

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO



CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
BIOLÓGICAS (BIODIVERSIDADE NEOTROPICAL)



EWERTON FINTELMAN DE OLIVEIRA

ECOLOGIA FUNCIONAL DAS COMUNIDADES ZOOPLANCTÔNICAS DE
RESERVATÓRIOS DO SUDESTE DO BRASIL

Rio de Janeiro

2019

EWERTON FINTELMAN DE OLIVEIRA

ECOLOGIA FUNCIONAL DAS COMUNIDADES ZOOPLANCTÔNICAS DE RESERVATÓRIOS DO
SUDESTE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biodiversidade Neotropical) da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Christina Wyss Castelo Branco

Rio de Janeiro

2019

048

Oliveira, Ewerton Fintelman de
Ecologia Funcional das comunidades
zooplanctônicas de reservatórios do sudeste do
Brasil/ Ewerton Fintelman de Oliveira. -- Rio
de Janeiro, 2019.
76

Orientadora: Christina Wyss Castelo Branco.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-
Graduação em Ciências Biológicas, 2019.

1. Zooplâncton. 2. Ecologia funcional. 3.
Eutrofização. 4. Reservatórios tropicais. I.
Branco, Christina Wyss Castelo, orient. II.
Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO



CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
BIOLÓGICAS (BIODIVERSIDADE NEOTROPICAL)



ECOLOGIA FUNCIONAL DAS COMUNIDADES ZOOPLANCTÔNICAS DE RESERVATÓRIOS DO SUDESTE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Ciências Biológicas do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biodiversidade Neotropical) da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro no dia 25 de janeiro de 2019, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas. A mesma foi avaliada pela banca examinadora composta pelos Professores Dr. Reinaldo Luiz Bozelli (UFRJ), Dr. Luciano Neves dos Santos (UNIRIO) e Dra. Christina Wyss Castelo Branco (UNIRIO), sendo suplentes os Professores Jayme Magalhães Santangelo (UFRRJ) e Betina Koslowski-Suzuki e _____ com o conceito _____.

Prof. Dr. Reinaldo Luiz Bozelli

Prof. Dr. Luciano Neves dos Santos

Prof.^a Dr.^a. Christina Wyss Castelo Branco

Dedico este trabalho a todas as pessoas que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para o meu sucesso enquanto estudante de pós-graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, meus orixás e guias pela base espiritual e guarnição durante toda a minha vida acadêmica.

À minha mãe Solange Fintelman pela paciência nos momentos difíceis. Obrigado por acreditar em mim até mesmo quando eu deixei de acreditar. Obrigado por me incentivar ontem, hoje e sempre. À minha tia Sônia Fintelman pelo suporte e torcida por toda a vida. Obrigado por tudo. À minha irmã Kelly Fátima Fintelman por sempre torcer e acreditar no meu potencial.

À minha namorada Marianne Rodrigues por ter sido um anjo da guarda em terra e por sempre ter uma palavra amiga para me acalmar frente ao desespero.

Agradeço à minha orientadora Christina Wyss Castelo Branco por ter acreditado no potencial deste trabalho e tê-lo bem guiado e incentivado.

Agradeço à Dra. Carla Kruk e Dra. Gissell Lacerot por terem me recebido no Centro Universitario de la Región Este (CURE) e por todo o aprendizado que me foi concedido durante os meses de intercâmbio.

Agradeço à banca examinadora pelo cuidado na avaliação deste e pela rica contribuição a ser dada para este trabalho.

Aos meus amigos Thompson Stellet, Ian Tirelli e Luciano de Queiroz, pois a amizade é um alicerce inabalável para a sanidade de um jovem cientista. Estar à vontade entre amigos foi um combustível para as incontáveis horas desenvolvendo este trabalho.

Ao Nathan Barros e à Raquel Mendonça pela oportunidade de trabalho dada durante o desenvolvimento deste mestrado. Sem isso, não seria possível realizar este trabalho.

Aos meus companheiros de laboratório Gabriel Klippel, Mariana Guedes, Dra. Betina Suzuki, Dra. Samira Portugal, Dr. Roberto Silveira, Karen Costa, Rafael Macedo, Rayanne Brandão, Fernanda Oliveira e Raphael “Fausto” por terem dividido momentos de trabalho e descontração.

“O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar com mais inteligência.”
Henry Ford

“Tudo é tudo e nada é nada.”
Tim Maia

RESUMO

Abordagens baseadas em atributos funcionais tem sido utilizadas extensivamente em ecossistemas límnicos para elucidar como variáveis ambientais afetam a dinâmica de comunidades. Entretanto, estudos em regiões tropicais e particularmente referentes a comunidades zooplânctônicas são pouco frequentes. Ecossistemas aquáticos tropicais podem ser amplamente influenciados por variações sazonais de precipitação junto as da temperatura do ar, e como resultado, as forças agindo sobre as comunidades aquáticas são diferentes de ecossistemas temperados. Nosso objetivo foi avaliar o efeito das variações sazonais do ambiente nas comunidades zooplânctônicas de reservatórios tropicais utilizando grupos funcionais do zooplâncton (ZFG) baseados em atributos funcionais individuais relacionados com morfologia, habitat, alimentação, escape à predação e reprodução. O zooplâncton e variáveis ambientais foram amostradas por três anos (estações seca e chuvosa). Uma combinação de cluster hierárquico e árvores de regressão e classificação (CART) foi usada para construir e testar os ZFG. Foram identificados seis ZFGs baseados em quatro dos oito atributos originais, em sua maioria relacionados com preferências de habitat e alimentação. A densidade e biomassa dos grupos funcionais foram significativamente explicadas pelas condições ambientais dos reservatórios. O estado trófico, influenciado pela chuva, influenciou as mudanças na dominância dos grupos funcionais de acordo com o habitat. Pelágicos raptoriais e sugadores (Prs) e pelágicos micrófagos com defesa passiva ou natação rápida (Pmi) foram dominantes na maioria dos reservatórios, com exceção do reservatório intensamente colonizado por macrófitas aquáticas, onde os litorâneos micrófagos (Lmi) prevaleceram. A chuva alterou a turbidez na coluna d'água pelo aumento da matéria particulada em habitats pelágicos, favorecendo os Pmi. Os resultados aprovam o uso de abordagens baseadas em atributos funcionais para entender e prever mudanças na comunidade zooplânctônica e ressaltam a relevância da chuva como importante força direcionadora em reservatórios tropicais. A aplicação dessa abordagem para monitorar o efeito da eutrofização e manejo de mudanças hidrológicas se mostra como uma ferramenta promissora.

Palavras-chave: tropical, zooplâncton, atributos funcionais, habitat, alimentação, eutrofização, precipitação

ABSTRACT

Trait-based approaches have been extensively used in freshwater ecosystems to elucidate how environmental conditions affect community dynamics. However, studies from tropical regions and particularly on zooplankton communities are less frequent. Tropical aquatic ecosystems can be largely influenced by seasonal variation of precipitation besides air temperature, and as a result, the driving forces acting on aquatic communities are different from temperate ecosystems. Our objective was to evaluate the effect of seasonal environmental changes on zooplankton communities of tropical reservoirs using zooplankton functional groups (ZFGs) based on individual traits related to morphology, habitat, feeding, predator avoidance and reproduction. Zooplankton and environmental variables were sampled for three years (dry and rainy seasons). A combination of hierarchical clusters and classification and regression trees (CART) was used to construct and test the ZFG. We identified six ZFGs based on four from the eight original traits, mainly related to habitat and feeding preferences. The density and biomass of the ZFGs were significantly explained by environmental conditions of the reservoirs. Trophic status, influenced by rain, influenced the changes in dominance of ZFGs according to habitat. ZFG Prs (pelagic raptors and suckers) and Pmi (pelagic microphages with passive defense or rapid swimming) were dominant in most reservoirs except in the reservoir intensively colonized by aquatic macrophytes where the ZFG Lmi (littoral microphages) prevailed. Rain altered light in the water column by increasing the amount of particulate matter in pelagic habitats favouring ZFG Pmi. Our results support both the use of trait-based approaches to understand and predict zooplankton communities' changes and the relevance of precipitation as an important driving force in tropical reservoirs. The application of this approach to monitor the effect of eutrophication and hydrological management changes seems to be a promising tool.

Key words: tropical, zooplankton, functional traits, habitat, feeding, eutrophication, precipitation

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURE 1: MAP OF THE STUDY AREA SHOWING THE SOUTHEAST ATLANTIC BASIN, THE RESERVOIRS, ITS DAMS AND A DIAGRAM OF THEIR CONNECTIVITY ARE INCLUDED. KM: KILOMETERS, LAJ: LAJES, PCO: PONTE COBERTA, SAN: SANTANA, VIG: VIGÁRIO. 28

FIGURE 2: RAINFALL AND TROPHIC STATE INDEX (TSI). MONTHLY DATA FOR RAINFALL AND DATA FOR EACH SAMPLING FOR TROPHIC STATE INDEX. SAN: SANTANA, VIG: VIGÁRIO, PCO: PONTE COBERTA AND LAJ: LAJES. 36

FIGURE 3: LINEAR REGRESSIONS BETWEEN LENGTH AND WIDTH AMONG ZOOPLANKTON PHYLOGENETIC GROUPS. 37

FIGURE 4: LENGTH (MM) AMONG TAXONOMIC GROUPS (A) AND FUNCTIONAL TRAITS: HABITAT (B), FEEDING MODE (C) AND PREDATORY ESCAPE RESPONSE (D). LOW SW = SLOW SWIMMING, MED SW = MEDIUM SWIMMING, PAUSE/JUMP= PAUSING AND JUMPING, RAP SW = RAPID SWIMMING. 38

FIGURE 5: RESULTS OF THE CLASSIFICATION AND REGRESSION TREE (CART) REPRESENTING THE SIX ZOOPLANKTON FUNCTIONAL GROUPS (ZFG: A TO F) AND THE THREE CATEGORICAL TRAITS SELECTED BY THE CART TO CLASSIFY SPECIES. 42

FIGURE 6: HEATMAP SHOWING ZFG DOMINANCE BY RESERVOIR. TROPHIC STATE INDEX (TSI) SHOWED BY RESERVOIR, YEAR AND SEASON. 45

FIGURA SUPLEMENTAR 1: DENDROGRAMA OBTIDO A PARTIR DE MATRIZ DE DISTÂNCIAS EUCLIDIANAS COMPLETAS ABRANGENDO OS ATRIBUTOS COMPRIMENTO, LARGURA, BIOMASSA, HABITAT, TIPO DE ALIMENTAÇÃO E ESTRATÉGIA DE ESCAPE A PREDACÃO. 71

FIGURA SUPLEMENTAR 2: ÁRVORE DE CLASSIFICAÇÃO E REGRESSÃO (CART) DOS GRUPOS FUNCIONAIS OBTIDOS NA FIGURA SUPLEMENTAR 1, ONDE (LIFE; S=SHORT), (HABITAT; P=PELÁGICO), (FEEDING; F=FILTRATION, R=RAPTORIAL, S=SUCKER, SC=SCRAPER), (PER=PREDATORY ESCAPE RESPONSE; LS=SLOW SWIMMING, RS=RAPID SWIMMING). 72

LISTA DE TABELAS

TABLE 1: MORPHOMETRIC AND HYDROLOGICAL FEATURES OF THE FOUR STUDIED RESERVOIRS. OPER.: START OF OPERATION (YEAR) AREA: AVERAGE AREA (KM²); LEVEL.: RANGE OF WATER LEVEL VARIATION (A.S.L.), FROM JANUARY 2011 TO APRIL 2014; TWV: TOTAL WATER VOLUME (HM²); WRT: WATER RETENTION TIME (DAYS); TOTAL P: TOTAL PHOSPHOROUS RANGE (MG/L); CHL-A: CHLOROPHYLL-*A* RANGE (μG/L); SECCHI D: SECCHI DISK DEPTH RANGE (M); TURB: TURBIDITY RANGE (NTU); TROPH ST. INDEX: TROPHIC STATE INDEX AVERAGE BY SEASON (DRY/RAIN), WHERE OLIGO: OLIGOTROPHIC, MESO: MESOTROPHIC AND EUTR: EUTROPHIC. **32**

TABLE 2: FUNCTIONAL TRAITS OF ZOOPLANKTON SPECIES INCLUDING METHODS, CATEGORIES OF TRAITS, REFERENCES, THE LINEAR REGRESSIONS AND THE LIKELIHOOD RATIO TEST. **34**

TABLE 3: SUMMARY OF THE ZFG DESCRIPTION: NAME, BODY SIZE RANGE (BS RANGE), CATEGORICAL TRAITS (HABITAT, FEEDING, PREDATORY ESCAPE RESPONSE [SLOW SW: SLOW SWIMMING, MED SW: MEDIUM SWIMMING, RAPID SW: RAPID SWIMMING, PAUSE/JUMP: PAUSING AND JUMPING]), NUMBER OF TAXA (NUM. OF TAXA) BY ZTG (ROTIFERA, CLADOCERA AND COPEPODA) AND MAIN TAXA BY EACH ZFG. **40**

TABLE 4: MULTIPLE LINEAR REGRESSIONS (MLR) COEFFICIENTS OF DENSITY AND BIOMASS OF THE FUNCTIONAL GROUPS FROM ENVIRONMENTAL VARIABLES (SHOWED ONLY COEFFICIENTS WITH P-VALUE < 0.05) AND ITS R² AND P-VALUES. **44**

TABELA SUPLEMENTAR 1: MATRIZ DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS UTILIZADOS E CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA POR ESPÉCIE. LENGHT E WIDTH (MM) E BIOMASS (MGC.M⁻³)..... **67**

TABELA SUPLEMENTAR 2: GRUPOS FUNCIONAIS OBTIDOS NA FIGURA SUPLEMENTAR 1 E OS ERROS DE CLASSIFICAÇÃO APONTADOS PELO CART (FIGURA SUPLEMENTAR 2). **72**

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO.....	VIII
ABSTRACT	IX
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	X
LISTA DE TABELAS.....	XI
SUMÁRIO.....	11
INTRODUÇÃO GERAL	12
1. ZOOPLÂNCTON EM RESERVATÓRIOS TROPICAIS: ECOLOGIA E BIODIVERSIDADE.....	12
1.1 RESERVATÓRIOS TROPICAIS.....	12
1.2 COMUNIDADES ZOOPLANCTÔNICAS.....	13
2. ECOLOGIA FUNCIONAL	14
2.1 CONCEITOS.....	14
2.2 ECOLOGIA FUNCIONAL DO ZOOPLÂNCTON.....	15
OBJETIVOS	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO GERAL.....	19
CAPÍTULO 1: ZOOPLANKTON FUNCTIONAL GROUPS IN THE TROPICS: THE EFFECT OF TROPHIC STATE AND RAINFALL	23
APÊNDICES DO CAPÍTULO 1.....	67
1. SEÇÃO DE MATERIAL SUPLEMENTAR	67
CONCLUSÃO GERAL	73

INTRODUÇÃO GERAL

1. Zooplâncton em reservatórios tropicais: ecologia e biodiversidade

1.1 Reservatórios tropicais

Reservatórios artificiais são complexos sistemas intermediários entre rios e lagos, cuja evolução depende da entrada de inúmeras informações no tempo e no espaço as quais interferem com os processos de evolução das comunidades planctônicas, bentônicas e de peixes, e com a composição química da água (Tundisi, 1999). Estes sistemas sofrem com frequentes mudanças hidrológicas, já que são corpos d'água manipuláveis operacionalmente. Somados esses fatores às variações climáticas sazonais, os reservatórios podem apresentar características heterogêneas, mesmo quando inseridos numa mesma região hidrográfica (Nilsson, 2009). Além de sua importância econômica, reservatórios são sistemas extraordinariamente ricos no tocante a biodiversidade de alguns grupos, como peixes, algas, rotíferos e cladóceros (Agostinho, Sidinei & Gomes, 2005).

Tundisi (2003) disserta sobre ameaças para a biodiversidade em águas continentais tropicais, citando o tratamento inadequado de água, a presença de grandes áreas urbanas, indústrias e agricultura, além do desmatamento. Estas ameaças, quando atuantes em reservatórios tropicais, causam o aceleração do processo de eutrofização, que é causado pelo aporte de nutrientes, em especial nitrogênio e fósforo, provenientes da agricultura, urbanização, industrialização e o intenso uso do entorno dos ambientes aquáticos, constituindo em fontes difusas. Esse fator tem comprometido a qualidade da água desses sistemas, além da diminuição da diversidade biológica (Lodi *et al.*, 2011).

As mudanças climáticas sofridas em escala global na atualidade tornam o monitoramento de reservatórios tropicais essencial. Vale ressaltar que o monitoramento constante proporciona um conhecimento ecológico mais apurado, visto que as variações do ambiente são rápidas e, em muitos casos, bem significativas. Ao comparar as mudanças de um período para outro, podemos entender a causa de modificações no ambiente a partir da análise das variáveis. O estudo sobre as variáveis físicas, químicas e biológicas avaliam os impactos da eutrofização (Soares *et al.*, 2012). Os resultados de análises de comunidades zooplantônicas auxiliam também no entendimento do processo de eutrofização nos ecossistemas aquáticos continentais (Sampaio *et al.*, 2002).

1.2 Comunidades zooplanctônicas

As comunidades zooplanctônicas representam um dos grupos com maior riqueza e abundância em águas continentais (Santos, Moreira & Rocha, 2013). São quatro os principais grandes grupos de invertebrados que compõem o zooplâncton límnic: protozoários, rotíferos, cladóceros e copépodes.

O entendimento da estruturação e estabelecimento das comunidades zooplanctônicas é um dos pontos-chaves para o estudo de reservatórios artificiais, pois estas constituem bioindicadores importantes de aspectos referentes à qualidade de água (Branco *et al.*, 2002; Vieira *et al.*, 2009). Falk-Petersen *et al.* (1999) apontam que o ciclo de vida do zooplâncton facilita a assimilação das variações na qualidade do ecossistema aquático estudado devido ao ciclo ser rápido e totalmente proporcional a qualidade da água do ecossistema mensurado. Algumas espécies são mais suscetíveis a alterações no ecossistema, enquanto outras apenas se desenvolvem em águas de boa qualidade.

As espécies que vivem no plâncton de águas continentais estão submetidas, simultaneamente, a competição por recursos limitados e pressão de predação que são variáveis no tempo e no espaço (Bocaniov & Smith, 2009). O sucesso de uma espécie depende da sua capacidade de usar os recursos disponíveis (alimentos que variam em tamanho, teor de nutrientes e concentração) e na sua estratégia de história de vida para atender às diferentes restrições de alocação de recursos. Considera-se, sob a ótica de dinâmica ambiental, que o plâncton é um sistema funcional integrado à coluna d'água.

Os organismos planctônicos estão no centro de microscópicas malhas de controle com regulação feita pela existência de “feedbacks” entre os organismos e seus ambientes, que inclui também outros organismos, também planctônicos ou não. A característica desta regulação se baseia no metabolismo dos organismos, que exibem diferentes estratégias de vida. A história da estratégia de vida é um produto do conflito entre as demandas metabólicas do organismo, e condições de condições bióticas e abióticas do meio ambiente. Processos evolutivos resultaram em diferentes estratégias de alocação de recursos, como um mecanismo para o sucesso na competição com outros usuários dos mesmos ou semelhantes recursos, e na reação a predadores (Walz, 1995).

Em ambientes aquáticos, o zooplâncton desempenha um papel importante na estruturação de comunidades fitoplanctônicas (McCauley & Briand, 1979; Pinto-Coelho *et al.*, 2005; Jeppesen *et al.*, 2011) e em mediar o fluxo de energia para níveis tróficos superiores em habitats pelágicos (Tundisi, Matsumura-Tundisi & Abe, 2008). Os organismos zooplanctônicos apresentam enorme diversidade de aspectos funcionais, estratégias ecológicas e, conseqüentemente, uma variedade de potenciais impactos em outros níveis tróficos, incluindo a alça microbiana (Obertegger & Manca, 2011; Litchman, Ohman & Kiørboe, 2013).

Diversos estudos no Brasil têm caracterizado as comunidades zooplanctônicas de reservatórios e evidenciado associações com variáveis ecológicas contribuindo para a caracterização dos ecossistemas (Arcifa, 1984; Sampaio *et al.*, 2002; Pinto-Coelho *et al.*, 2005; Sendacz, Caleffi & Santos-Soares, 2006; Perbiche-Neves *et al.*, 2014).

2. Ecologia funcional

2.1 Conceitos

Espécies respondem às condições ambientais de acordo com suas características morfofisiológicas, conferindo a capacidade de se estabelecerem, crescerem e reproduzirem naquelas condições (Keddy, 1992). Pode-se, então, apontar que essas premissas exercem um filtro de restrição à ocorrência de espécies numa comunidade, selecionando somente os indivíduos do banco regional capazes de se desenvolverem nas condições ambientais locais. Esse processo é conhecido por filtro ambiental. O filtro ambiental pode dar origem a uma assembleia com aspectos semelhantes dentro de uma comunidade (Lortie *et al.*, 2004).

A abordagem funcional foi proposta para descortinar o papel do filtro ambiental como agente edificador dos padrões de diversidade de espécies em uma comunidade (Villéger, Mason & Mouillot, 2008). A ecologia funcional abrange o conjunto de interações tróficas e ambientais que interferem na abundância e dinâmica populacional dos organismos (Calow, 1987).

Atributos funcionais definem espécies em termos de suas funções ecológicas - como elas interagem com o ambiente e com outras espécies (Díaz & Cabido, 2001). O termo, de acordo com Geber & Griffen (2003), abrange características que influenciam a aptidão de um

organismo e podem ser selecionadas por meio de testes bioquímicos, entre características fisiológicas, morfológicas, mecanismos de desenvolvimento, ou de comportamento.

Pesquisas em comunidades de diversos ecossistemas têm mostrado que a relação entre ecologia funcional e riqueza é complexa e contexto dependente. Diferentes características funcionais podem mostrar as respostas individuais aos diferentes gradientes bióticos e abióticos, significando que importantes mudanças na diversidade funcional podem ocorrer com alteração mínima da riqueza. Além disso, considera-se que a diversidade funcional pode refletir pequenas alterações no ecossistema, mesmo quando a riqueza não (Cadotte, Carscadden & Mirotnick, 2011).

A ecologia funcional é uma subárea da ecologia com resultados bastante consolidados para alguns grupos biológicos, como o fitoplâncton e plantas terrestres (Reynolds *et al.*, 2002; Suding *et al.*, 2008; Kruk *et al.*, 2010; Beamud *et al.*, 2015; Shipley *et al.*, 2016). Na área da zoologia, destacam-se trabalhos com peixes e macroinvertebrados bentônicos (Toussaint *et al.*, 2016; Kopf, Shaw & Humphries, 2017).

Para o zooplâncton, apesar de atuais, as abordagens ainda representam um cenário em formação. O primeiro trabalho publicado de ecologia funcional do zooplâncton tem pouco mais de dez anos (Barnett, Finlay & Beisner, 2007), mas nos últimos anos foram publicados diversos artigos em revistas de alto fator de impacto discutindo abordagens funcionais (Benedetti, Gasparini & Ayata, 2015; Obertegger & Flaim, 2015; Pomerleau, Sastri & Beisner, 2015; Lokko, Virro & Kotta, 2017; Rizo *et al.*, 2017; Braghin *et al.*, 2018; Redmond, Loewen & Vinebrooke, 2018). O cenário é mais carente em regiões tropicais, onde poucos trabalhos foram publicados.

2.2 Ecologia funcional do zooplâncton

Apesar da carência de bibliografia, deve ser ressaltado que os primórdios da discussão sobre ecologia funcional do zooplâncton datam antes mesmo do conceito de ecologia funcional ser amplamente difundido na academia. Dodson (1974), ao propor a “size-efficiency hypothesis”, organizou espécies zooplanctônicas em grupos levando em consideração sua alimentação e tamanho. Outros trabalhos, apesar de não direcionarem a

aspectos ecológicos, tratam as similaridades morfofisiológicas de espécies do zooplâncton (Allan, 1976; Lynch, 1980; Pejler, 1983).

O primeiro trabalho a tratar da expressão conceitual ecologia funcional do zooplâncton foi o de Barnett *et al.* (2007)¹, que proporcionou uma síntese de características funcionais disponíveis para de espécies de cladóceros e copépodes com base em cerca de cinco décadas de estudos de laboratório e observações em lagos canadenses e propôs um agrupamento funcional a partir de um dendrograma.

O trabalho de Boit *et al.* (2012) seguiu na linha da ecologia funcional do zooplâncton buscando padrões na modelagem do funcionamento do Lago Constance, na Suíça, e propondo guildas zooplancônicas baseadas no tamanho de organismos. Litchman *et al.*, (2013) apresentou uma abordagem para estudos de modelagem de comunidades planctônicas pelágicas baseada em atributos funcionais do zooplâncton. Hulot, Lacroix & Loreau (2014) realizaram um estudo de meta-análise para investigar respostas de espécies pelágicas ao enriquecimento de nutrientes e propôs grupos funcionais dentro do zooplâncton constituídos por pequenos herbívoros, grandes herbívoros e onívoros. Obertegger & Flaim (2015) sintetizaram padrões de atributos funcionais em rotíferos relacionados a aquisição de alimento e defesa contra predadores em estudo em um lago na Itália.

A partir de 2017, as abordagens avançaram mais. Rizo *et al.* (2017) propuseram grupos funcionais para cladóceros em ambientes tropicais e subtropicais. Diferente de Barnett *et al.* (2007), este testou a significância dos atributos funcionais para sugerir os grupos funcionais. Em outras palavras, o autor aponta que é necessário avaliar se estes atributos possuem de fato uma correlação com o ambiente estudado e suas variáveis físicas, químicas e hidrológicas. Dentre os trabalhos de diversidade funcional de Cladocera, o de Rizo *et al.*

1 O TRABALHO FOI CORRIGIDO E PUBLICADO CORRIGENDUM POSTERIORMENTE EM 2013.

BARNETT A.J., FINLAY K. & BEISNER B.E. (2013) FUNCTIONAL DIVERSITY OF CRUSTACEAN ZOOPLANKTON COMMUNITIES: TOWARDS A TRAIT-BASED CLASSIFICATION. *FRESHWATER BIOLOGY*, 52, 796-813. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2007.01733.x. *FRESHWATER BIOLOGY* 58, 1755–1765.)

(2017) é o que apresenta a maior matriz de atributos funcionais. Destaca-se também o trabalho de Lokko *et al.* (2017), que sugeriu grupos funcionais para rotíferos psâmicos de três lagos na Estônia. Este último é interessante pelo fato dos três lagos formarem um gradiente de trofia, mostrando como os grupos funcionais se comportam em ambientes tróficos, mesotróficos e hipertróficos. O trabalho, além de levar em consideração atributos funcionais relacionados a trofia, faz também uma correlação dos grupos com variáveis físicas e químicas que são consideradas indicadores de trofia.

Os desafios dentro da ecologia funcional do zooplâncton se amplificam em regiões tropicais. São poucos trabalhos publicados (Rizo *et al.*, 2017; Braghin *et al.*, 2018). Para reservatórios tropicais, a abordagem é, até o momento, inédita.

OBJETIVOS

- Propor grupos funcionais para as comunidades zooplanctônicas de quatro reservatórios do sudeste do Brasil.
- Verificar a associação dos grupos funcionais das comunidades zooplanctônicas com atributos do fitoplâncton, fatores físicos, químicos e hidrológicos dos ambientes estudados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO GERAL

- Agostinho A.A., Sidinei T.M. & Gomes L.C. (2005) Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil. *Megadiversidade* **1**, 70–78.
- Allan J.D. (1976) Life History Patterns in Zooplankton. *The American Naturalist* **110**, 165–180.
- Arcifa M.S. (1984) Zooplankton composition of ten reservoirs in southern Brazil. *Hydrobiologia* **113**, 137–145.
- Barnett A.J., Finlay K. & Beisner B.E. (2007) Functional diversity of crustacean zooplankton communities: Towards a trait-based classification. *Freshwater Biology* **52**, 796–813.
- Beamud S.G., León J.G., Kruk C., Pedrozo F. & Diaz M. (2015) Using trait-based approaches to study phytoplankton seasonal succession in a subtropical reservoir in arid central western Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*.
- Benedetti F., Gasparini S. & Ayata S.D. (2015) Identifying copepod functional groups from species functional traits. *Journal of Plankton Research* **38**, 159–166.
- Bocaniov S.A. & Smith R.E.H. (2009) Plankton metabolic balance at the margins of very large lakes: Temporal variability and evidence for dominance of autochthonous processes. *Freshwater Biology* **54**, 345–362.
- Boit A., Martinez N.D., Williams R.J. & Gaedke U. (2012) Mechanistic theory and modelling of complex food-web dynamics in Lake Constance. *Ecology Letters* **15**, 594–602.
- Braghin L. de S.M., Almeida B. de A., Amaral D.C., Canella T.F., Garcia B.C.G. & Bonecker C.C. (2018) Effects of dams decrease zooplankton functional β -diversity in river-associated lakes. *Freshwater Biology*, 1–10.
- Branco C.W.C., Rocha M.I.A., Pinto G.F.S., Gômara G.A. & De Filippo R. (2002) Limnological features of Funil Reservoir (R.J., Brazil) and indicator properties of rotifers and cladocerans of the zooplankton community. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* **7**, 87–92.
- Cadotte M.W., Carscadden K. & Mirotchnick N. (2011) Beyond species: Functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of Applied Ecology* **48**, 1079–1087.
- Calow P. (1987) Towards a Definition of Functional Ecology. *Functional Ecology* **1**, 57.
- Díaz S. & Cabido M. (2001) Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution* **16**, 646–655.

- Dodson S.I. (1974) Zooplankton Competition and Predation: An Experimental Test of the Size-Efficiency Hypothesis. *Ecology* **55**, 605–613.
- Falk-Petersen S., Sargent J.R., Lønne O.J. & Timofeev S. (1999) Functional biodiversity of lipids in Antarctic zooplankton: *Calanoides acutus*, *Calanus propinquus*, *Thysanoessa macrura* and *Euphausia crystallorophias*. *Polar Biology* **21**, 37–47.
- Geber G.A. & Griffen L.R. (2003) Inheritance and Natural Selection on Functional Traits. *International Journal of Plant Sciences* **164**, s21–s42.
- Hulot F.D., Lacroix G. & Loreau M. (2014) Differential responses of size-based functional groups to bottom-up and top-down perturbations in pelagic food webs: A meta-analysis. *Oikos* **123**, 1291–1300.
- Hutchinson G.E. (1961) The Paradox of the Plankton. *The American Naturalist*.
- Jeppesen E., Nøges P., Davidson T.A., Haberman J., Nøges T., Blank K., *et al.* (2011) Zooplankton as indicators in lakes: A scientific-based plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia* **676**, 279–297.
- Keddy P.A. (1992) Assembly and Response Rules: Two Goals for Predictive Community Ecology. *Journal of Vegetation Science* **3**, 3410–3413.
- Kopf R.K., Shaw C. & Humphries P. (2017) Trait-based prediction of extinction risk of small-bodied freshwater fishes. *Conservation Biology* **31**, 581–591.
- Kruk C., Huszar V.L.M., Peeters E.T.H.M., Bonilla S., Costa L., Lüring M., *et al.* (2010) A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology* **55**, 614–627.
- Litchman E., Ohman M.D. & Kiørboe T. (2013) Trait-based approaches to zooplankton communities. *Journal of Plankton Research* **35**, 473–484.
- Lodi S., Vieira L.C.G., Velho L.F.M., Bonecker C.C., de Carvalho P. & Bini L.M. (2011) Zooplankton community metrics as indicators of eutrophication in urban lakes. *Natureza a Conservacao* **9**, 87–92.
- Lokko K., Virro T. & Kotta J. (2017) Seasonal variability in the structure and functional diversity of psammic rotifer communities: role of environmental parameters. *Hydrobiologia* **796**, 287–307.
- Lortie C.J., Brooker R.W., Choler P., Kikvidze Z., Michalet R., Pugnaire F.I., *et al.* (2004) Rethinking plant community theory. *Oikos* **107**, 433–438.
- Lynch M. (1980) The Evolution of Cladoceran Life Histories. *The Quarterly Review of Biology* **55**, 23–42.

- McCauley E. & Briand F. (1979) Zooplankton grazing and phytoplankton species richness: Field tests of the predation hypothesis¹. *Limnology and Oceanography* **24**, 243–252.
- Nilsson C. (2009) Reservoirs. *Encyclopedia of inland waters* **18**, 317–324.
- Obertegger U. & Flaim G. (2015) Community assembly of rotifers based on morphological traits. *Hydrobiologia* **753**, 31–45.
- Obertegger U. & Manca M. (2011) Response of rotifer functional groups to changing trophic state and crustacean community. *Journal of Limnology* **70**, 231–238.
- Pejler B. (1983) Zooplanktic indicators of trophic and their food. *Hydrobiologia* **101**, 111–114.
- Perbiche-Neves G., Boxshall G.A., Nogueira M.G. & Da Rocha C.E.F. (2014) Trends in planktonic copepod diversity in reservoirs and lotic stretches in a large river basin in South America. *Marine and Freshwater Research* **65**, 727–737.
- Pinto-Coelho R., Pinel-Alloul B., Méthot G. & Havens K.E. (2005) Crustacean zooplankton in lakes and reservoirs of temperate and tropical regions: variation with trophic status. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **62**, 348–361.
- Pomerleau C., Sastri A.R. & Beisner B.E. (2015) Evaluation of functional trait diversity for marine zooplankton communities in the Northeast subarctic Pacific Ocean. *Journal of Plankton Research* **37**, 712–726.
- Redmond L.E., Loewen C.J.G. & Vinebrooke R.D. (2018) A Functional Approach to Zooplankton Communities in Mountain Lakes Stocked With Non-Native Sportfish Under a Changing Climate. *Water Resources Research*, 2362–2375.
- Reynolds C.S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L. & Melo S. (2002) Review Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research* **24**, 417–428.
- Rizo E.Z.C., Gu Y., Papa R.D.S., Dumont H.J. & Han B.P. (2017) Identifying functional groups and ecological roles of tropical and subtropical freshwater Cladocera in Asia. *Hydrobiologia* **799**, 1–17.
- Sampaio E. V, Rocha O., Matsumura-Tundisi & Tundisi (2002) Composition and Abundance of Zooplankton in the Limnetic Zone of Seven Reservoirs of the Paranapanema River, Brazil. *Braz. J. Biol* **62**, 525–545.
- Santos R., Moreira R. & Rocha O. (2013) Composição e Abundância do Zooplâncton em um córrego urbano. 18–32.
- Sendacz S., Caleffi S. & Santos-Soares (2006) Zooplankton Biomass of Reservoirs in Different Trophic Conditions in the State of São Paulo, Brazil. *Braz. J. Biol* **66**, 337–350.

- Shipley B., De Bello F., Cornelissen J.H.C., Laliberté E., Laughlin D.C. & Reich P.B. (2016) Reinforcing loose foundation stones in trait-based plant ecology. *Oecologia* **180**, 923–931.
- Soares M.C.S., Marinho M.M., Azevedo S.M.O.F., Branco C.W.C. & Huszar V.L.M. (2012) Eutrophication and retention time affecting spatial heterogeneity in a tropical reservoir. *Limnologia* **42**, 197–203.
- Suding K.N., Lavorel S., Chapin F.S., Cornelissen J.H.C., Díaz S., Garnier E., *et al.* (2008) Scaling environmental change through the community-level: A trait-based response-and-effect framework for plants. *Global Change Biology* **14**, 1125–1140.
- Toussaint A., Charpin N., Brosse S. & Villéger S. (2016) Global functional diversity of freshwater fish is concentrated in the Neotropics while functional vulnerability is widespread. *Scientific Reports* **6**, 1–9.
- Tundisi J., Matsumura-Tundisi T. & Abe D. (2008) The ecological dynamics of Barra Bonita (Tietê River, SP, Brazil) reservoir: implications for its biodiversity. *Brazilian Journal of Biology* **68**, 1079–1098.
- Tundisi J.G. (2003) *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. RiMa/IEE., São Carlos.
- Tundisi J.G. (1999) *Limnologia no século XXI: perspectivas e desafios*. Instituto Internacional de Ecologia.
- Vieira A.C.B., Ribeiro L.L., Santos D.P.N. & Crispim M.C. (2009) Correlation between the zooplanktonic community and environmental variables in a reservoir from the Northeastern semi-arid. *Acta Limnologica Brasiliensia* **21**, 349–358.
- Villéger S., Mason N.W.H. & Mouillot D. (2008) New Multidimensional Functional Diversity Indices for a Multifaceted Framework in Functional Ecology Published by : Ecological Society of America content in a trusted digital archive. *Ecology* **89**, 2290–2301.
- Walz N. (1995) Rotifer populations in plankton communities: Energetics and life history strategies. *Experientia* **51**, 437–453.

CONCLUSÃO GERAL

O presente estudo corrobora a detecção de diferenças na abundância e distribuição dos grupos funcionais do zooplâncton em relação às variáveis ambientais. Foi fundamental a revisão dos atributos para o estabelecimento de grupos funcionais do zooplâncton em reservatórios tropicais, já que a bibliografia adotada para este tipo de estudo compreende, em sua maioria, ambientes localizados em altas latitudes.

Foi importante entender o padrão de distribuição dos atributos quantitativos e qualitativos para adequar os grupos funcionais. Entendemos que o tamanho corporal do zooplâncton em reservatórios tropicais não é um fator decisivo para o agrupamento, mas é uma variável que explica a distribuição das categorias dos atributos, bem como a associação com abundância e biomassa.

Ao associar os grupos obtidos com as variáveis ambientais, foi observada a grande influência da chuva sobre os grupos funcionais. Porém, na tentativa de incluir variáveis associadas a chuva, como turbidez e condutividade elétrica, foi detectada alta colinearidade entre as variáveis. O fato nos permitiu entender que a chuva exerce forte influência na turbidez e condutividade. E estas últimas representam variáveis importantes para o condicionamento do estado trófico dos reservatórios. Por estes motivos, entendemos que a chuva exerce influência no estado trófico dos reservatórios e, por consequência, afeta os grupos funcionais.

Apesar dos grupos serem suscetíveis às alterações do estado trófico, notou-se que, apesar das grandes variações de abundância, os grupos são resilientes na ampla maioria dos casos e não apresentaram densidade zero durante o período estudado.

Os dados a serem publicados neste trabalho serão úteis em novos estudos, onde será possível avaliar a dinâmica funcional das comunidades zooplânctônicas em reservatórios tropicais, como avaliar a dispersão e diversidade funcional local e regional.