação do Reservatório e Clima

Não foram verificadas variações marcantes nos dados operacionais do reservatório da UHE SEFAC no decorrer do tempo, por isso não foi possível avaliar a correlação entre a sincronia dos dados operacionais e sincronia biológica. Os barramentos aumentam o tempo de residência da água, diminuem a velocidade de fluxo e interferem no processo de sedimentação (CARVALHO et al., 2000). As variáveis de operação do reservatório indicaram a influência do contexto da barragem em variáveis do reservatório (principalmente fluxo e volume). Estudos conduzidos para elucidar a atuação dos barramentos no fluxo da água dos rios relatam que as variações do fluxo de passagem de água foram intensificadas após o barramento e são controladas pela demanda energética (GODOY et al., 2023), assim acrescentando um efeito regional imprevisível e não associado aos ciclos climáticos naturais. Apesar de não ter sido possível uma avaliação quantitativa mais direta, podemos especular que os dados do reservatório possam estar atuando como fatores regionalizados independentes da densidade capazes de reduzir oscilações sincrônicas por não serem cíclicos. Observamos que os níveis da água do reservatório estudado podem se manter relativamente constantes por longos períodos a depender da demanda energética. Logo, podemos especular que essa regulação pode limitar

o efeito do clima (e.g., precipitação) na variação no volume do reservatório, modo que o controle antrópico pode estar atuando como um fator homogeneizador do sistema, sobrepondo possíveis efeitos climáticos que resultariam em sincronia. Por outro lado, valores intermediários de sincronia do zooplâncton já foram registradas após a formação de um reservatório do tipo fio d'água (VIEIRA et al., 2019), onde o tempo de residência da água é menor do que reservatórios do tipo deplecionamento, podem ser menos afetados pelas alterações do nível da água.

Muitos estudos já foram realizados a fim de identificar a atuação do clima na sincronia espacial e evidenciaram correlação significativa (DEFRIEZ, et al., 2016, LODI et al., 2014; SEEBENS et al., 2013). Entretanto, este padrão é mais claro em climas temperados (DEFRIEZ et al., 2016) por as variações climáticas entre estações serem mais marcadas, diferente do observado para o reservatório da UHE SEFAC que é localizado em ambiente de clima tropical.

4.3. Variáveis Limnológicas

A existência de correlação significativa entre variáveis ambientais físicas e de produtividade e a sincronia de alguns táxons, apontam para os fatores locais como mais importantes em determinar na dinâmica das populações zooplanctônicas do reservatório da UHE SEFAC. Em contraste, nos períodos antes e logo após o enchimento do mesmo reservatório, foi constatado que os (baixos) níveis de sincronia não foram regulados pelas variações ambientais (PY-DANIEL, 2017). Essa diferença no mesmo sistema pode ser devido ao tempo de formação do reservatório. Possivelmente, logo após a formação da barragem efeitos regionalizados cíclicos ainda exerciam efeito no corpo d'água, enquanto após a estabilização efeitos não cíclicos (e.g., controle operacional da barragem ou outros efeitos locais) podem estar sendo preponderantes, encobrendo efeitos cíclicos (e.g., clima).

As cinco espécies e gêneros mais abundantes apresentaram valores de sincronia significativamente correlacionados com a sincronia ambiental. Resultados similares foram relatados para comunidades fitoplanctônicas com uma correlação significativa entre as matrizes de sincronia populacional e a matriz de sincronia ambiental, principalmente das classes mais abundantes (ZANON et al., 2019).

Observamos que a maior parte das correlações significativas observadas entre matrizes foram com variações ambientais da produtividade (ver variáveis na

Tabela 2). A sincronia das espécies *Daphnia gessneri*, *Diaphanosoma* sp., náuplio de Cyclopoida, copepodito de Calanoida, *Collotheca* sp. e copepodito de Cyclopoida estiveram

relacionadas à matriz de sincronia baseada na variável produtividade, assim como os gêneros correspondentes (exceto o rotífera *Collotheca* sp.). Além disso, os três grupos de zooplâncton, e a comunidade total também apresentaram sincronia espacial correlacionada com a produtividade do ambiente. De fato a produtividade já foi relatada como um importante agente sincronizador, possivelmente devido à grande importância na definição da cadeia trófica. A aplicação periódica de nutrientes em lagoas experimentais seminaturais já foi apontada como capaz de gerar uma oscilação sincronica do zooplâncton em escalas de tempo curtas (períodos de 10 dias) e em ambientes constantes, enquanto não houve sincronia em escalas de tempo mais longas (períodos de 80 dias) e em ambientes com perturbações ambientais (DOWNING et al., 2008). Autores apoiam a existência de um efeito sincronizador em curto prazo, e homogeneizador em longos períodos nas comunidades e ecossistemas, ocorrendo simultaneamente com a dinâmica compensatória.

Variáveis físicas foram correlacionadas com as espécies *Daphnia gessneri*, *Diaphanosoma* sp., náuplio de Cyclopoida e de calanoida, copepodito de Calanoida e *Notodiaptomus* sp. e com os respectivos gêneros, com os grupos Cladocera e Copepoda, e com a comunidade como um todo. Por um lado as correlações entre variáveis de produtividade e físicas com a sincronia da comunidade total podem ser efeitos numéricos por os copepodas dominarem em termos de densidade. Por outro lado, esse padrão de correlação das variáveis resposta com resoluções taxonômicas sobrepostas pode indicar a dinâmica de compensação, que avalia a dinâmica de comunidades em termos de estabilização ao invés de colonização/extinção (HOLLING, 1973). Veja que isso está alinhado com estudos abordando a importância da produtividade em afetar oscilações sincrônicas e o efeito da dinâmica de compensação em determinar os padrões (DOWNING et al., 2008).

A dinâmica compensatória não é facilmente mensurada, mas se trata de uma dinâmica perceptível em escalas temporais e prevê um baixo efeito da perda de espécies na estabilidade da comunidade ecossistema devido a um aumento da abundância média da população (GONZALEZ and LOREAU, 2009). Podemos esperar que espécies próximas (i.e., mesmo gênero e grupo taxonômico) tenham funções similares e conseqüentemente sobreposição de nicho modo que a redução de densidade de uma espécie possa ser compensada pelo aumento da densidade de outra da mesma espécie (GONZALEZ and LOREAU, 2009; BARNET et al., 2007). Tal inferência pode ser feita por escolha de habitat, tipo de alimentação, estratégia de fuga de predadores e capacidade de formação de elmos (e.g., *Daphnia gessneri*) estar entre os principais traços morfológicos associados a funções da comunidade zooplânctônica (BARNET

et al., 2007) e serem frequentemente comuns a espécies do mesmo gênero. Além disso, muitos traços estão associados à alimentação e fuga de predadores.

As variáveis associadas a produtividade estão relacionadas à nutrição e quantidade de algas no meio aquático. Uma oscilação na disponibilidade de algas levará a uma oscilação nas populações de herbívoros que por sua vez afetará populações de carnívoros e onívoros em uma dinâmica de cascata, da mesma forma que a comunidade fitoplanctônica é regulada por variáveis ambientais e pela herbivoria (LI et al., 2020).

A variáveis físicas estão associadas à coluna fótica e visibilidade, e foram correlacionadas com a sincronia de cladóceros e copepodes. Indivíduos maiores da comunidade zooplanctônica são predados por vertebrados (e.g., peixes e anfíbios), que frequentemente são predadores visuais, e indivíduos menores por invertebrados (e.g., microcústáceos e larvas de insetos) (GREENE, 1983). Desta forma, alterações na visibilidade do ecossistema afetam diretamente a predação e densidade de microcústáceos. A correlação da estrutura temporal das variáveis físicas com a sincronia populacional de diferentes escalas taxonômicas evidenciou como variáveis físicas afetam a predação, um processo dependente da densidade, uma vez que os valores de sincronia na densidade indivíduos maiores (copepodas e cladoceras) estiveram correlacionados com as variáveis físicas, enquanto a estrutura temporal dos rotíferos esteve correlacionada com variáveis de produtividade.

Diversos estudos já relataram a existência de sincronia populacional devido à dinâmica de predação (e.g., TURKIA et al., 2020; JARILLO et al., 2029; HUITU et al., 2005; VASSEUR & FOX, 2009). Entretanto, a predação individualmente não sincroniza populações. Sincronia em um sistema de predador-presa ocorre associada a outros fatores além da interação em si, como efeito de um dos componentes da interação apresentando um claro padrão de sincronia, devido ao efeito da dispersão ou dependência de um fator exógeno sincrônico (e.g., precipitação, ver LIEBHOLD et al., 2004). Desta forma, sistemas onde não existe algum elemento (ambiental ou biológico) com uma clara estrutura de correlação temporal tenderão a apresentar baixos valores de sincronia, como os encontrados nesse estudo.

Fatores locais, como o uso solo nas margens dominado por agropecuária, por exemplo, podem aumentar a diferença entre os pontos (i.e., heterogeneidade) do sistema, afetando todos os parâmetros. Ao considerarmos a estrutura de correlação ambiental ao invés de usar as variáveis ambientais (como tradicionalmente feito; ver KOENIG, 1999; LANSAC-TÔHA et al., 2008; LOPES et al., 2018), estamos incluindo informações acerca do *lag* de resposta da comunidade à variável. Assim, consideramos, mesmo que marginalmente, a dinâmica

compensatória. A compreensão dessa dinâmica é difícil de ser entendida na natureza, pois além de ser influenciada pelas mudanças ambientais, as interações das espécies são preponderantes (DOWNING et al., 2008; GONZALEZ and LOREAU, 2009; LASKY et al., 2016). Além disso, a estrutura geral de variação temporal e espacial das variáveis ambientais passa a ser considerada, enriquecendo a estrutura de variação considerada no modelo (LOPES et al., 2018, ZANON et al., 2019). Com essa abordagem pudemos mostrar uma forte evidência da importância dos fatores locais estruturando a dinâmica populacional do zooplâncton.

4.4. CONCLUSÃO

Os valores de sincronia espacial foram fortemente correlacionados com a sincronia ambiental (limnológica) para as variáveis físicas e de produtividade, sendo uma constatação que permite inferir que processos locais são importantes na dinâmica populacional. Este padrão é de se esperar uma vez que sincronias baixas geralmente ocorrem quando a variação climática não é um filtro ambiental forte o suficiente para determinar as variações. Inferimos também a importância de reguladores externos/antrópicos na variação das características limnológicas do sistema.

As oscilações temporais dos fatores de produtividade e físicas foram mais importantes para a dinâmica de sincronia das comunidades, como observado para diferentes resoluções taxonômicas. Esses resultados nos permitem inferir a existência de uma dinâmica compensatória no sistema. A dinâmica compensatória indica que apesar de ser um sistema com forte controle antrópico, as funções do sistema desempenhadas pelo zooplâncton tendem a se manter estáveis ao longo do tempo.

Assim, os resultados evidenciaram fatores importantes na regulação de todo o reservatório, mesmo que ainda não seja seguro extrapolar os dados para as demais áreas do reservatório em questão. O estudo também constitui-se como uma importante fonte de informação em casos de necessidade de avaliação de impactos (i.g. aumento da temperatura e entradas de contaminantes, etc.), contribuindo, desta forma, para uma tomada de decisões mais assertiva, inclusive daquelas relacionadas a revisão da malha amostral, além de trazer uma visão mais ampla sobre o comportamento das comunidades zooplânctônicas úteis para estudos em outros reservatórios.

5. REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional das Águas. SAR. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar0/MedicaoSin> Acesso em: 10 de junho de 2023.
- ANDERSON, T. L., WALTER, J. A., LEVINE, T. D., HENDRICKS, S. P., JOHNSTON, K. L., WHITE, D. S., & REUMAN, D. C. (2018). Using geography to infer the importance of dispersal for the synchrony of freshwater plankton. **Oikos**, 127(3), 403-414. <https://doi.org/10.1111/oik.04705>
- BARNETT, A. J., FINLAY, K., & BEISNER, B. E. (2007). Functional diversity of crustacean zooplankton communities: towards a trait-based classification. **Freshwater Biology**, 52(5), 796-813. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01733.x>
- BJØRNSTAD, O. N., IMS, R. A. & LAMBIN, X. Spatial population dynamics: analyzing patterns and processes of population synchrony. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 14, p. 427-432, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01677-8](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01677-8).
- CARVALHO, N.O; FILIZOLA JÚNIOR, N.P; SANTOS, P.M.C; LIMA, J.E.F.W. 2000. Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios. Brasília: ANEEL. 140p. Disponível em <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/monitoramento-hidrologico/orientacoes-manuais/entidades/guia-avaliacao-assoreamento-reservatorios-aneel-2000.pdf> Acesso em: 25 de julho de 202.
- CUNHA N. B. **Modelagem da qualidade de água no rio São Marcos, situado na bacia hidrográfica do Alto Paraná**. 111 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2019. <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.492019>.
- CLIMATE-DATA. ORG. Clima: Goiás. Disponível em: < <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/goias/goias-879942/> > Acesso em: 08 de dezembro de 2022.
- DEFRIEZ, E. J., SHEPPARD, L. W., REID, P. C., & REUMAN, D. C. (2016). Climate change-related regime shifts have altered spatial synchrony of plankton dynamics in the North Sea. **Global change biology**, 22(6), 2069-2080. <https://doi.org/10.1111/gcb.13229>
- DODSON, S. I., ARNOTT, S. E., & COTTINGHAM, K. L. (2000). The relationship in lake communities between primary productivity and species richness. **Ecology**, 81(10), 2662-2679. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/0012-9658%282000%29081%5B2662%3ATRILCB%5D2.0.CO%3B2>.
- DOWNING, A. L., BROWN, B. L., PERRIN, E. M., KEITT, T. H., & LEIBOLD, M. A. (2008). Environmental fluctuations induce scale-dependent compensation and increase stability in plankton ecosystems. **Ecology**, 89(11), 3204-3214. <https://doi.org/10.1890/07-1652.1>

- ELMOOR-LOUREIRO, L. M. A. Manual de identificação de cladóceros límnicos do Brasil. Brasília: Universa, 1997.
- GREENE, C. H. (1983). Selective predation in freshwater zooplankton communities. **Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie**, 68(3), 297-315. <https://doi.org/10.1002/iroh.19830680302>
- GRIFFEN, B. D., & DRAKE, J. M. (2009). Environment, but not migration rate, influences extinction risk in experimental metapopulations. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1677), 4363-4371.
- GODOY, B. S., ISHIHARA, J. H., AGUIAR, R. L., & TEIXEIRA, O. N. (2023). 50 years of the water-flow variance in Tucuruí reservoir related with Brazilian energy consumption. **Heliyon**, 9(2).
- GONZALEZ, A.; LOREAU, M. (2009). The causes and consequences of compensatory dynamics in ecological communities. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, v. 40, p. 393-414. [doi:10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173349](https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173349)
- GRANZOTTI R. V.; AGOSTINHO A. A.; BINI L. M. (2022). Drivers and spatial patterns of population synchrony of fish species in a floodplain. **Freshwater Biology**, v. 67, n. 5, p. 857-872, <https://doi.org/10.1111/fwb.13886>
- HANSEN, B. B., GRØTAN, V., HERFINDAL, I., & LEE, A. M. (2020). The Moran effect revisited: spatial population synchrony under global warming. **Ecography**, 43(11), 1591-1602. <https://doi.org/10.1111/ecog.04962>
- HEINO M., KAITALA V., RANTA E. & LINDSTROM J. (1997) Synchronous dynamics and rates of extinction in spatially structured populations. **Proc. R. Soc. Lond. B** 264, 481– 486. <https://doi.org/10.1098/rspb.1997.0069>
- HOLLING, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. **Annual review of ecology and systematics**, 4(1), 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- HOULAHAN, J. E., CURRIE, D. J., COTTENIE, K., CUMMING, G. S., ERNEST, S. K. M., FINDLAY, C. S., ... & WONDZELL, S. M. (2007). Compensatory dynamics are rare in natural ecological communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 104(9), 3273-3277. <https://doi.org/10.1073/pnas.0603798104>
- HUITU, O., LAAKSONEN, J., NORRDAHL, K., & KORPIMÄKI, E. (2005). Spatial synchrony in vole population fluctuations—a field experiment. **Oikos**, 109(3), 583-593. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2005.13476.x>

- JARILLO, J., SÆTHER, B. E., ENGEN, S., & CAO-GARCÍA, F. J. (2020). Spatial scales of population synchrony in predator-prey systems. **The American Naturalist**, 195(2), 216-230. <https://doi.org/10.1086/706913>
- JIANG, L., & PU, Z. (2009). Different effects of species diversity on temporal stability in single-trophic and multitrophic communities. **The American Naturalist**, 174(5), 651-659. <https://doi.org/10.1086/605961>
- KENT, A. D., YANNARELL, A. C., RUSAK, J. A., TRIPLETT, E. W. & MCMAHON, K. D. (2007). Synchrony in aquatic microbial community dynamics. **The ISME Journal**, v.1, p.38–47. [https://doi: 10.1038/ismej.2007.6](https://doi:10.1038/ismej.2007.6)
- KOENIG, W. D. (1999). Spatial autocorrelation of ecological phenomena. **Trends in Ecology & Evolution**, 14(1), 22-26.
- KOENIG W.D. (2002). Global patterns of environmental synchrony and the Moran effect. **Ecography** 25, 283–288.
- LANSAC-TÔHA, F. A., BINI, L. M., VELHO, L. F. M., BONECKER, C. C., TAKAHASHI, E. M., & VIEIRA, L. C. G. Temporal coherence of zooplankton abundance in a tropical reservoir. **Hydrobiologia**, v. 614, p. 387-399, 2008. <https://doi.org/10.1007/S10750-008-9526-6>
- LASKY, J. R.; URIARTE, M.; MUSCARELLA, R. (2016). Synchrony, compensatory dynamics, and the functional trait basis of phenological diversity in a tropical dry forest tree community: effects of rainfall seasonality. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 11, p. 115003. Doi: [10.1088/1748-9326/11/11/115003](https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/11/115003)
- LEGENDRE, P., & LEGENDRE, L. (2012). Numerical ecology. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- LIMA-RIBEIRO, M. D. S., MOURA, I. I. O. D., PINTO, M. P., NABOUT, J. C., MELO, T. L. D., COSTA, S. S., & RANGEL, T. F. (2007). Evidências do efeito Moran na sincronia populacional: uma demonstração em microcosmo experimental. **Neotropical Entomology**, 36, 662-669. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2007000500005>
- LI, Y., MENG, J., ZHANG, C., JI, S., KONG, Q., WANG, R., & LIU, J. (2020). Bottom-up and top-down effects on phytoplankton communities in two freshwater lakes. **PLoS One**, 15(4), e0231357. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231357>
- LODI, S., VELHO, L. F. M., CARVALHO, P. & BINI, L. M. Patterns of zooplankton population synchrony in a tropical reservoir. **Journal of Plankton Research**, v. 36, p. 966–977, 2014. <https://doi.org/10.1093/PLANKT/FBU028>

- LOPES, V. G., CASTELO BRANCO, C. W., KOZLOWSKY-SUZUKI, B., SOUSA-FILHO, I. F., E SOUZA, L. C., BINI, L. M. (2018). Environmental distances are more important than geographic distances when predicting spatial synchrony of zooplankton populations in a tropical reservoir. **Freshwater Biology**, 63(12), 1592-1601. <https://doi.org/10.1111/fwb.13188>
- LOREAU M and DE MAZANCOURT C. (2008). Species synchrony and Its drivers: neutral and nonneutral community dynamics in fluctuating environments. **The American Naturalist** 172, E48 – E66. [doi:10.1086/589746](https://doi.org/10.1086/589746).
- MANLY, B. F., & ALBERTO, J. A. N. (2008). Métodos estatísticos multivariados: uma introdução. **Bookman Editora**.
- MARTINS, R. A. O agrohidronegócio do pivô central no estado de Goiás: expansão, espacialização, e a conseqüente degradação do subsistema de Veredas. Renato Adriano Martins. Brasília: UNB, 2017.
<http://dx.doi.org/10.26512/2017.02.T.23360>
- MITSUKA, P. M.; HENRY, R. The fate of copepod populations in the Paranapanema River (São Paulo, Brazil), downstream from the Jurumirim Dam. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, p. 479-490, 2002. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132002000600012>
- MORAN, P. A. P. The Statistical Analysis of the Canadian Lynx Cycle .2. Synchronization and Meteorology. **Australian Journal of Zoology**. 1:291-298, 1953b. <https://doi.org/10.1071/ZO9530291>
- PY-DANIEL, S. S. **Padrões ecológicos da comunidade zooplanctônica antes e após a construção de um reservatório hidrelétrico tropical**. [82] f., il. Dissertação (Mestrado em Ecologia)-Universidade de Brasília, Brasília, 2017. <http://dx.doi.org/10.26512/2017.02.D.24224>
- POWNEY, G. D., ROY, D. B., CHAPMAN, D., & OLIVER, T. H. (2010). Synchrony of butterfly populations across species' geographic ranges. **Oikos**, v. 119, p. 1690-1696. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18168.x>
- REIS, C. F., TALONE N. A., BRUNCKHORST, A., MOREIRA, J. M. M. A. P., PEREIRA, A. V. & MORAES, A. DA C. (2017). Cenário do setor de florestas plantadas no Estado de Goiás. Goiânia: SEBRAE/Embrapa Florestas.
- RINKE, K., HUBER, A. M., KEMPKE, S., EDER, M., WOLF, T., PROBST, W. N., & ROTHHAUPTA, K. O. (2009). Lake-wide distributions of temperature, phytoplankton, zooplankton, and fish in the pelagic zone of a large lake. **Limnology and Oceanography**, 54(4), 1306-1322. <https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.4.1306>

- SEEBENS, H., EINSLE, U., & STRAILE, D. (2013). Deviations from synchrony: spatio-temporal variability of zooplankton community dynamics in a large lake. **Journal of Plankton Research**, 35(1), 22-32. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbs084>
- THOMPSON, P. L.; BEISNER, B. E.; GONZALEZ, A. (2015). Warming induces synchrony and destabilizes experimental pond zooplankton metacommunities. **Oikos**, v. 124, n. 9, p. 1171-1180, <https://doi.org/10.1111/oik.01945>
- TOBLER, W. R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. **Economic geography**, 46(sup1), 234-240.
- TURKIA, T., JOUSIMO, J., TIAINEN, J., HELLE, P., RINTALA, J., HOKKANEN, T., ... & SELONEN, V. (2020). Large-scale spatial synchrony in red squirrel populations driven by a bottom-up effect. **Oecologia**, 192, 425-437. <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04589-5>
- VASSEUR, D. A., & FOX, J. W. (2009). Phase-locking and environmental fluctuations generate synchrony in a predator–prey community. **Nature**, 460(7258), 1007-1010. <https://doi.org/10.1038/nature08208>
- VIEIRA, M. C., ROITMAN, I., DE OLIVEIRA BARBOSA, H., VELHO, L. F. M. & VIEIRA, L. C. G. (2019). Spatial synchrony of zooplankton during the impoundment of amazonic reservoir. **Ecological Indicators**, v. 98, p. 649–656. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2018.11.040>
- VINEBROOKE, R. D., SCHINDLER, D. W., FINDLAY, D. L., TURNER, M. A., PATERSON, M., & MILLS, K. H. (2003). Trophic dependence of ecosystem resistance and species compensation in experimentally acidified Lake 302S (Canada). **Ecosystems**, 6, 0101-0113. <https://doi.org/10.1007/s10021-002-0102-z>
- WALTER, J. A., SHEPPARD, L. W., ANDERSON, T. L., KASTENS, J. H., BJØRNSTAD, O. N., LIEBHOLD, A. M., & Reuman, D. C. (2017). The geography of spatial synchrony. **Ecology Letters**, 20(7), 801-814. <https://doi.org/10.1111/ele.12782>
- XU, Y., CAI, Q., SHAO, M., & HAN, X. (2012). Patterns of asynchrony for phytoplankton fluctuations from reservoir mainstream to a tributary bay in a giant dendritic reservoir (Three Gorges Reservoir, China). **Aquatic sciences**, 74, 287-300. <https://doi.org/10.1007/S00027-011-0221-8/FIGURES/11>.
- ZANON, J. E., DE CARVALHO, P., RODRIGUES, L. C., & BINI, L. M. Potential mechanisms related to the spatial synchrony of phytoplankton is dependent on the type of data. **Hydrobiologia**, v. 841, p. 95-108, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04009-y>.

ANEXO I – MATERIAL SUPLEMENTAR I

METODOLOGIA DAS COLETAS DE ZOOPLÂNCTON

Empresa Conágua Ambiental - executou a campanha de novembro/2016, sendo realizada a coleta de um mínimo de 50 litros de água. Para cada amostra, um volume conhecido foi filtrado em uma rede de plâncton com 20 µm a 63 µm de abertura de malha, definida de acordo com turbidez da água. As amostras foram obtidas através do arrasto horizontal no sentido contrário ao fluxo da água no corpo hídrico, fazendo vários movimentos na água. As amostras do zooplâncton foram acondicionadas em frascos com capacidade de 1.000 mL (vidro âmbar) e fixadas com solução formaldeído a 4% com adição de açúcar (HANNEY & HALL, 1973) ou com álcool 70% na proporção de 1:1 (250 mL de amostra e 250 mL de álcool 70%). No laboratório, as amostras foram contadas na sua totalidade, sendo utilizadas placas de acrílico quadriculadas, sob um estéreo microscópio Carl Zeiss, modelo Stemi SV6, em aumento máximo de 500 vezes para Cladocera e Copepoda e câmara de Sedgwick-Rafter para Rotífera.

Empresa Life Projetos Limnológicos - realizou as campanhas de maio e novembro/2017. Em cada ponto foram filtrados 500 litros de água utilizando-se uma moto bomba e rede de plâncton com 68 µm de abertura de malha. As amostras foram armazenadas em frascos de polietileno e fixadas com solução de formaldeído a 4%, tamponada com carbonato de cálcio. As amostras foram concentradas em um volume de 150mL e a densidade dos organismos (ind.m^{-3}) foi determinada a partir da análise de três subamostragens, obtidas com pipeta tipo Hensen-Stempel (2,5 mL). Foram contados, no mínimo, 50 indivíduos por grupo (BOTTRELLET at. al, 1976) em câmaras de Sedgewick-Rafter, sob microscópio óptico. As análises foram feitas com auxílio de lâminas comuns sobmicroscópio óptico.

Empresa Limnos Sanear - executou a maioria das campanhas, a saber: maio/2018, novembro/2018, junho/2019, novembro/2019, maio/2020, novembro/2020, maio/2022. As coletas de amostras para as análises do zooplâncton foram realizadas usando redes de plâncton em nylon de 35 μm de interstício desde o fundo até o ponto mais superficial. O material concentrado foi preservado com formaldeído, a 4% e conservado sob refrigeração. O concentrado obtido foi corado com 0,2 mL (4 gotas) de solução de rosa-de-bengala, estocado em frascos de polietileno de 250 mL e, após cerca de 15 minutos fixado com 0,5 mL de solução de formaldeído a 4%, neutralizado. A análise laboratorial foi realizada em microscópio óptico. As análises quantitativas foram feitas utilizando-se a câmara de “Sedgwick Rafter”.

ANEXO II – MATERIAL SUPLEMENTAR II

TABELAS COM TODOS OS RESULTADOS

Tabela S1 – Valores de correlação do teste de Mantel entre os valores de sincronia das espécies e as variáveis explanatórias: climáticas (C), distância geográfica (G), variáveis operacionais do reservatório (R), todas as variáveis limnológicas (E), variáveis iônicas (E₁), variáveis físicas (E₂), Variáveis químicas (E₃) e variáveis de produtividade (E₄), considerando a significância de P<0,05. Valores em negrito indicam valores significativos. Correlação (r) e significância (P).

Espécies	r e P	Variáveis explanatórias							
		C	G	R	E	E1	E2	E3	E4
<i>Ptygura</i> sp.	r	-0.1545	0.1182	-	-0.1226	0.0890	-0.1751	-0.2637	-0.0907
	P	0.8339	0.2440	-	0.7811	0.2837	0.8706	0.9598	0.7274
<i>Collotheca</i> sp.	r	-0.1619	0.0186	-	-0.3274	-0.2587	0.2296	-0.2008	0.3397
	P	0.8504	0.4461	-	0.9860	0.9555	0.0650	0.9124	0.0092
<i>Bosmina hagmanni</i>	r	-0.0468	-0.1074	-	-0.1368	0.0378	0.0727	0.0393	0.1106
	P	0.6067	0.7364	-	0.8065	0.4071	0.3342	0.3930	0.2221
<i>Bosmina</i> sp.	r	0.0376	0.0846	-	-0.2420	-0.1481	0.1948	-0.1768	0.2262
	P	0.3947	0.2636	-	0.9497	0.8397	0.0919	0.8788	0.0832
<i>Daphnia gessneri</i>	r	-0.1522	-0.1987	-	-0.2223	-0.1825	0.4497	0.1502	0.3370
	P	0.8209	0.8694	-	0.9225	0.8840	0.0020	0.1674	0.0087
<i>Diaphanosoma</i> sp.	r	-0.1466	-0.1999	-	-0.3807	-0.3255	0.4846	-0.0649	0.4782
	P	0.8228	0.8850	-	0.9966	0.9858	0.0008	0.6612	0.0001
Náuplio Cyclopoida	r	-0.1592	-0.0379	-	-0.0947	0.1102	0.3994	-0.1984	0.5308
	P	0.8298	0.5645	-	0.7249	0.2364	0.0060	0.9005	0.0002
Copepodito Cyclopoida	r	-0.1931	-0.0209	-	-0.0935	0.0359	0.1336	0.0164	0.4142
	P	0.9061	0.5446	-	0.7264	0.4121	0.1938	0.4540	0.0031
<i>Thermocyclops minutus</i>	r	-0.1576	-0.2484	-	0.0531	0.0864	-0.0037	-0.1418	-0.0339
	P	0.8568	0.9582	-	0.3616	0.2822	0.5223	0.8236	0.5810
Náuplio Calanoida	r	-0.3807	-0.0587	-	-0.2296	-0.0519	0.1637	-0.1925	0.0095
	P	0.9936	0.6340	-	0.9339	0.6398	0.1503	0.8969	0.4761
Copepodito Calanoida	r	-0.1169	-0.2039	-	-0.2211	-0.2283	0.4047	0.0911	0.2958
	P	0.7511	0.8649	-	0.9268	0.9360	0.0055	0.2812	0.0180
<i>Notodiaptomus henseni</i>	r	0.0183	-0.1352	-	0.0068	-0.0322	-0.0753	-0.0105	0.0573
	P	0.4337	0.8435	-	0.4825	0.5832	0.7007	0.5342	0.3612
<i>Notodiaptomus</i> sp.	r	-0.1028	-0.0981	-	-0.1744	-0.2185	0.3339	0.1224	0.2221
	P	0.7308	0.7014	-	0.8625	0.9340	0.0161	0.2191	0.0652

Tabela S2 – Valores de correlação do teste de Mantel entre os gêneros e variáveis explanatórias: climáticas (C), distância geográfica (G), variáveis operacionais do reservatório (R), todas as variáveis limnológicas (E), variáveis iônicas (E₁); variáveis físicas (E₂), Variáveis químicas (E₃) e variáveis de produtividade (E₄), considerando a significância de P<0,05. Valores em negrito indicam valores significativos. Correlação (*r*) e significância (P).

Gêneros	<i>r e</i> P	Variáveis explanatórias							
		C	G	R	E	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Keratella	<i>r</i>	-0.0717	-0.1103	-	-0.1421	-0.0935	-0.0541	-0.2208	-0.0207
	P	0.6954	0.7575	-	0.8171	0.7346	0.6349	0.9278	0.5649
Ptygura	<i>r</i>	-0.1545	0.1182	-	-0.1226	0.0890	-0.1751	-0.2637	-0.0907
	P	0.8324	0.2424	-	0.7848	0.2764	0.8648	0.9574	0.7171
Collotheca	<i>r</i>	-0.1098	0.0462	-	-0.2691	-0.2134	0.1907	-0.1819	0.2934
	P	0.7614	0.3856	-	0.9643	0.9186	0.1029	0.8839	0.0256
Bosmina	<i>r</i>	-0.0603	-0.1579	-	0.0376	0.1962	-0.1210	-0.0437	0.0339
	P	0.6490	0.8517	-	0.4080	0.0910	0.7790	0.6171	0.4051
Daphnia	<i>r</i>	-0.1542	-0.1913	-	-0.2137	-0.1739	0.4268	0.1442	0.3138
	P	0.8262	0.8617	-	0.9201	0.8751	0.0028	0.1743	0.0147
Simocephalus	<i>r</i>	-0.1625	-0.1567	-	0.0895	0.2198	0.0875	0.0805	0.2241
	P	0.8494	0.8394	-	0.2854	0.0758	0.2784	0.3046	0.0651
Diaphanosoma	<i>r</i>	-0.1628	-0.2150	-	-0.3820	-0.3296	0.4738	-0.0613	0.4684
	P	0.8483	0.8959	-	0.9961	0.9885	0.0007	0.6525	0.0005
Náuplio de Cyclopoida	<i>r</i>	-0.1592	-0.0379	-	-0.0947	0.1102	0.3994	-0.1984	0.5308
	P	0.8363	0.5490	-	0.7220	0.2382	0.0047	0.9026	0.0001
Copepodito de Cyclopoida	<i>r</i>	-0.1931	-0.0209	-	-0.0935	0.0359	0.1336	0.0164	0.4142
	P	0.9070	0.5307	-	0.7206	0.4137	0.1797	0.4612	0.0034
Thermocyclops	<i>r</i>	-0.1837	-0.2826	-	0.0208	0.0358	0.2178	-0.0246	0.2528
	P	0.8692	0.9424	-	0.4453	0.4060	0.0869	0.5657	0.0427
Náuplio de Calanoida	<i>r</i>	-0.3807	-0.0587	-	-0.2296	-0.0519	0.1637	-0.1925	0.0095
	P	0.9943	0.6359	-	0.9295	0.6385	0.1512	0.8917	0.4843
Copepodito de Calanoida	<i>r</i>	-0.1169	-0.2039	-	-0.2211	-0.2283	0.4047	0.0911	0.2958
	P	0.7526	0.8615	-	0.9253	0.9370	0.0060	0.2766	0.0194
Notodiptomus	<i>r</i>	-0.0714	-0.1047	-	-0.1363	-0.1856	0.2856	0.1220	0.1944
	P	0.6713	0.7041	-	0.8091	0.8959	0.0339	0.2215	0.0847

Tabela S3 – Valores de correlação do teste de Mantel entre os grupos de zooplâncton e variáveis explanatórias: climáticas (C), distância geográfica (G), variáveis operacionais do reservatório (R), todas as variáveis limnológicas (E), variáveis iônicas (E₁); variáveis físicas (E₂), variáveis químicas (E₃) e variáveis de produtividade (E₄), considerando a significância de P<0,05. Valores em negrito indicam valores significativos. Correlação (r) e significância (P).

Grupos de zooplâncton	r e P	Variáveis explanatórias							
		C	G	R	E	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Rotífera	r	0.1919	-0.0207	-	0.0131	-0.0065	0.2000	-0.0911	0.2542
	P	0.1075	0.5600	-	0.4718	0.5101	0.0972	0.7263	0.0453
Cladocera	r	-0.1012	-0.0969	-	-0.3013	-0.2209	0.5081	0.0650	0.4776
	P	0.7171	0.6941	-	0.9768	0.9246	0.0006	0.3351	0.0001
Copepoda	r	-0.1502	-0.0451	-	-0.2940	-0.2266	0.3668	-0.0446	0.5464
	P	0.8361	0.6244	-	0.9788	0.9351	0.0085	0.6172	0.0001
Todos	r	-0.1612	-0.0615	-	-0.2820	-0.2221	0.4566	0.0187	0.5084
	P	0.8432	0.6442	-	0.9715	0.9316	0.0028	0.4556	0.0002

ANEXO III– Produto Técnico -Tecnológico (PTT)

PLÂNCTON



O Jogo de cartas “PLÂNCTON” é um produto técnico vinculado à dissertação de mestrado intitulada “Fatores Locais Determinam a Ausência de Sincronia em um Reservatório Tropical”, de autoria de Cláudia Félix de Almeida, sob orientação do Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva e coorientação da Dr^a Sara Lodi.

OBJETIVOS ACADÊMICOS

Este jogo didático tem como objetivo auxiliar no conhecimento sobre os principais grupos de zooplâncton de água doce na América do Sul. A sua aplicação é dinâmica e lúdica, de forma a tornar o processo de aprendizado interessante e divertido em diversos ambientes. As cartas estão disponíveis para download gratuito, sugerimos a impressão em papel de alta gramatura e se possível que seja feita a plastificação.

PUBLICO

Alunos de ensino médio e universitários

PORQUE JOGAR *PLÂNCTON*?

As combinações serão de cores e grupos da comunidade zooplanctônica, ao invés de números e cores. Além disso, os coringas permitem que os jogadores definam o grupo a ser jogado, e não a cor. Com isso, jogadores podem se familiarizar com a morfologia e algumas características biológicas dos grupos.

CARTAS DO JOGO

Baralho com 116 (cento e dezesseis) cartas, nas cores amarelo, vermelho, azul e verde, sendo

- 24 Copepoda (6 de cada cor)
- 24 Cladocera (6 de cada cor)
- 24 Rotifera (6 de cada cor)
- 24 Amebas testáceas (6 de cada cor)
- 4 cartas “Enriquecimento ambiental (uma de cada cor)
- 4 cartas “Impacto ambiental” (uma de cada cor)
- 4 cartas “Inverter” (uma de cada cor)
- 4 cartas “Ambiente restaurado” (uma de cada cor)
- 4 cartas coringas “mudança de grupo” (cartas pretas)

CARTAS ESPECIAIS

Enriquecimento ambiental (+2): o próximo jogador compra mais duas cartas



Impacto ambiental: os organismos formaram ovos de resistência para resistir ao impacto, o próximo jogador perde a vez



Inverter: o sentido do jogo é invertido



Ambiente restaurado (+4): o próximo jogador compra mais 4 cartas e pode escolher qual **grupo** deve ser jogado primeiro



Coringa: mudança de **grupo** (usada a qualquer hora)



COMO JOGAR

- Jogo para 2 a 4 jogadores para melhor rotatividade de cartas
- As cartas devem ser embaralhadas, em seguida entregues cinco para cada jogador (20 cartas - jogos com 4 participantes), as restantes viradas para baixo na mesa para posterior saque
- A primeira carta do baralho é virada e servirá de base para começar a partida
- O grupo de jogadores define quem jogará a primeira carta
- O primeiro jogador inicia descartando uma carta combinando cor, ou grupo zooplanctônicos com a primeira carta virada (exemplo: carta verde – copepoda combina com carta azul - copepoda)
- Caso o jogador não tenha a combinação terá de sacar uma carta. Se a carta permitir combinação, poderá ser descartada. Caso contrário, segue para o próximo jogador
- Atenção com as cartas especiais, elas podem te fazer comprar mais cartas, pular a vez ou inverter a rodada
- A rodada segue em sentido anti-horário em relação ao primeiro jogador e seguem as combinações até sobrar uma carta na mão
- Quando a primeira pessoa tiver uma carta na mão deverá gritar **plâncton**, se alguém perceber que não gritou, terá que comprar duas cartas antes do próximo jogador começar a jogar
- A primeira pessoa que bater ganha a rodada

Nota: quando a cartas da pilha de saque acabarem, utilizar as cartas já descartadas durante o jogo para sacar novamente

FICHA TÉCNICA

AUTORES

Cláudia Félix de Almeida¹

Daniel de Paiva Silva²

Sarah Lodi de Carvalho Spacek³

¹ *bióloga e mestranda em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado.*

² *biólogo, doutor em Ecologia e Evolução e docente do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí. Ensina Ecologia e Evolução para o ensino médio, a graduação e a pós-graduação.*

³ *bióloga, doutora em Ecologia e Evolução e pesquisadora na Universidade Federal do Pará.*

FOTOGRAFIAS E IMAGENS

<https://www.shetlandlochs.com/>

<https://www.phylopic.org>

<https://www.biodiversity4all.org/>

Acervo pessoal

PROJETO VISUAL E DIAGRAMAÇÃO

Cláudia Félix de Almeida

Daniel de Paiva Silva

Sarah Lodi de Carvalho Spacek

APOIO:

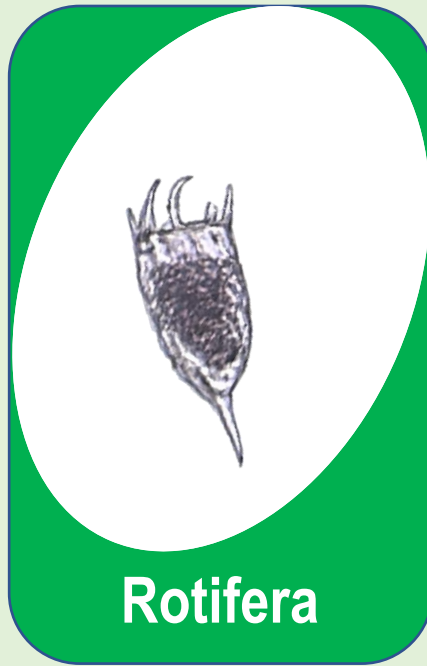




Rotifera



Rotifera



Rotifera



Rotifera



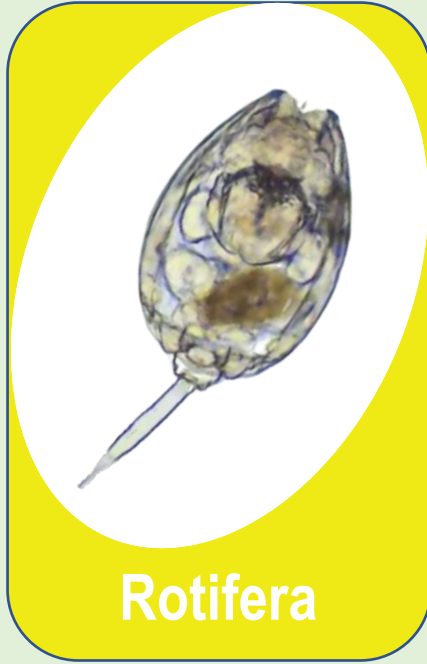
Rotifera



Rotifera



Rotifera



Rotifera



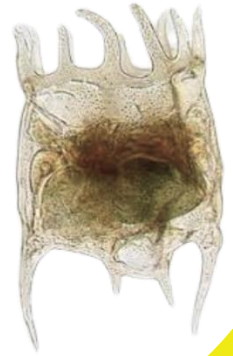
Rotifera



Rotifera



Rotifera



Rotifera



Rotifera



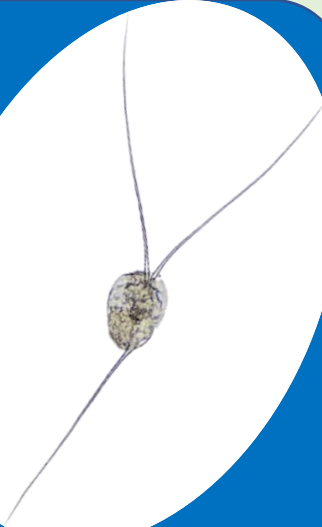
Rotifera



Rotifera



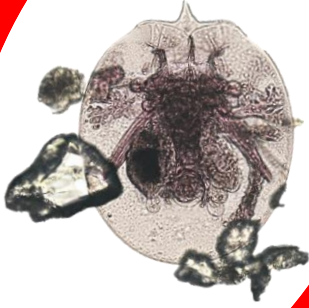
Rotifera



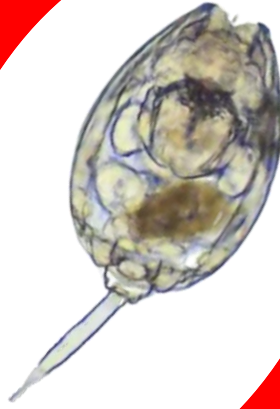
Rotifera



Rotifera



Rotifera



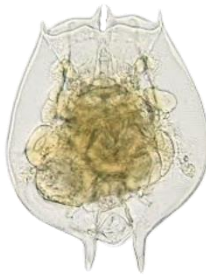
Rotifera



Rotifera



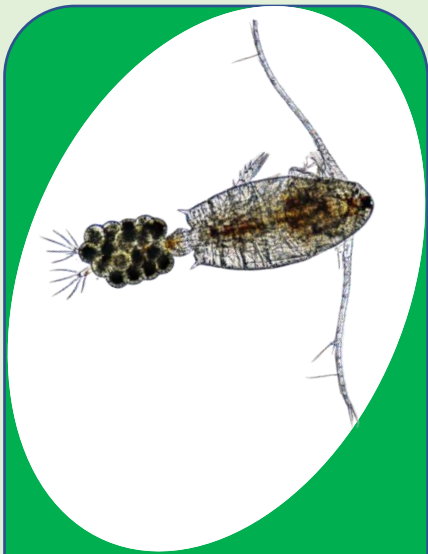
Rotifera



Rotifera



Rotifera



Copepoda



Copepoda



Copepoda



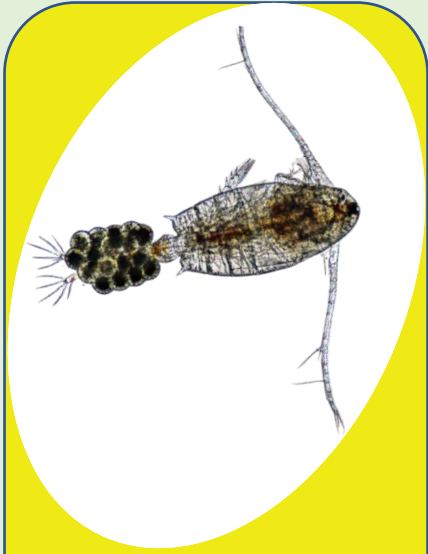
Copepoda



Copepoda



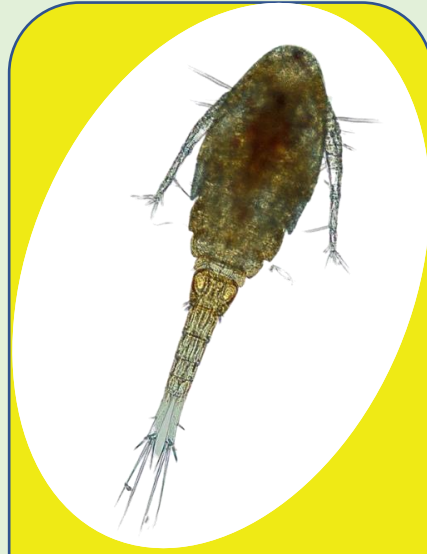
Copepoda



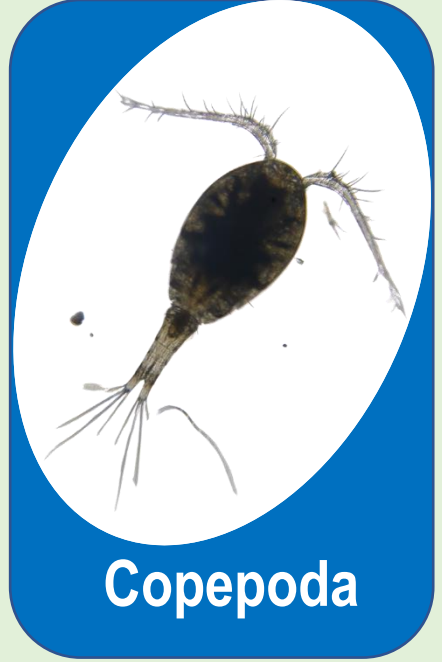
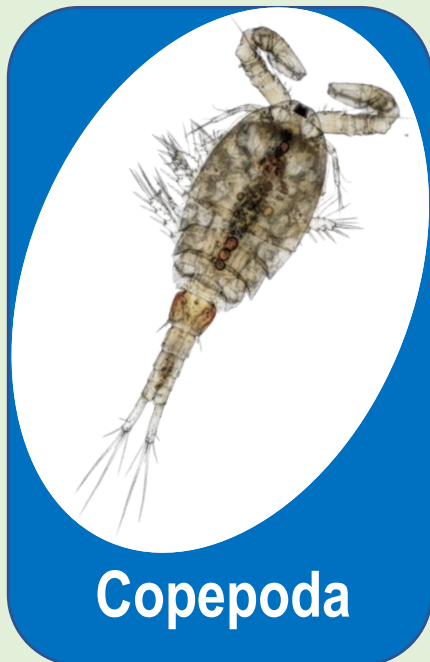
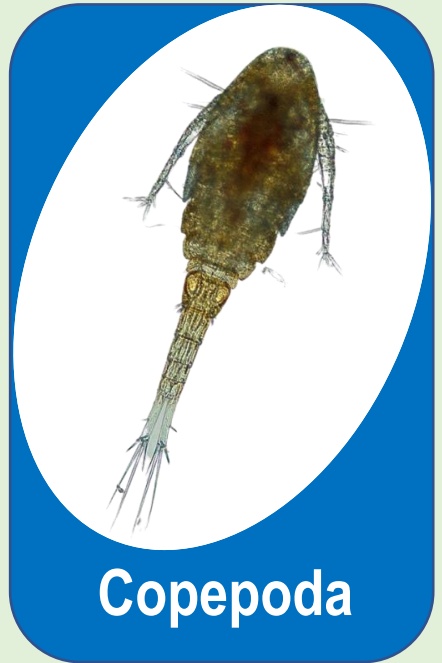
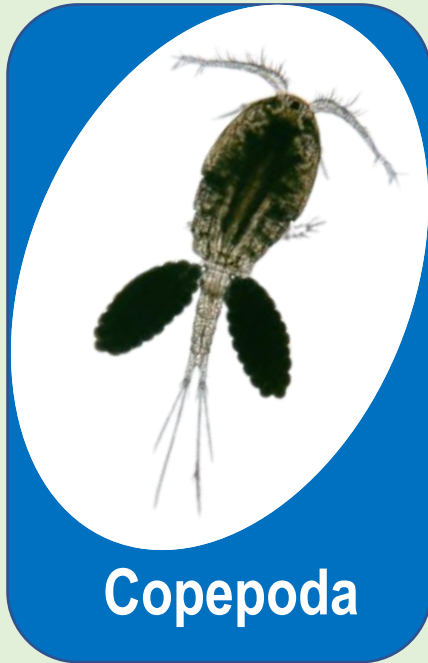
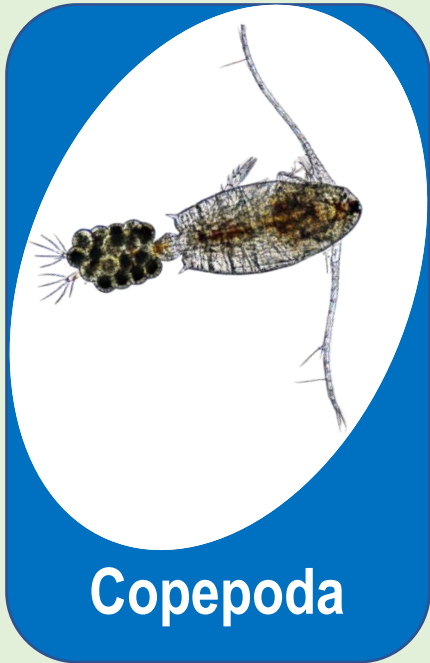
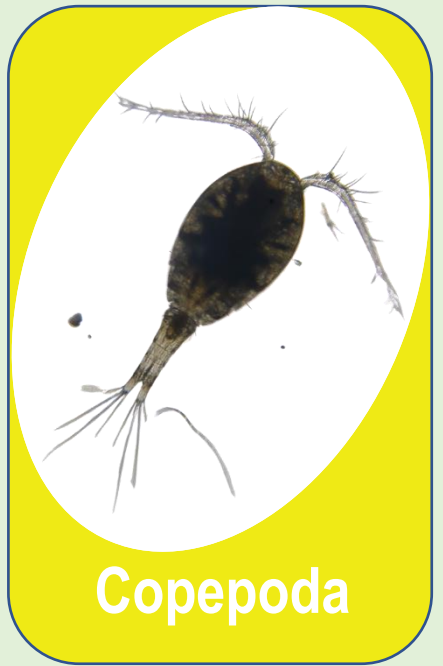
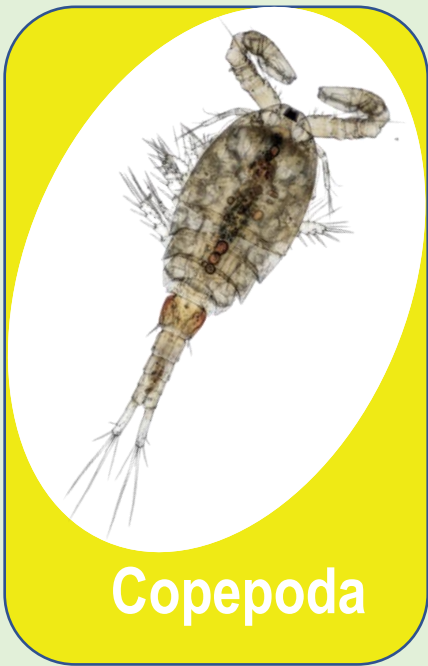
Copepoda

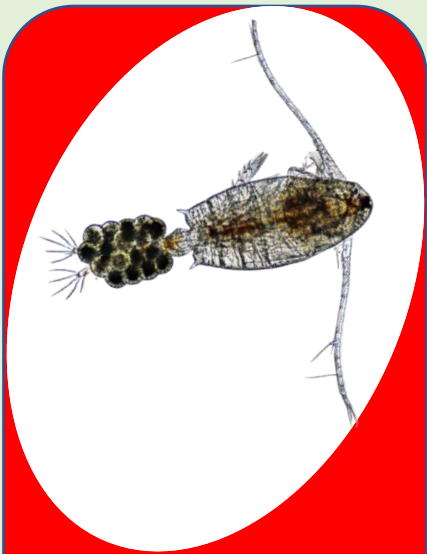


Copepoda

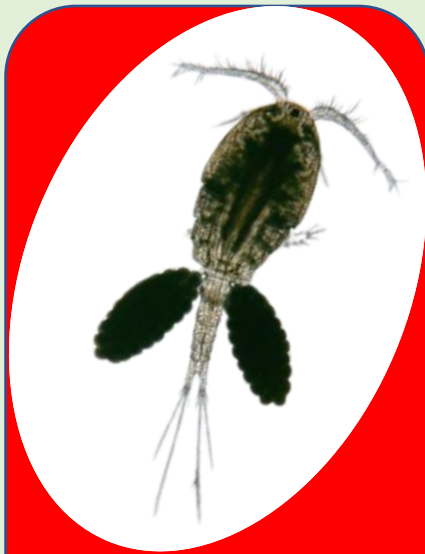


Copepoda

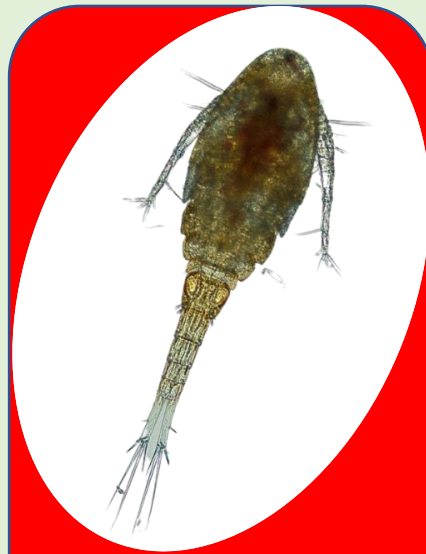




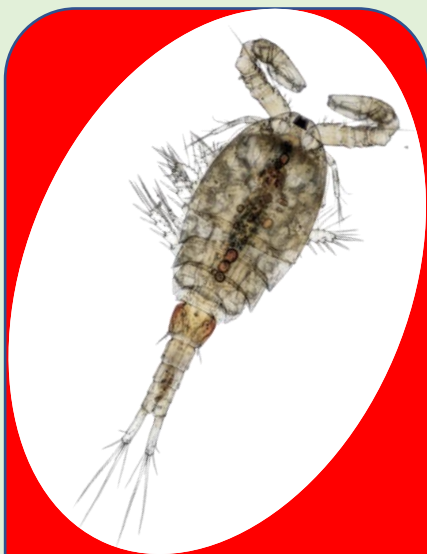
Copepoda



Copepoda



Copepoda



Copepoda



Copepoda



Copepoda



Cladocera



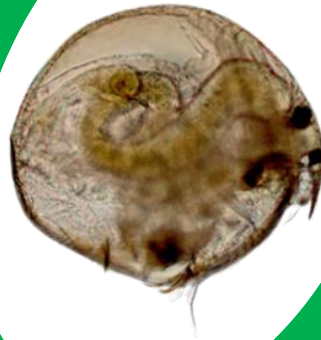
Cladocera



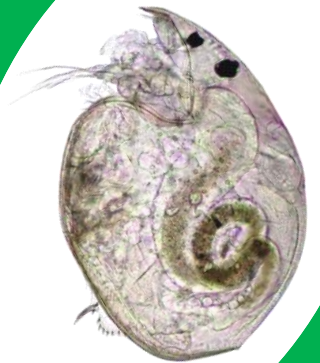
Cladocera



Cladocera

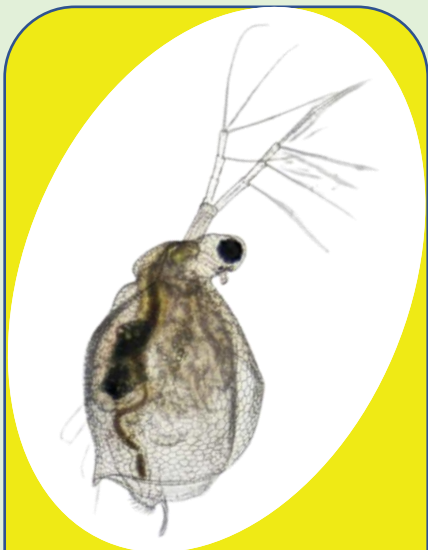


Cladocera



Cladocera





Cladocera



Cladocera



Cladocera



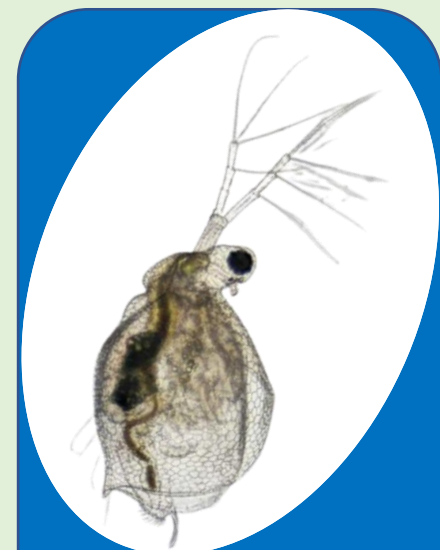
Cladocera



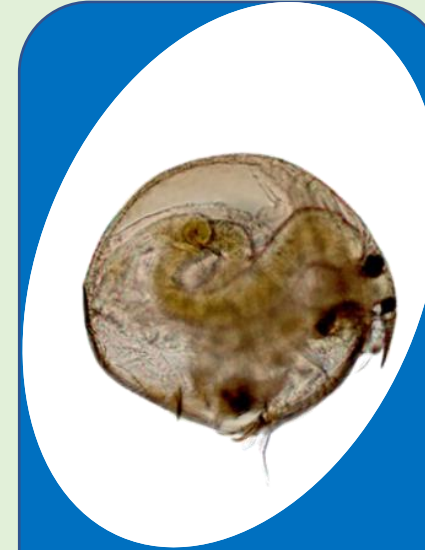
Cladocera



Cladocera



Cladocera



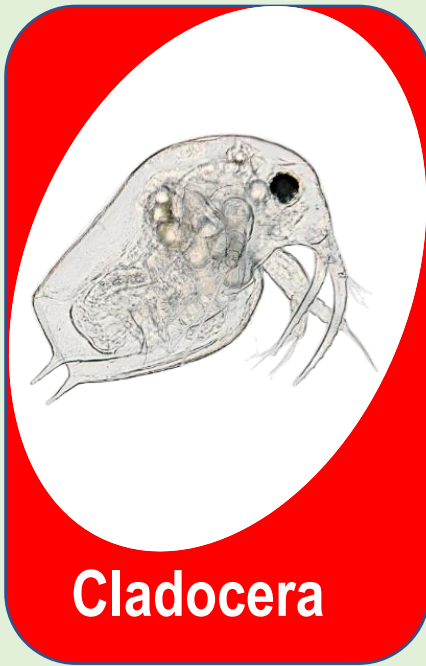
Cladocera



Cladocera



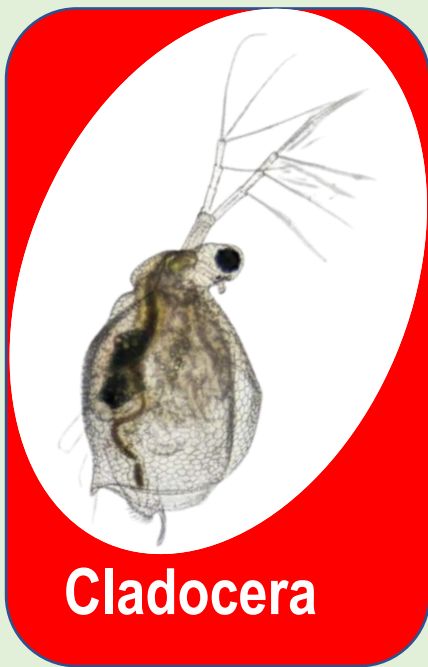
Cladocera



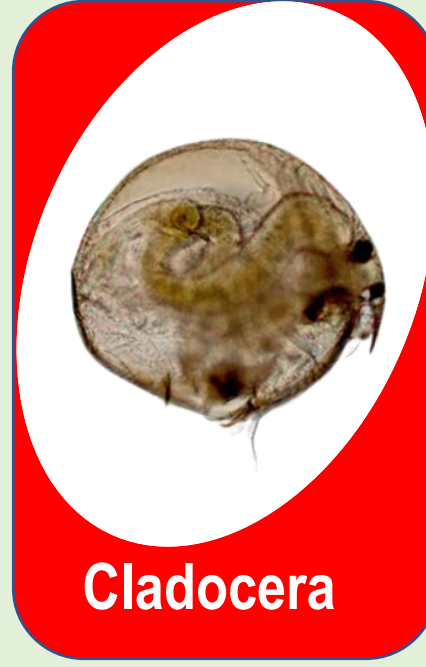
Cladocera



Cladocera



Cladocera



Cladocera



Cladocera



Amebas testáceas



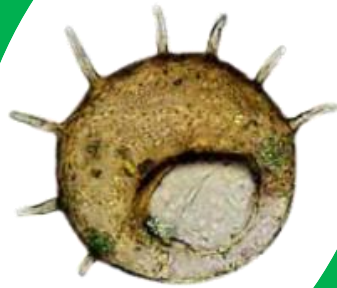
Amebas testáceas



Amebas testáceas



Amebas testáceas



Amebas testáceas



Amebas testáceas



Amebas testáceas



Amebas testáceas



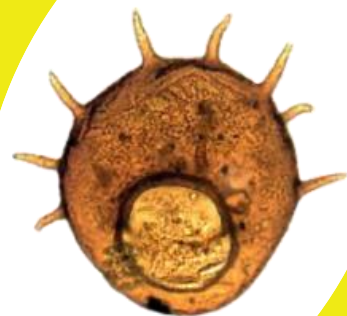
Cladocera



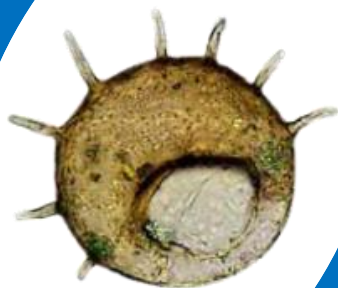
Amebas testáceas



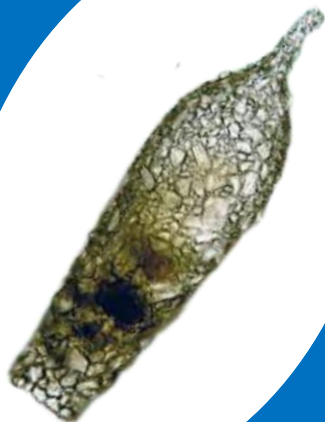
Amebas testáceas



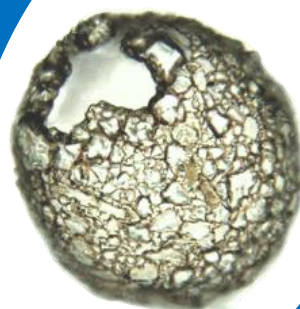
Amebas testáceas



Amebas testáceas



Amebas testáceas



Amebas testáceas



Amebas testáceas



Amebas testáceas



Amebas testáceas



Amebas testáceas



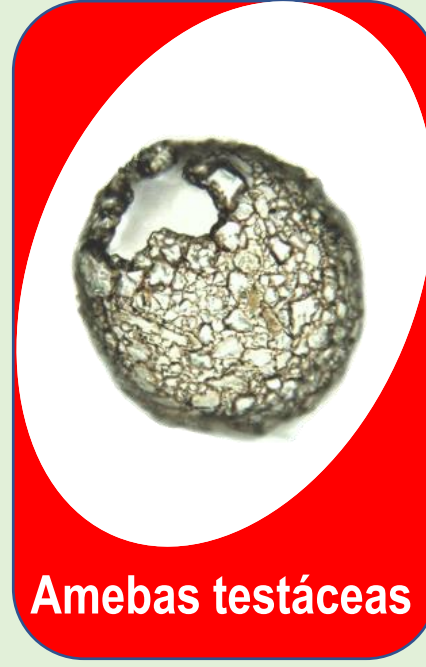
Amebas testáceas



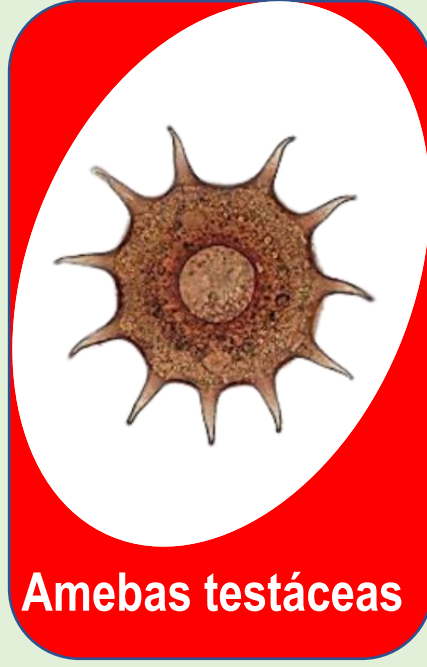
Amebas testáceas



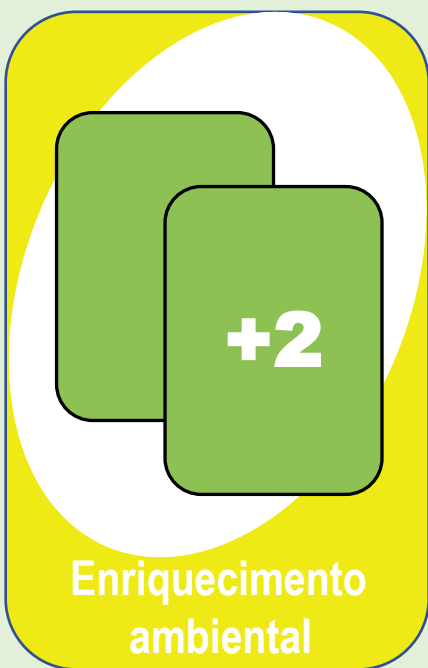
Amebas testáceas



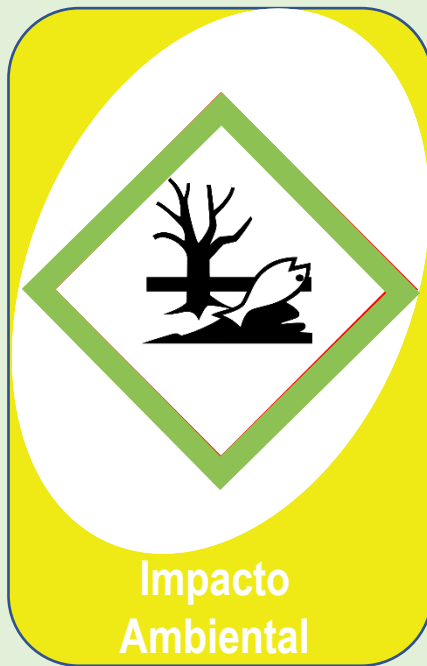
Amebas testáceas



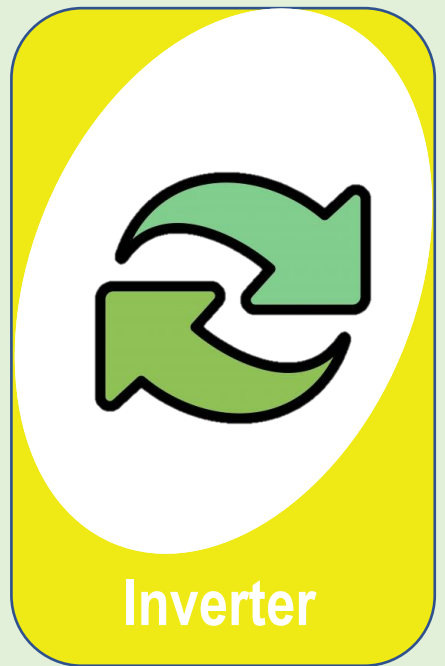
Amebas testáceas



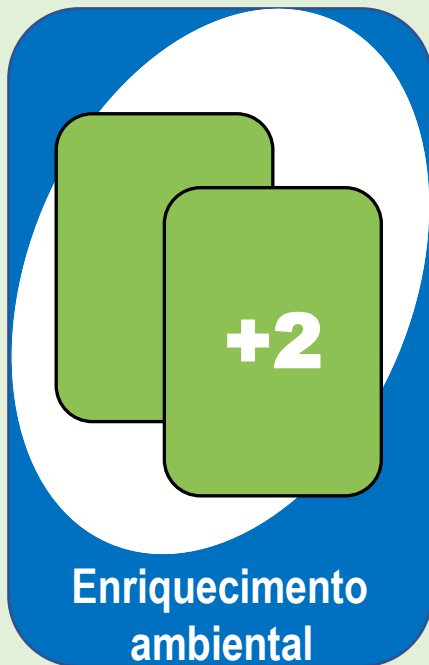
Enriquecimento ambiental



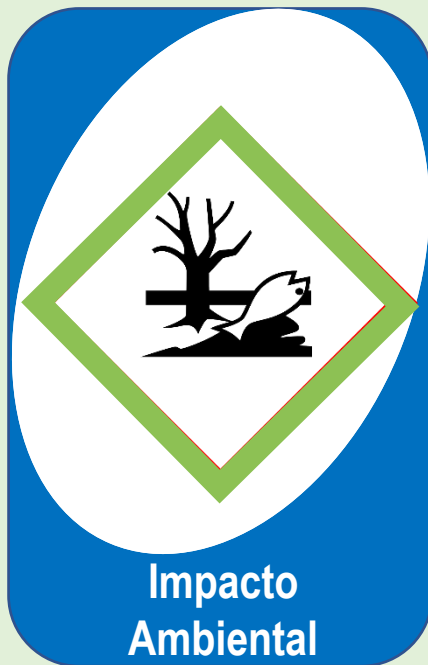
Impacto Ambiental



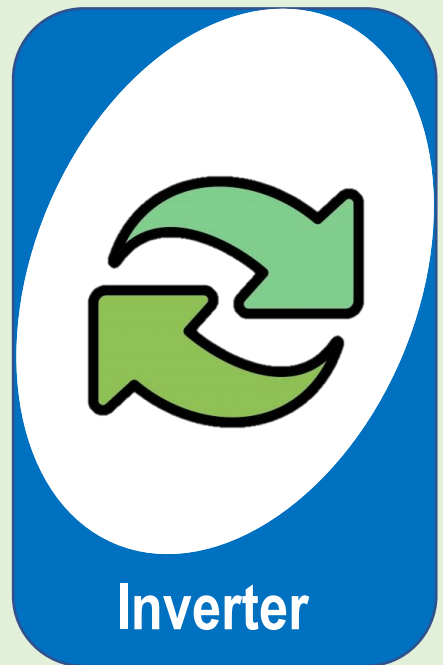
Inverter



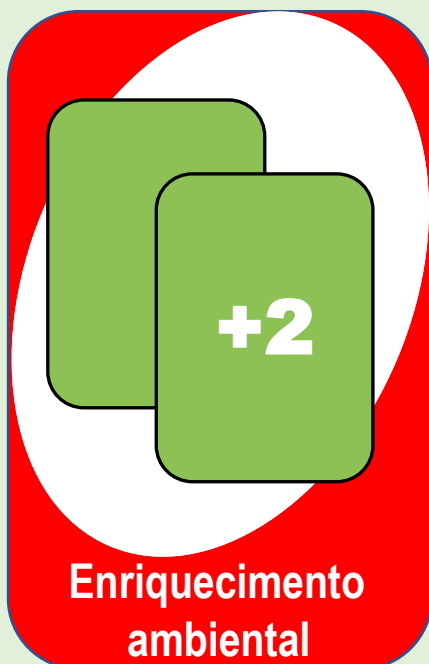
Enriquecimento ambiental



Impacto Ambiental



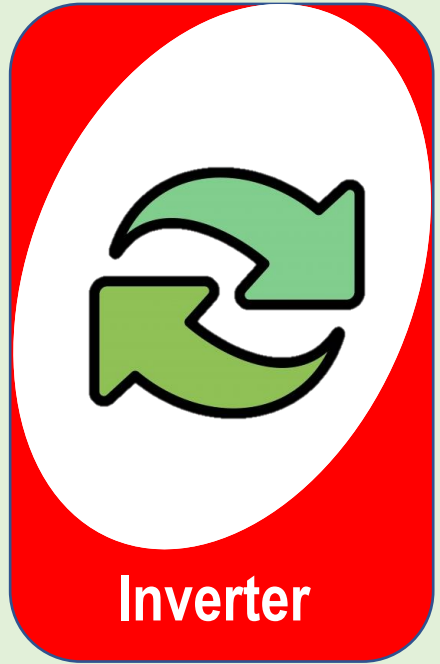
Inverter



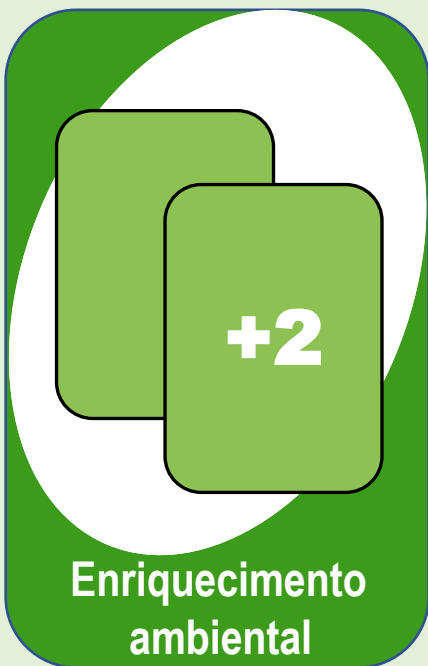
Enriquecimento ambiental



Impacto Ambiental



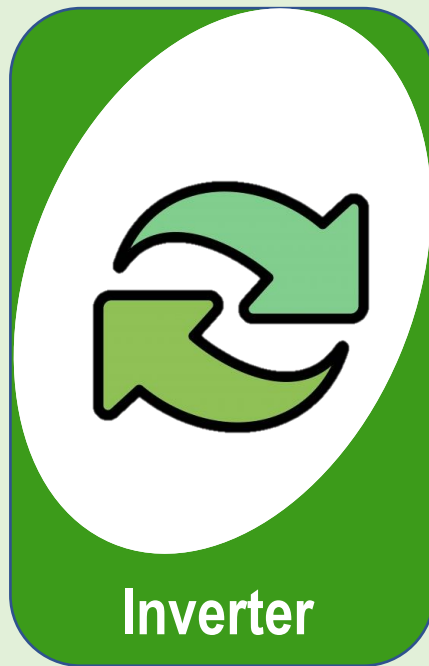
Inverter



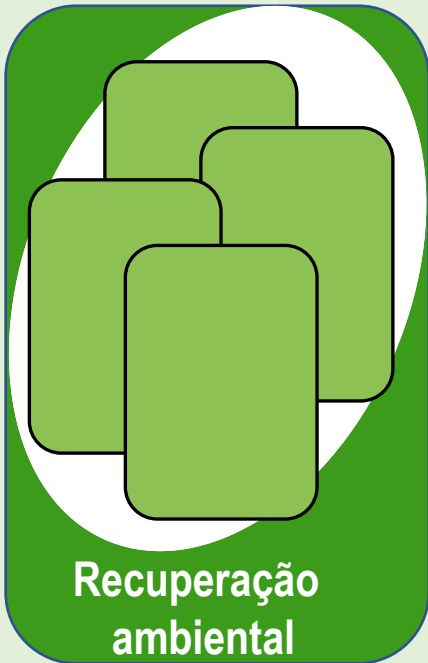
Enriquecimento ambiental



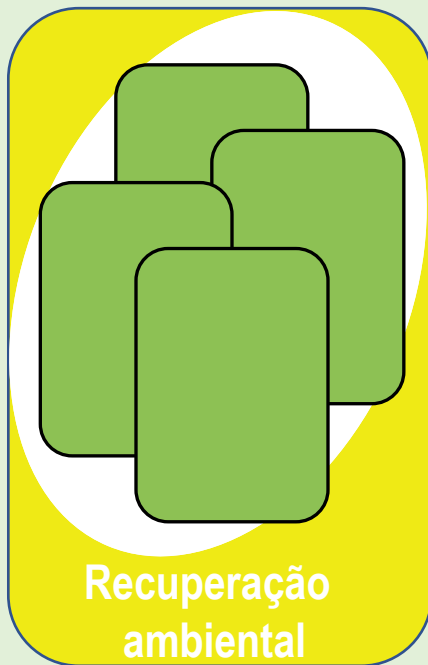
Impacto Ambiental



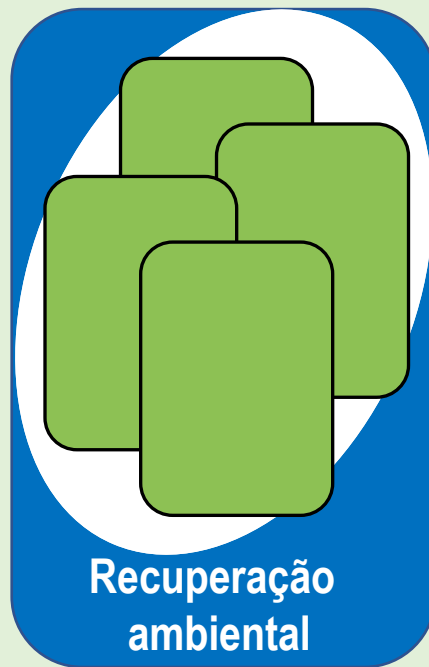
Inverter



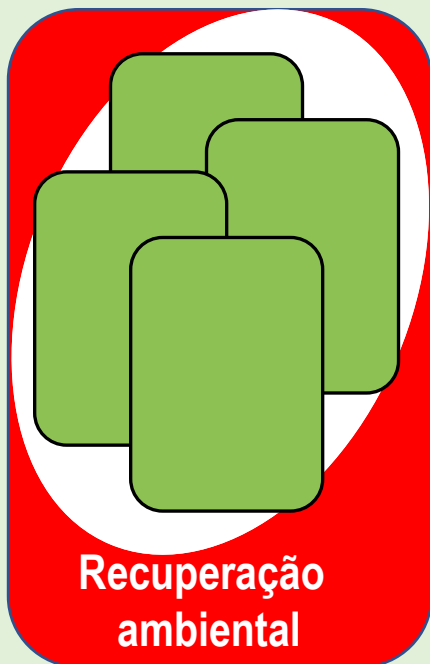
Recuperação ambiental



Recuperação ambiental



Recuperação ambiental



Recuperação ambiental



Coringa: escolha um grupo



Coringa: escolha um grupo

