



ECOLOGIA DE BENTOS: UMA SEMENTE NO SEDIMENTO DO LABORATÓRIO DE LIMNOLOGIA DA UFRJ

Marcos Callisto¹, João José Fonseca Leal², Marcelo da Silva Moretti³ & Raphael Ligeiro⁴

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Genética, Ecologia e Evolução, Laboratório de Ecologia de Bentos, Av. Antônio Carlos 6627, CP 486, CEP 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Rua Cel. Delio Menezes Porto 1045, CEP 26530-060, Centro Nilópolis, RJ, Brasil.

³ Universidade Vila Velha, Laboratório de Ecologia de Insetos Aquáticos, Av. Comissário José Dantas de Melo 21, CEP 29102-920, Vila Velha, ES, Brasil.

⁴ Universidade Federal do Pará, Laboratório de Ecologia e Conservação, Rua Augusto Corrêa 01, CEP 66075-110, Belém, PA, Brasil.

E-mails: callistom@ufmg.br (* autor correspondente); joao.leal@ifrj.edu.br; marcelo.moretti@uvv.br; ligeiro@ufpa.br

Resumo: Os estudos relacionados à Ecologia de Organismos Bentônicos dedicam-se aos organismos que habitam o sedimento e substratos de fundo, consolidados ou não, de ecossistemas aquáticos continentais, tais como rios, riachos de cabeceira, lagos e reservatórios. Este artigo apresenta uma síntese sobre a importante contribuição do Prof. Francisco de Assis Esteves, do Laboratório de Limnologia da UFRJ, à formação de pessoal e à produção científica na área de Ecologia de Organismos Bentônicos no Brasil. Avaliamos os *currícula vitae* dos ex-alunos do Prof. Esteves, e seus orientados. Foram analisadas as bases Lattes/CNPq e Scopus, para realizar avaliações qualitativas e quantitativas, respectivamente. Avaliamos a formação de pessoal desde a criação do Laboratório de Limnologia na UFRJ no final dos anos 80 e a produção científica (livros, capítulos de livros, artigos científicos publicados em revistas nacionais e internacionais), áreas de atuação, periódicos e programas de pós-graduação associados a ex-alunos do Prof. Esteves em que atualmente são realizados estudos sobre Ecologia de Organismos Bentônicos no Brasil. A contribuição científica desses estudos foi classificada em três grandes áreas: (i) Distribuição Espaço-temporal de Populações e Assembleias, e Estrutura de Comunidades Bentônicas; (ii) sua participação em Processos Ecológicos (p.ex.: Ciclagem de Nutrientes, Bioturbação e Decomposição de Matéria Orgânica, Interações Tróficas e Estequiometria Ecológica); e (iii) sua utilização como Bioindicadores de Qualidade de Água e em Índices Multimétricos de Integridade Ecológica. Identificamos as principais linhas de pesquisa desenvolvidas no período 1996-2021 e projetamos as perspectivas de novas abordagens para os próximos 20 anos, considerando o cenário político-ambiental no Brasil e na perspectiva de mudanças ambientais globais. A semente plantada no Laboratório de Limnologia da UFRJ pelo Prof. Esteves cresceu, frutificou e tem dispersado novas sementes para diferentes regiões do Brasil.

Palavras-chave: bentos, bioindicadores, distribuição, ecologia, processos ecológicos.

ECOLOGY OF BENTOS: A SEED IN THE SEDIMENT OF THE UFRJ LIMNOLOGY LABORATORY: Studies related to the Ecology of Benthic Organisms are dedicated to organisms that inhabit the sediment and bottom substrates, consolidated or not, of continental freshwater aquatic ecosystems, such as rivers,

headwater streams, lakes and reservoirs. This paper presents a synthesis on the importance of the contribution of Prof. Francisco de Assis Esteves, head of the UFRJ Limnology Lab, to the higher education personnel training and scientific production in the field of Ecology of Benthic Organisms in Brazil. We evaluated, qualitatively and quantitatively, the *curricula vitae* of Prof. Esteves and his mentees on CNPq-Lattes and Scopus databases. We evaluated the training of graduate students since the creation of the UFRJ Limnology Lab in the late 1980s and the scientific production (books, book chapters and scientific papers published in national and international journals), areas of activity, scientific journals and graduate programs associated with mentees of Prof. Esteves. The scientific contribution raised was classified into three major thematic areas: (i) Spatial-Temporal Distribution of Populations and Assemblages, and Structure of Benthic Communities; (ii) their participation in Ecological Processes (*e.g.*, Nutrient Cycling, Bioturbation and Organic Matter Decomposition, Trophic Interactions and Ecological Stoichiometry); and (iii) their use as Water Quality Bioindicators and in Multimetric Indices. Subsequently, a retrospective examination of published scientific papers was carried out to characterize the research scenario related to the ecology of benthic organisms and to explore the interconnections between the different research themes found. A topic modeling was carried out to track the evolution of themes in scientific papers published from 1996 to 2021. We identified the main lines of research developed in the period and projected perspectives for new approaches for the next 20 years considering the political-environmental scenario in Brazil and in the perspective of global environmental changes. The seed planted in the UFRJ Limnology Lab by Prof. Francisco de Assis Esteves grew, fructified and has dispersed new seeds to different regions of Brazil.

Keywords: benthos; bioindicators; distribution; ecology; ecological processes.

INTRODUÇÃO

Em 6 de junho de 1989 iniciou-se na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), de forma ainda precária, o processamento das primeiras amostras de sedimento para investigação de organismos bentônicos, oriundos do Lago Batata (Pará). Gradativamente, as atividades de pesquisa do Laboratório de Limnologia coordenado pelo Prof. Francisco de Assis Esteves cresceram, formando novos profissionais, atraindo intenso intercâmbio de pesquisadores brasileiros e estrangeiros. O projeto “Eco-lagoas” de monitoramento das lagoas costeiras em Macaé (RJ) alavancou a formação de dezenas de novos estudantes que iam regularmente a Macaé no início dos anos 90 para desenvolver seus estudos. Essas sementes foram plantadas ainda na década de 70, quando o Prof. Francisco Esteves saía do interior de São Paulo com seus estudantes para pesquisar no litoral do Estado do Rio de Janeiro (Esteves 1998). Contudo, com a transferência do Prof. Francisco Esteves da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), onde atuava como docente, para a UFRJ em 1989, o Laboratório de Limnologia promoveu profundas mudanças no Departamento

de Ecologia do Instituto de Biologia da UFRJ. A criação do Programa de Pós-graduação em Ecologia, a integração de novos pesquisadores e a transferência de três pós-graduandos, hoje professores, movimentaram ainda mais o corredor do subsolo do Instituto de Biologia na UFRJ.

O livro *Fundamentos de Limnologia*, em suas três edições (1988, 1998, 2011), inspirou jovens estudantes interessados na ecologia de ecossistemas aquáticos continentais, seus organismos e interações ecológicas. Leitura obrigatória para todos no Laboratório de Limnologia da UFRJ, o *Fundamentos de Limnologia* motivou estagiários de graduação e pós-graduandos a dedicarem-se ao estudo da Ecologia de Organismos Bentônicos, em projetos de pesquisa em Porto Trombetas (Lago Batata e Igarapés sob influência de atividades de mineração de bauxita no Pará, Bozelli *et al.* 2000) e nas lagoas costeiras no Norte-Fluminense (Esteves 1998, Rocha *et al.* 2004), sob orientação do Prof. Esteves.

Os estudos relacionados à Ecologia de Organismos Bentônicos dedicam-se aos organismos que habitam o sedimento e substratos de fundo, consolidados ou não, de ecossistemas aquáticos continentais, tais como

rios, riachos de cabeceira, lagos e reservatórios. Os macroinvertebrados bentônicos, organismos visíveis a olho nú (maiores que 200-500 µm) que habitam o compartimento bentônico ao menos durante parte de seu ciclo de vida, têm recebido maior ênfase. As pesquisas acerca dessa comunidade têm avaliado o papel dos organismos em processos ecológicos, incluindo teias alimentares baseadas na produção primária e na decomposição de detritos orgânicos em ecossistemas aquáticos (Boyero *et al.* 2011, 2012, Gonçalves *et al.* 2006, 2012, Guariento *et al.* 2011), fluxo de energia (Linares *et al.* 2018a, 2018b, Molozzi *et al.* 2013) e ciclagem de nutrientes (Biasi *et al.* 2013). Simultaneamente, a classificação e identificação de larvas de insetos aquáticos e semi-aquáticos, moluscos, anelídeos e outros táxons bentônicos quanto à sua tolerância à poluição, possibilitou a utilização desses organismos como bioindicadores de qualidade de água em programas de biomonitoramento de bacias hidrográficas (Giller & Malmqvist 2008, Callisto & Moreno 2008, Esteves *et al.* 2011, Gonçalves *et al.* 2012, Callisto *et al.* 2019). Historicamente, o estudo das comunidades bentônicas desempenhou papel fundamental para o desenvolvimento da Limnologia, desde que August Thienemann publicou seu artigo sobre a tipologia de lagos europeus com base na distribuição dos gêneros *Chironomus* e *Tanytarsus* (Thienemann 1921). Ernst Josef Fittkau descreveu as primeiras espécies de Chironomidae na Amazônia brasileira, sendo o pioneiro no estudo de Ecologia de Organismos Bentônicos no Brasil (Fittkau 1971).

O Prof. Esteves formou 58 pós-graduandos ao longo de sua carreira (20 orientações de egressos de Mestrado e Doutorado; 26 egressos exclusivos de Mestrado, e outros 12 de Doutorado). Desses, 7 dissertações e 8 teses dedicaram-se ao estudo de organismos bentônicos. As sementes plantadas no Laboratório de Limnologia da UFRJ e que frutificaram dedicando-se ao estudo das comunidades bentônicas, hoje continuam formando novos pesquisadores em diferentes instituições no país. Dos pesquisadores formados pelo Prof. Esteves na UFRJ, 9 são hoje professores e pesquisadores em 6 instituições de ensino e pesquisa (UFMG, UNB, UFRN, IFRJ, FURG e UFRJ). Juntos, esses egressos do

Laboratório de Limnologia da UFRJ formaram 73 novos pesquisadores que têm se dedicado ao desenvolvimento de pesquisas e à divulgação científica sobre Ecologia de Organismos Bentônicos.

Visando analisar a contribuição do Prof. Francisco de Assis Esteves à formação de pesquisadores que se dedicam ao estudo de Ecologia de Organismos Bentônicos, foram avaliadas a formação de mestres e doutores e a produção científica de ex-alunos e seus orientados. As informações levantadas foram classificadas em três grandes áreas temáticas. Uma análise dos artigos científicos indexados na base de dados Scopus utilizando modelagem de tópicos foi realizada com o objetivo de revelar tópicos latentes e caracterizar o cenário dos temas de pesquisa relacionados à Ecologia de Organismos Bentônicos.

Foram realizadas avaliações qualitativas e quantitativas da produção científica relacionada a Ecologia de Organismos Bentônicos a partir dos ex-alunos (aqui denominados “F1”) e dos pesquisadores orientados por ex-alunos (“F2”) do Prof. Esteves.

ANÁLISES QUALITATIVAS

Para avaliar qualitativamente a produção científica a partir do *curriculum vitae* (CV) CNPq-Lattes do Prof. Esteves, foram levantados os nomes de seus ex-alunos de mestrado e/ou doutorado que desenvolveram suas dissertações e teses com organismos bentônicos (F1). A produção científica (artigos científicos publicados em revistas nacionais e internacionais, livros e capítulos de livros, além de Teses e Dissertações) de cada ex-aluno foi então levantada a partir dos seus respectivos CVs CNPq-Lattes. Da mesma forma, os mestres e doutores formados pelos ex-alunos do Prof. Esteves (denominados aqui de F2) também foram identificados para o levantamento de suas produções (Figura 1).

Os documentos levantados foram avaliados quanto às abordagens em Ecologia de Organismos Bentônicos, e classificados em uma das três grandes áreas temáticas: (i) Distribuição Espaço-Temporal de Populações e Assembleias e Estrutura de Comunidades Bentônicas; (ii) sua participação em Processos Ecológicos

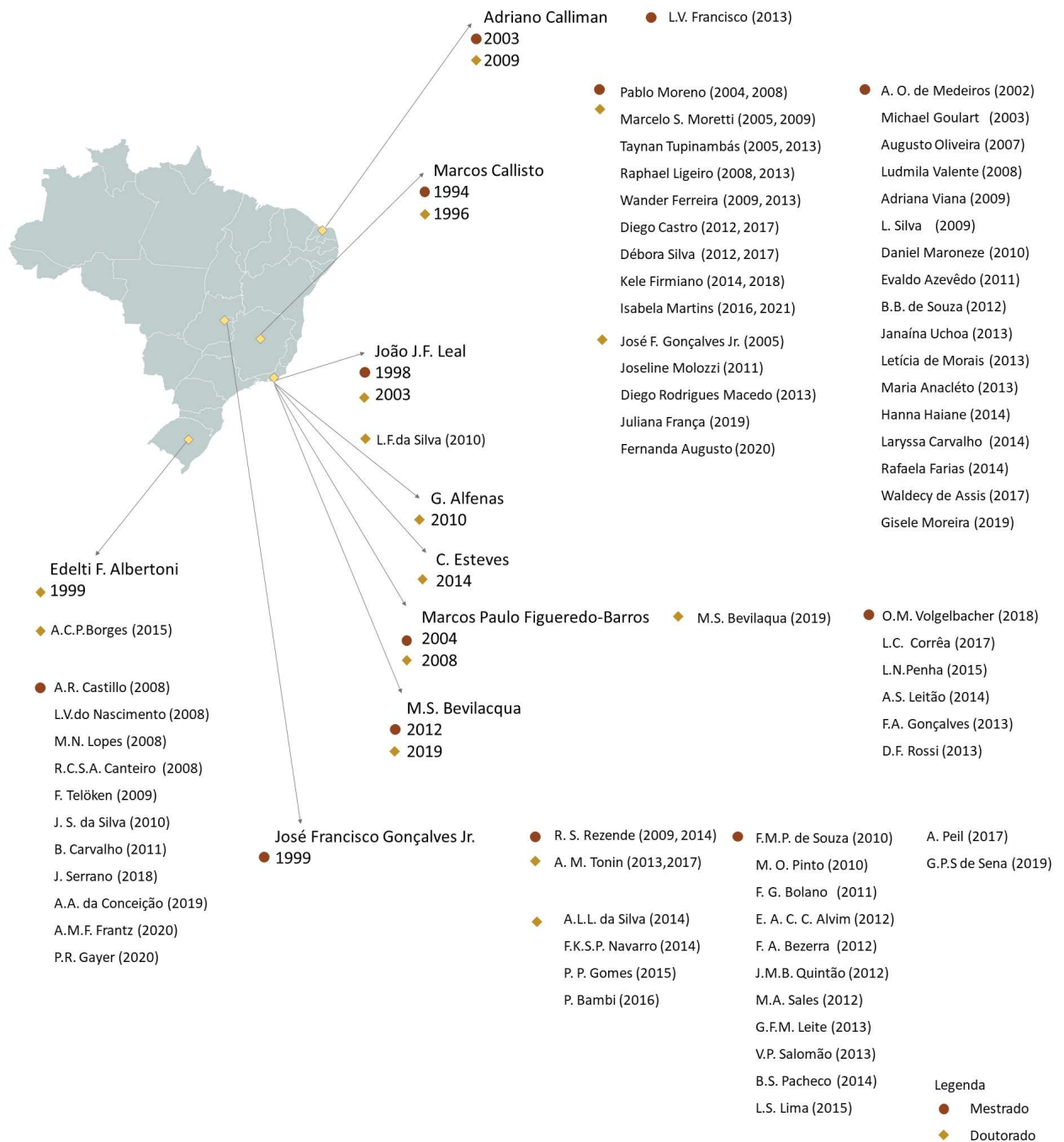


Figura 1: Formação de pesquisadores egressos do Laboratório de Limnologia da UFRJ, formados pelo Prof. Esteves e seus ex-alunos, que trabalham com Ecologia de Organismos Bentônicos em diferentes universidades e institutos de pesquisa no Brasil.

Figure 1: Training of researchers from the UFRJ Limnology Lab, mentored by Prof. Esteves and his former students, who work with Ecology of Benthic Organisms in different universities and research institutes in Brazil.

(p.ex.: Ciclagem de Nutrientes, Bioturbação e Decomposição de Matéria Orgânica), Interações Tróficas e Estequiometria Ecológica; e (iii) sua utilização como Bioindicadores de Qualidade de Água e em Índices Multimétricos de Integridade Ecológica.

ANÁLISES QUANTITATIVAS

Para realizar uma profunda e inclusiva revisão da literatura relacionada ao tema Ecologia de Organismos Bentônicos, produzida por grupos de pesquisa consolidados a partir da atuação de ex-

alunos do Prof. Esteves, foi realizada uma busca na base de dados Scopus por artigos de autoria de pesquisadores da F1 e F2. No total, a produção de 69 pesquisadores foi examinada e 237 artigos científicos produzidos entre 1996 e abril de 2021 foram levantados. O título e o resumo dos artigos foram avaliados para garantir que apenas a produção relacionada ao tema proposto fosse incluída na análise. Todo o processo de mineração de texto (*text mining*) e modelagem de tópicos descritos a seguir foi realizado de acordo com Luiz *et al.* (2019).

O texto do título, palavras-chave e resumo foram utilizados para caracterizar o conteúdo dos artigos levantados. O conteúdo de cada artigo foi então “tokenizado”, *i.e.*, as palavras individuais (uni-gramas) foram removidas das frases. Os termos sem significado, como *stop words* (palavras que não acrescentam muito significado às frases; exemplos: *the, or, and, which*), números e pontuação, também foram excluídos. O comprimento mínimo de cada palavra foi padronizado em 3 caracteres. As palavras remanescentes foram retornadas à sua raiz (*stemmed*). Por exemplo, *disturbance* ou *disturbed* se tornaram *disturb* e foram testadas para bi-gramas e tri-gramas. Os bi-gramas são pares de palavras que mantêm uma informação semântica que seria perdida se as palavras fossem analisadas separadamente, como *water column* e *tropical stream*. Os tri-gramas seguem a mesma lógica para termos formados por 3 palavras, como *leaf litter breakdown*. Uma prática comum em análises de mineração de texto é conectar essas palavras por um traço baixo (_), por um processo chamado de *n-gramming*. Um processo automatizado de *n-gramming* foi realizado nos dados obtidos através da busca de palavras que ocorreram juntas em uma proporção maior do que o esperado ao acaso com um valor de significância de $p < 0,05$. Os n-gramas tiveram sua relevância visualmente inspecionadas e os termos com o mesmo significado foram combinados. Os termos muito raros ($n < 3$) e os muito comuns ($n > 50$), que contribuem pouco com o teor informativo (Westgate *et al.* 2015), foram removidos, resultando em 469 termos únicos que foram utilizados nas análises.

Modelagem de tópicos

Um tópico em um modelo de tópicos é caracterizado por um conjunto de palavras que ocorrem juntas e trazem *insights* sobre a natureza de um “*corpus*”, *i.e.*, as ideias chave discutidas em um conjunto de artigos. Dessa forma, a modelagem de tópicos pode ser entendida como uma maneira de descrever o conteúdo de diferentes artigos em um *corpus* (Murakami *et al.* 2017). As categorias identificadas por uma modelagem de tópicos emergem desta metodologia e do próprio *corpus*, sem serem predeterminadas por um avaliador. A modelagem de Alocação de Dirichlet Latente (LDA) foi utilizada para identificar os tópicos comuns reportados nos artigos levantados. A LDA identifica conjuntos de palavras que ocorrem juntas e que são mais frequentemente encontradas dentro de um mesmo contexto linguístico do que seria o esperado ao acaso. Essas palavras tendem a ter significados semelhantes e se referir a um assunto similar, permitindo então a definição de tópicos. O modelo LDA segue a premissa de que os artigos exibem múltiplos tópicos em proporções mistas, capturando então a heterogeneidade dos tópicos de pesquisa nas publicações científicas (Erosheva *et al.* 2004).

Os resultados da LDA incluem uma lista com as palavras mais frequentes em cada tópico e a contribuição de cada artigo analisado para cada tópico. No entanto, o modelo não fornece um nome para os tópicos identificados. Para nomear cada tópico, as palavras mais representativas de cada um, *i.e.*, com valores de probabilidade (beta) maiores que 0,04, foram consideradas. Quando necessário, os artigos nos quais cada tópico foi dominante também foram considerados. Devido à natureza não orientada da LDA, o número de tópicos pode ser definido *a priori* ou escolhido a partir de algumas métricas. Utilizando o pacote *ldatuning* no R (Murzintcev 2014), foram criados 50 diferentes modelos LDA através da variação do parâmetro K de 1 a 50. O número de tópicos no modelo LDA utilizado foi determinado utilizando o método de otimização proposto por Deveaud *et al.* (2014). O melhor modelo LDA foi ajustado utilizando o pacote “*topicmodels*” (Hornik & Grün 2011).

Popularidade dos tópicos

Para determinar a tendência na popularidade dos tópicos ao longo do tempo, as proporções médias de cada tópico foram agrupadas por ano. As tendências na prevalência dos tópicos foram inferidas pela mudança média na prevalência dos tópicos entre dois anos consecutivos. Tópicos com médias positivas e negativas na prevalência ao longo do tempo foram considerados tópicos quentes (“hot”, com popularidade crescente) e

frios (“cold”, com popularidade decrescente), respectivamente (Griffiths & Steyvers 2004; McCallen *et al.* 2019).

RESULTADOS DA AVALIAÇÃO QUALITATIVA

A análise qualitativa revelou 449 produções científicas, incluindo 53 livros e capítulos de livro, além de 396 artigos publicados em periódicos

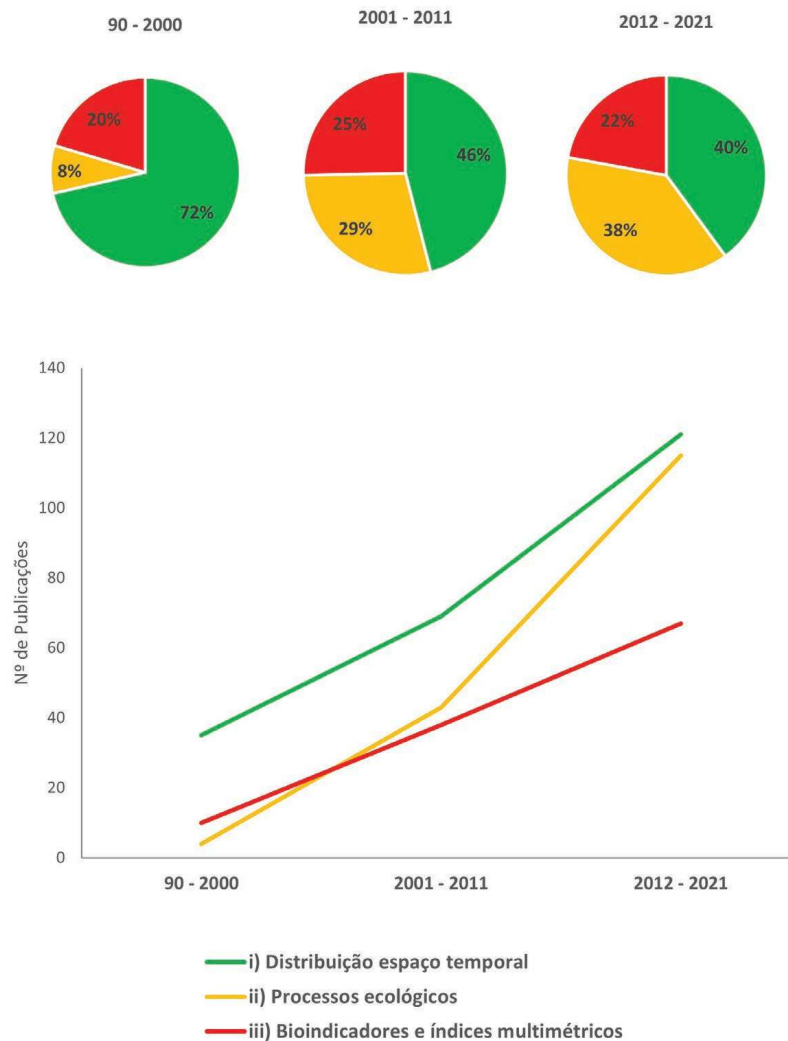


Figura 2. Avaliação qualitativa da produção acadêmico-científica em Ecologia de Organismos Bentônicos nas áreas temáticas (i) Distribuição Espaço-Temporal de populações e assembleias e Estrutura de comunidades bentônicas; (ii) Processos Ecológicos, Interações Tróficas e Estequiometria Ecológica; (iii) Bioindicadores de Qualidade de Água e Índices Multimétricos de Integridade Ecológica.

Figure 2. Qualitative evaluation of academic-scientific production in Ecology of Benthic Organisms in the thematic areas (i) Spatial-Temporal Distribution of populations and assemblages and Structure of benthic communities; (ii) Ecological Processes, Trophic Interactions and Ecological Stoichiometry; (iii) Bioindicators of Water Quality and Multimetric Indices.

nacionais (29,7%) e internacionais (70,3%). Foram contabilizadas 208 produções para a área temática (i) Distribuição Espaço-Temporal, 154 produções para a área temática (ii) Processos Ecológicos, e 87 produções para área temática (iii) Bioindicadores de Qualidade de Água (Figura 2). Quanto aos principais temas abordados em cada área temática, pode-se observar que na área (i) a maioria dos estudos abordou questões relacionadas à diversidade de comunidades de organismos bentônicos em diferentes tipos de ecossistemas aquáticos continentais, incluindo riachos de altitude, rios de planícies e ambientes lacustres. Houve também abordagens quanto à estrutura taxonômica e caracterização trófica de comunidades bem como a avaliação de atividades antrópicas e agentes estressantes sobre a dinâmica das comunidades ou populações. Na área (ii) foram predominantes os estudos referentes ao papel das comunidades de organismos bentônicos na decomposição de matéria orgânica (lenteira, folhiço de fundo) principalmente em riachos. Também houve produção científica sobre o papel de organismos bentônicos na decomposição de matéria orgânica vegetal em ambientes lacustres, principalmente em estudos com macrófitas aquáticas, e na ciclagem de nutrientes via processos de bioturbação e estequiometria ecológica. Na área (iii) predominaram os estudos relacionados ao uso de organismos bentônicos como bioindicadores de qualidade de água e de integridade ecológica em riachos. Merecem também destaque as produções sobre o biomonitoramento de ecossistemas aquáticos sob influência de atividades de mineração, usinas hidroelétricas, descarga de efluentes sanitários (*in natura*) e industriais, assim como múltiplos usos e ocupação dos solos adjacentes a bacias hidrográficas em diferentes regiões no país.

Parte significativa da produção científica levantada resultou de dissertações de mestrado (85) e teses de doutorado (27). A classificação das dissertações e teses revelou que 22 produções (26%) abordaram a Distribuição Espaço-Temporal (área i); 35 produções (41%) dedicaram-se ao estudo de Processos Ecológicos (área ii); e 28 produções (33%) enquadraram-se no tema Bioindicadores de Qualidade de Água (área iii) (Figura 3).

Foi observado um aumento do número de publicações ao longo do tempo nas três áreas

temáticas (Figuras 2 e 3), especialmente as relacionadas à Distribuição Espaço-Temporal de organismos bentônicos e Bioindicadores e Índices Multimétricos. Além disso, foi observado um incremento no número de publicações relacionadas ao papel de comunidades bentônicas em Processos Ecológicos (produção secundária, ciclagem de nutrientes e decomposição de matéria orgânica) com destaque para a contribuição desses organismos no processo de decomposição de detritos foliares em riachos, sendo este o tema com maior taxa de incremento na última década (representando 38% das publicações) (Figura 2).

O Prof. Francisco Esteves, seus ex-alunos (F1) e os orientados dos seus ex-alunos (F2) têm atuado na formação de novos pesquisadores na linha de Ecologia de Organismos Bentônicos em 25 diferentes Programas de Pós-graduação. As orientações e co-orientações de dissertações de mestrado e teses de doutorado têm contribuído à formação de profissionais qualificados técnica e cientificamente e fomentado a consolidação de novos grupos de pesquisas no Brasil. Essas orientações foram realizadas em Programas de Pós-graduação localizados nas cinco regiões geopolíticas brasileiras: Norte (2 PPGs); Nordeste (7 PPGs), Centro-Oeste (2 PPGs), Sudeste (11 PPGs) e Sul (3 PPGs) (Tabela 1).

RESULTADOS DA AVALIAÇÃO QUANTITATIVA

A seleção dos modelos resultou em um número ótimo de 12 tópicos para o *corpus* deste estudo. As palavras mais prováveis, acrescidas com o rótulo de cada tópico latente revelado, são apresentadas na Tabela 2. Algumas palavras contribuíram para mais de um tópico, de forma que alguns tópicos ficaram mais ou menos associados aos demais tópicos. Os 12 tópicos estão distribuídos nas 3 áreas temáticas consideradas nesse estudo: (i) Distribuição Espaço-Temporal de populações e Assembleias e Estrutura de Comunidades Bentônicas (2 tópicos); (ii) Processos Ecológicos, Interações Tróficas e Estequiometria Ecológica (7 tópicos); (iii) Bioindicadores de Qualidade de Água e Índices Multimétricos de Integridade Ecológica (3 tópicos). No período de abrangência desta avaliação (1996-2021), os tópicos que dominaram o maior número de artigos foram “Decomposição

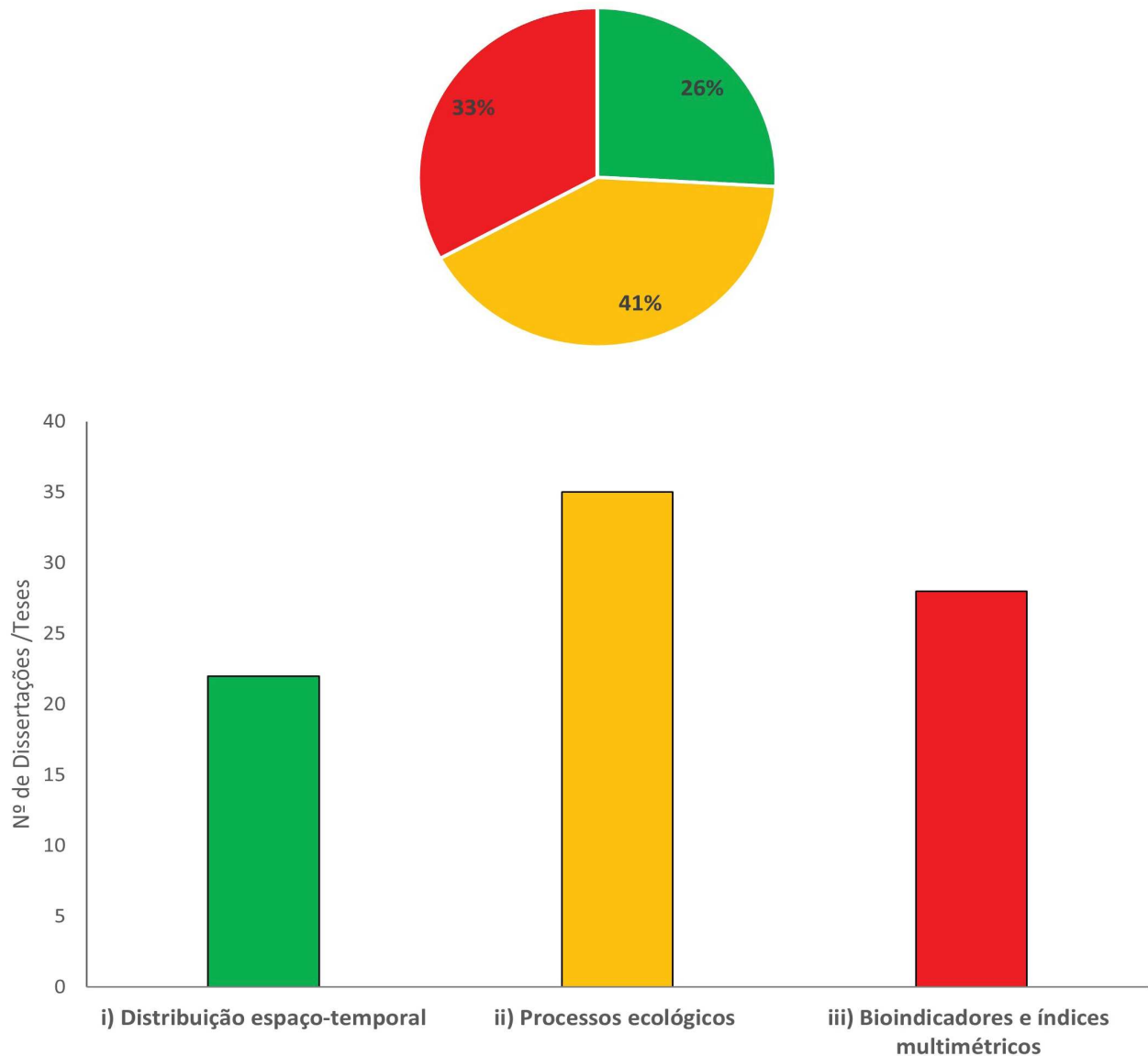


Figura 3. Dissertações de mestrado e teses de doutorado sobre Ecologia de Organismos Bentônicos classificadas nas áreas temáticas (i) Distribuição Espaço-Temporal de populações e assembleias e Estrutura de comunidades bentônicas; (ii) Processos Ecológicos, Interações Tróficas e Estequiometria Ecológica; (iii) Bioindicadores de Qualidade de Água e Índices Multimétricos de Integridade Ecológica.

Figure 3. Master's dissertations and PhD theses on Ecology of Benthic Organisms classified in the thematic areas (i) Spatial-Temporal Distribution of populations and assemblages and Structure of benthic communities; (ii) Ecological Processes, Trophic Interactions and Ecological Stoichiometry; (iii) Bioindicators of Water Quality and Multimetric Indices.

Foliar”, “Bioindicadores” (27 artigos cada) e “Relações Morfo-funcionais” (19 artigos).

A prevalência dos tópicos identificados a partir dos artigos analisados, ou seja, a contribuição proporcional de cada tópico no *corpus* deste estudo, variou consideravelmente durante o período estudado (Figura 4A). Na primeira metade (1996 a 2008), os tópicos mais populares foram “Sedimento”, “Consumo de Detritos”, “Decomposição Foliar” e “Relações

Tróficas”. Entre esses, “Sedimento” e “Consumo de Detritos” apresentaram quedas significativas na prevalência ao longo do tempo e foram então considerados “tópicos frios” em relação ao atual interesse constatado na literatura analisada (Figura 4B). No outro extremo do espectro de popularidade dos tópicos, “Metacomunidades”, “Avaliação Ecológica” e “Bioindicação” se tornaram os tópicos mais dominantes a partir de 2009, constituindo os três “tópicos quentes”

Tabela 1. Programas de Pós-graduação em que foram orientadas dissertações de mestrado e teses de doutorado em Ecologia de Organismos Bentônicos por ex-alunos e orientados dos ex-alunos do Prof. Esteves, suas Universidades e regiões do Brasil.

Table 1. Graduate programs in which Master's dissertations and PhD theses in Ecology of Benthic Organisms were supervised by former students and students of former students of Prof. Esteves, their Universities and regions of Brazil.

Região	Programas de Pós-graduação	Total
Norte	Ecologia (UFPA); Zoologia (UFPA)	2
Nordeste	Microbiologia (UFBA); Etnobiologia e Conservação da Natureza (UFRPE); Ciência e Tecnologia Ambiental (UEPB); Ecologia (UFRN); Ecologia e Conservação (UFSE); Ecologia e Conservação (UEPB); Ecologia e Biomonitoramento (UFBA)	7
Centro-Oeste	Ecologia (UNB); Ciências do Ambiente (UFTO)	2
Sul	Ciências Ambientais (UCRC, SC); Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais (FURG); Ecologia (UFSC)	3
Sudeste	Ciências (UEMC, MG); Ciências Biológicas-Biofísica (UFRJ); Ciências Biológicas-Microbiologia (UFMG); Energia Nuclear na Agricultura ESALQ (USP); Zoologia de Vertebrados (PUC-MG); Ecologia (UFRJ); Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre (UFMG); Ciências Ambientais e Conservação (UFRJ-NUPEM); Ecologia Aplicada (UFLA, MG); Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais (UFMG); Ecologia de Ecossistemas (UVV, ES)	11
Total		25

Tabela 2. Tópicos identificados pela modelagem de Alocação de Dirichlet Latente (LDA) a partir de 237 artigos científicos sobre Ecologia de Organismos Bentônicos publicados por ex-alunos e orientados de ex-alunos do Prof. Francisco de Assis Esteves, no período de 1996 a 2021.

Table 2. Topics identified by Latent Dirichlet Allocation (LDA) modeling from 237 scientific papers on Ecology of Benthic Organisms published by former students and students of former students of Prof. Francisco de Assis Esteves, from 1996 to 2021.

Tópico	Nome do Tópico	Palavras com Maior Probabilidade de Ocorrência (beta > 0,04)	Área Temática
1	Sedimento	sediment, lake, speci_rich, impact, lagoon, bioturbation	Processos Ecológicos, Interações Tróficas e Estequiometria Ecológica
2	Colonização de Detritos	detritu, colon, chironomidae, invertebr_commun, watershed	Processos Ecológicos, Interações Tróficas e Estequiometria Ecológica
3	Vegetação Ripária	forest, riparian_veget, atlant_forest, forest_stream, substrat, biom	Processos Ecológicos, Interações Tróficas e Estequiometria Ecológica
4	Relações Morfo-funcionais	larva, size, body, mass	Processos Ecológicos, Interações Tróficas e Estequiometria Ecológica
5	Decomposição de Matéria Orgânica	breakdown, leaf_litter, litter_breakdown, leaf_breakdown, organ_matter, breakdown_rate, leaf_litter_breakdown	Processos Ecológicos, Interações Tróficas e Estequiometria Ecológica
6	Metacomunidades	scale, spatial, beta_divers, beta, basin	Distribuição Espaço-temporal e Estrutura de Comunidades
7	Diversidade e Distribuição	plant, pattern, temperature, climate, detritivore, local	Distribuição Espaço-temporal e Estrutura de Comunidades

Tabela 2. Continua na próxima página...
Table 2. Continues on next page...

Tabela 2. ...continuação
Table 2. ...continued

Tópico	Nome do Tópico	Palavras com Maior Probabilidade de Ocorrência (beta > 0,04)	Área Temática
8	Avaliação Ecológica	macroinvertebr_assemblag, trait, headwat_stream, exergy, land, environment_variabl, neotrop, physic_habitat	Bioindicadores de Qualidade de Água e Índices Multimétricos
9	Vazão e Integridade Ambiental	macroinvertebr_commun, taxonomy, fish, season, flow, drift, estuaries, level	Bioindicadores de Qualidade de Água e Índices Multimétricos
10	Bioindicação	reservoir, disturb, water_quality, anthropogenic	Bioindicadores de Qualidade de Água e Índices Multimétricos
11	Consumo de Detritos	leaf, cerrado, experiments, phylloicus, preference	Processos Ecológicos, Interações Tróficas e Estequiometria Ecológica
12	Relações Tróficas	nutrient, predator, trophic, prey, macrophyte, interact, risk	Processos Ecológicos, Interações Tróficas e Estequiometria Ecológica

identificados na literatura avaliada (Figura 4B). Esses tópicos apresentaram aumento significativo na sua prevalência ao longo do tempo (2009-2021). Os tópicos frios não são tópicos que necessariamente carecem de prevalência no *corpus*, mas são aqueles que apresentaram uma queda forte na sua popularidade ao longo do tempo. Por exemplo, “Sedimento” e “Consumo de Detritos” demonstraram quedas significativas na sua prevalência, mas ainda foram relativamente bem representados no *corpus* durante os últimos anos analisados (2009-2021). De maneira similar, os tópicos quentes não necessariamente possuem maior peso na prevalência geral observada.

Os artigos que contribuíram para os tópicos “Decomposição de Matéria Orgânica”, “Metacomunidades”, “Diversidade e Distribuição” e “Bioindicação” foram os que receberam maior número de citações (acima de 400 citações cada na plataforma Scopus) (Figura 5).

Os periódicos com maior frequência nos tópicos revelados foram: *Hydrobiologia* (ISSN: 1573-5117; 9 tópicos), *Plos One* (ISSN: 1932-6203; 7 tópicos), *Journal of Limnology* (ISSN: 1723-8633; 6 tópicos), e *Acta Limnologica Brasiliensia* (ISSN: 2179-975X), *Ecology and Evolution* (ISSN: 2045-7758), *Limnetica* (ISSN: 1989-1806) e *Ecological Indicators* (ISSN: 1470-160X; 5 tópicos, cada). O periódico *Ecological Indicators* apresentou o maior número de artigos científicos sobre Ecologia de Organismos Bentônicos publicados

por ex-alunos e orientados dos ex-alunos do Prof. Francisco de Assis Esteves, seguido dos periódicos *Hydrobiologia* e *Plos One* (Figura 6).

MODELAGEM LDA

A LDA é uma técnica que representa uma distribuição de palavras, uma generalização da distribuição β em um ambiente com muitas dimensões (Griffiths & Steyvers 2004). Essas distribuições são denominadas tópicos. Por sua vez, os tópicos captam os temas presentes no conjunto de dados analisados (Blei *et al.* 2010). Dessa forma, os tópicos procuram identificar e reunir palavras com um mesmo sentido e que normalmente ocorrem juntas (Westgate & Lindenmayer 2017). A LDA permite uma maior interpretação e entendimento, revelando (i) o que está oculto no conjunto de documentos, (ii) o que tem sido feito, (iii) as lacunas de conhecimento, e (iv) os tópicos quentes e frios, *i.e.*, os que estão ganhando ou perdendo popularidade com o tempo, respectivamente. A LDA facilita o acesso a todo o conhecimento que tem sido gerado de forma rápida, concisa e prática.

A modelagem LDA atribuiu para cada artigo analisado um valor gamma, que representa a contribuição de cada artigo para cada um dos tópicos identificados. Na área temática “Distribuição Espaço-Temporal de populações e Assembleias e Estrutura de Comunidades

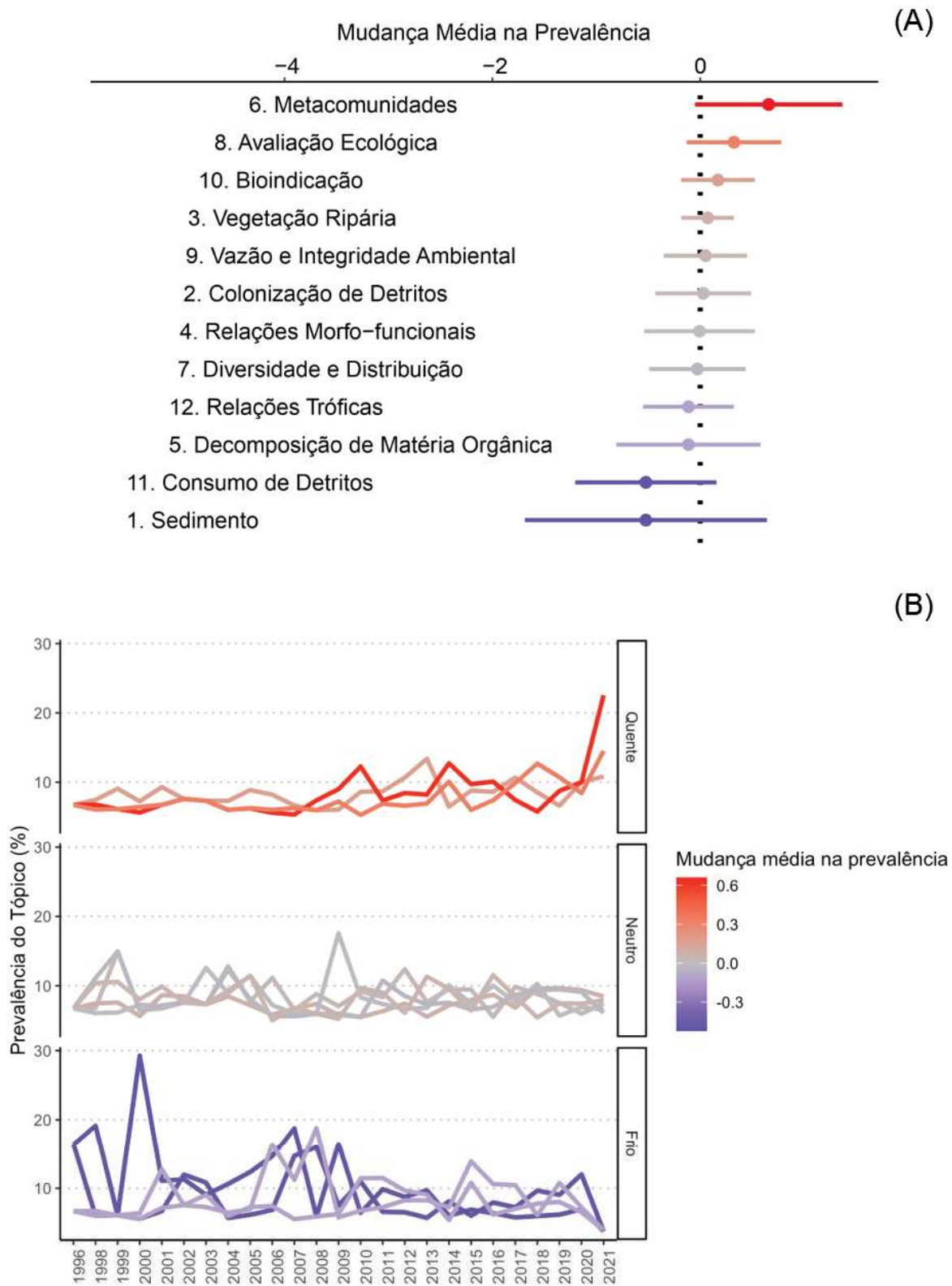


Figura 4. Mudanças na prevalência na literatura durante o período estudado para os 12 tópicos revelados. (A) Cada ponto representa a mudança média de prevalência ao longo do tempo; as barras representam os erros padrão. (B) Acompanhamento das mudanças temporais na prevalência dos tópicos quentes, neutros e frios.

Figure 4. Changes in the prevalence in the literature during the study period for the 12 topics revealed. (A) Each point represents the mean change in prevalence over time; bars represent standard errors. (B) Tracking of temporal changes in the prevalence of hot, neutral and cold topics.

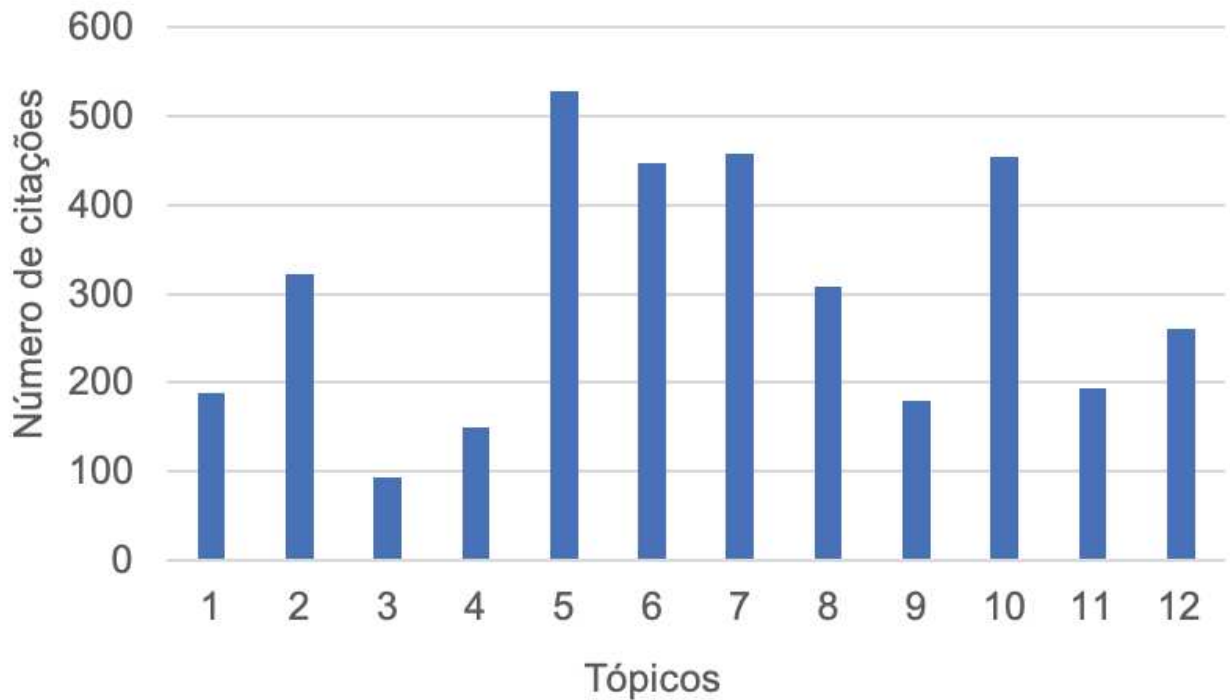


Figura 5. Números de citações dos artigos mais representativos ($\gamma > 0,2$) nos 12 tópicos revelados. Os nomes dos tópicos estão descritos na Tabela 2.

Figure 5. Citation numbers of the most representative articles ($\gamma > 0.2$) in the 12 topics revealed. The topic names are described in Table 2.

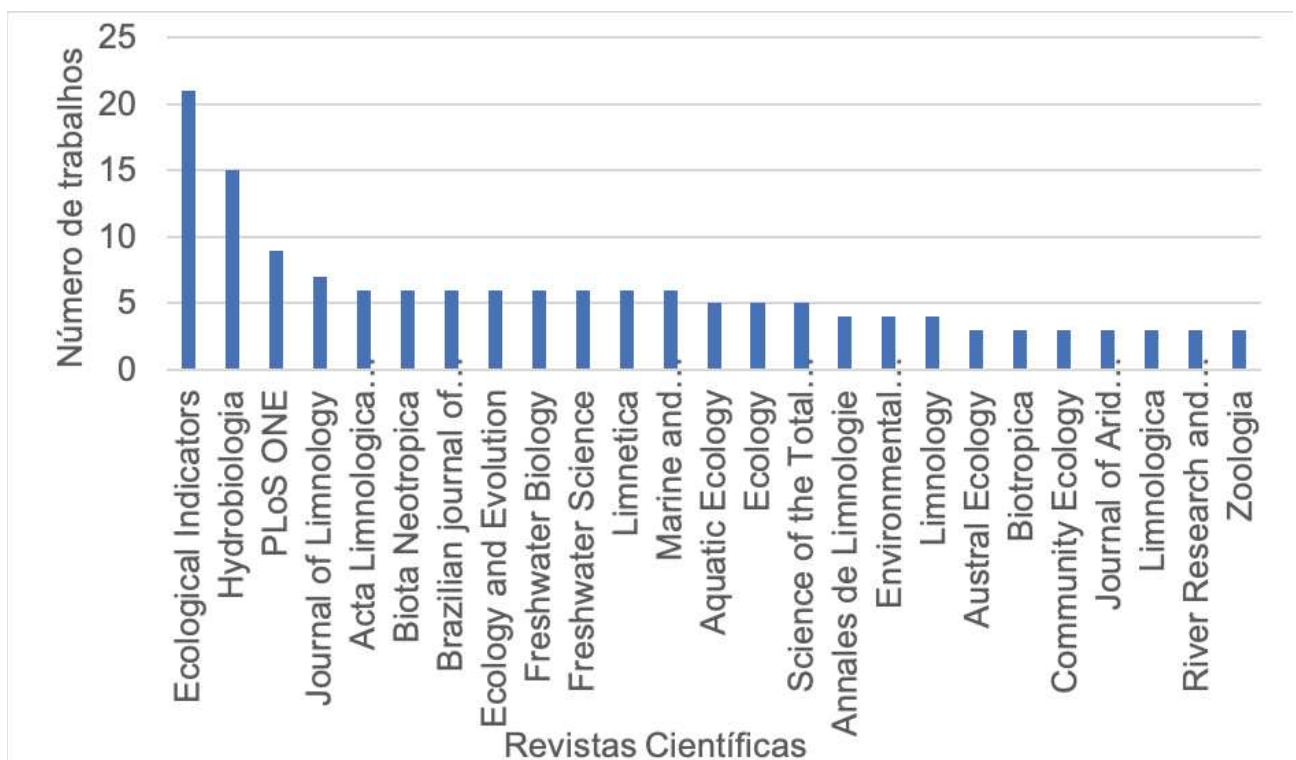


Figura 6. Periódicos científicos com maior número de publicações sobre Ecologia de Organismos Bentônicos. Foram considerados somente os periódicos com três ou mais artigos publicados por ex-alunos e orientados de ex-alunos do Prof. Esteves.

Figure 6. Scientific journals with the greatest number of publications on the Ecology of Benthic Organisms. Only journals with three or more articles published by former students and students of former students of Prof. Esteves were considered.

Bentônicas”, os artigos que mais contribuíram para o tópico “Metacomunidades” (#6) abordaram as relações entre fatores ecológicos e escalas espaciais com a diversidade de comunidades de insetos aquáticos em riachos (Ligeiro *et al.* 2010; Heino *et al.* 2015) e o particionamento dessas comunidades em remansos temporários de um rio intermitente (Farias *et al.* 2020). O tópico “Diversidade e Distribuição” (#7) foi muito influenciado por artigos que avaliaram a relação entre fatores ambientais e a ocorrência de moluscos exóticos em reservatórios (Paiva *et al.* 2018) e os padrões de distribuição de invertebrados detritívoros em riachos em um gradiente latitudinal global (Boyero *et al.* 2011, 2012).

Na área temática “Processos Ecológicos, Interações Tróficas e Estequiometria Ecológica”, os artigos sobre o ciclo de vida, produção secundária e participação das ninfas de *Campsurus notatus* (Ephemeroptera: Polymitarcyidae) no processo de bioturbação em lagos impactados por mineração de bauxita (Leal & Esteves 2000; Leal *et al.* 2007) e sobre a importância da diversidade de comunidades bentônicas no processo de bioturbação em lagoas costeiras foram os que mais contribuíram para o tópico “Sedimento” (#1). O tópico “Colonização de Detritos” (#2) recebeu as maiores contribuições de artigos que avaliaram os efeitos da cobertura vegetal em comunidades de invertebrados em fitotelmatas (Rangel *et al.* 2017), a colonização de detritos foliares em riachos (Biasi *et al.* 2013) e a decomposição de macrófitas aquáticas em um lago subtropical (Carvalho *et al.* 2015). Os estudos sobre as diferenças na estrutura de comunidades bentônicas e processos ecológicos em riachos neotropicais de diferentes biomas (Feio *et al.* 2018), as relações da vegetação ripária, comunidades aquáticas e decomposição de matéria orgânica (Ferreira *et al.* 2016) e os efeitos da perda de vegetação ripária na biodiversidade aquática (Dala-Corte *et al.* 2020) foram os que mais contribuíram para o tópico “Vegetação Ripária” (#3). O tópico “Relações Morfo-funcionais” (#4) recebeu as maiores contribuições dos estudos de Martins *et al.* (2014), Kiffer *et al.* (2016) e Costa (2018) que estimaram as relações comprimento-biomassa e a influência do tamanho dos detritívoros nas taxas de consumo das larvas de *Phylloicus elektoros* (Trichoptera: Calamoceratidae), *Triplectides gracilis*

(Trichoptera, Leptoceridae), e do caranguejo dulcícola *Trichodactylus fluviatilis* Latreille, 1828 (Decapoda, Trichodactylidae), respectivamente.

O tópico “Decomposição de Matéria Orgânica” (#5) foi influenciado por artigos sobre a decomposição de detritos foliares em riachos localizados em diferentes regiões climáticas (Gonçalves *et al.* 2006) e em áreas urbanas (Martins *et al.* 2015) e sobre o consumo de matéria orgânica particulada fina por invertebrados coletores (Callisto & Graça 2013) em riachos de cabeceira. Os artigos de Kiffer *et al.* (2018) e Moretti *et al.* (2020) sobre a preferência alimentar, crescimento e sobrevivência de larvas de invertebrados fragmentadores expostos a detritos foliares de *Eucalyptus* e nativos de Mata Atlântica e Cerrado, e de Callisto *et al.* (2007) sobre o consumo de detritos foliares por larvas de Chironomidae foram os que mais contribuíram para o tópico “Consumo de Detritos” (#11). O tópico “Relações Tróficas” (#12) recebeu as maiores contribuições de artigos sobre teias alimentares bentônicas e efeitos interativos do risco de predação e densidade de presas (Guariento *et al.* 2011, 2015) e sobre as relações tróficas entre produtores primários e fauna associada em ecossistemas lênticos (Alvim *et al.* 2019).

Na área temática “Bioindicadores de Qualidade de Água e Índices Multimétricos de Integridade Ecológica”, o tópico “Avaliação Ecológica” (#8) foi mais influenciado pelos artigos de Linares *et al.* (2018a, 2018b) sobre produção secundária e eco-exergia de comunidades de macroinvertebrados e indicadores termodinâmicos em respostas dessas comunidades ao represamento de rios, e Martins *et al.* (2018) sobre a importância da regionalização no estabelecimento de condições de referência para riachos no Cerrado. Os artigos sobre a influência de alterações de vazão sobre a deriva de macroinvertebrados a jusante de barramentos hidrelétrico (Castro *et al.* 2013a, 2013b) e sobre a utilização da classe Polychaeta na avaliação de impacto ambiental em estuários foram os que mais contribuíram no tópico “Vazão e Integridade Ambiental” (#9). O tópico “Bioindicação” (#10) foi mais influenciado por artigos que avaliaram a relação entre a escolha de métodos e a detecção de distúrbios por organismos bentônicos (Ligeiro *et al.* 2020), distúrbios em diferentes escalas espaciais (de Moraes *et al.* 2017) e a aplicação

da eco-exergia na determinação de alterações ambientais em reservatórios urbanos (Molozzi *et al.* 2013).

Os tópicos “Colonização de Detritos” (#2), “Relações Morfo-funcionais” (#4), “Decomposição de Matéria Orgânica” (#5) e “Consumo de Detritos” (#11) apresentaram maior similaridade. Cada um desses tópicos foi dominante em 15-20 artigos.

PERSPECTIVAS

O que vemos para os próximos 20 anos no cenário político-ambiental no Brasil e na perspectiva de mudanças globais? Em um cenário pós-pandemia, a nossa expectativa é que as oportunidades de editais e recursos financeiros disponíveis nas agências governamentais de fomento (CNPq, CAPES, FAPs) para financiar projetos de pesquisas em ecologia sejam cada vez mais escassos. Um exemplo disso é a redução do número de bolsas de iniciação científica, mestrado e doutorado que temos enfrentado nos últimos anos. Além disso, editais universais para financiamento individual e mesmo a disponibilidade de recursos a editais tradicionais como o Programa PELD/CNPq têm sido regularmente reduzidos e estão à míngua.

O grande avanço dos processos de degradação ambiental e a falta de programas efetivos de gestão e conservação de bacias hidrográficas no atual cenário ambiental brasileiro despertam preocupação da sociedade à garantia de acesso a recursos hídricos, à integridade ambiental de ecossistemas e de seus múltiplos serviços sócio-ambientais (Coalizão Ciência e Sociedade, 2020 - <https://cienciasociedade.org/meio-ambiente-brasileiro-com-um-triste-balanco-em-2020-como-resgatar-2021/>). Para enfrentar este desafio, acreditamos que será necessário investir cada vez mais na formação de redes de parcerias entre pesquisadores de diferentes universidades, com parceiros de outras áreas de atuação (p.ex. engenharias, sócio-economia, gestão ambiental), a fim de compartilhar conhecimento, oportunidades de financiamento e desenvolver atividades de pesquisa.

Além disso, acreditamos que os temas prioritários a serem abordados incluirão: efeitos de distúrbios humanos sobre a estrutura e funcionamento de ecossistemas, homogeneização de biodiversidade como resultado da introdução

de espécies exóticas, perda de serviços ecossistêmicos (p.ex. ciclagem de nutrientes, fluxo de energia, decomposição de matéria orgânica) devido à perda de espécies chave.

A formação de mestres e doutores nos próximos 20 anos provavelmente ocorrerá em um novo cenário, mais transdisciplinar e voltado à solução de problemas relacionados a impactos humanos, no contexto de mudanças globais. Estudar ecossistemas em condições de referência, protegidos e com alta diversidade biológica, infelizmente deverá ser cada vez mais um privilégio de poucos. A Ecologia de Organismos Bentônicos deverá caminhar para uma ferramenta de diagnóstico, aplicação e base para tomadas de decisões acerca da conservação de biodiversidade, bens e serviços ecossistêmicos, mitigação de impactos humanos em múltiplas escalas. Em todos esses campos, vemos que os alunos formados direta e indiretamente pelo Prof. Esteves contribuíram e têm contribuído intensamente, mostrando sua importância para a ecologia brasileira.

CONCLUSÃO

Em síntese, após avaliar os *curricula vitae* dos ex-alunos do Prof. Francisco de Assis Esteves e seus orientados nas plataformas Lattes/CNPq e Scopus, nossas avaliações qualitativas e quantitativas identificaram a sua efetiva contribuição à formação de pessoal e à produção científica na área de Ecologia de Organismos Bentônicos no Brasil no período de 1996-2021, nas grandes áreas de (i) distribuição espaço-temporal de Populações e Assembleias, e Estrutura de Comunidades Bentônicas; (ii) Processos Ecológicos, Interações Tróficas e Estequiometria Ecológica; e (iii) Bioindicadores de Qualidade de Água e em Índices Multimétricos de Integridade Ecológica. A maior parte dos estudos foi publicada em periódicos científicos de alto impacto e relevância no campo da ecologia e limnologia. As mudanças temporais observadas na prevalência de cada tópico refletem majoritariamente os focos de pesquisa vigentes nos laboratórios do Prof. Francisco Esteves e de seus orientados, bem como na produção dos seus pós-graduandos. Identificamos tendência crescente nos últimos anos de incremento de trabalhos de avaliação e diagnóstico ambiental,

principalmente relacionados a impactos resultantes de atividades antrópicas e que, em parte, são associados a projetos transdisciplinares. Esta tendência inclui estudos aplicados utilizando respostas de comunidades bentônicas e de processos ecológicos em que atuam, integrando abordagens científicas, sociais e ambientais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos editores deste volume da revista *Oecologia Australis*, Reinaldo L. Bozelli, Vinicius F. Farjalla, e Rayanne B. Setúbal pelo convite a contribuir com este artigo. Juliana Lombello colaborou no levantamento de informações nas bases de dados Lattes/CNPq e Scopus. Gisele Moreira dos Santos gentilmente montou a Figura 1 e Wallace Pandolpho Kiffer Jr. colaborou na edição da Figura 4. Agradecemos o contínuo financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, pelas bolsas de produtividade em pesquisa 313367/2018-3 a MM, 304060/2020-8 a MC), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Finance Code 001. MC tem sido apoiado continuamente pelo Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) P&D Aneel-Cemig GT-599 e GT-611 e FAPEMIG (PPM 00104-18).

REFERÊNCIAS

- Alvim, E. A. C. C., Kisaka, T. B., Nardoto, G. B., de Mendonça-Galvão, L., Fonseca, B. M., & Bustamante M. M. C. 2019. Trophic relationships between primary producers and associated fauna in a pristine cerrado pond. *Journal of Limnology*, 78, 310–322. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2019.1874>
- Biasi, C., Tonin, A. M., Restello, R. M., & Hepp, L. U. 2013. The colonisation of leaf litter by Chironomidae (Diptera): The influence of chemical quality and exposure duration in a subtropical stream. *Limnologia*, 43, 427–433. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2013.01.006>
- Blei, D., Carin, L. & Dunson, D. 2010. Probabilistic topic models. *IEEE Signal Processing Magazine*, 27, 55–65.
- Boyero, L., Pearson, R. G., Dudgeon, D., Graça M. A. S., Gessner, M. O., Albariño, R. J., Ferreira, V., Yule, C. M., Boulton, A. J., Arunachalam, M., Callisto, M., Chauvet, E., Ramírez, A., Chará J., Moretti, M. S., Gonçalves Jr., J. F., Helson, J. E., Chará-Serna, A. M., Encalada, A. C., Davies J. N., Lamothe, S., Cornejo, A., Li, A. O. Y., Buria, L. M., Villanueva, V. D., Zúñiga, M. C., & Pringle, C. M. 2011. Global distribution of a key trophic guild contrasts with common latitudinal diversity patterns. *Ecology*, 92, 1839–1848. DOI: 10.1890/10-2244.1
- Boyero, L., Pearson, R. G., Dudgeon, D., Ferreira, V., Graça, M. A. S., Gessner, M. O., Boulton, A. J., Chauvet, E., Yule, C. M., Albariño, R. J., Ramírez, A., Helson, J. E., Callisto, M., Arunachalam, M., Chará, J., Figueroa, R., Mathooko, J. M., Gonçalves Jr, J. F., Moretti, M. S., Chará-Serna, A. M., Davies, J. N., Encalada, A., Lamothe, S., Buria, L.M., Castela, J., Cornejo, A., Li, A. O. Y., M’Erimba, C., Villanueva, V. D., Del Carmen Zúñiga, M., Swan, C. M., & Barmuta, L. A. 2012. Global patterns of stream detritivore distribution: Implications for biodiversity loss in changing climates. *Global Ecology and Biogeography*, 21, 134–141. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2011.00673.x
- Bozelli, R. L., Esteves, F. A., & Roland, F. 2000. Lago Batata: impacto e recuperação de um ecossistema amazônico. Rio de Janeiro. Editora UFRJ/SBL. p. 342.
- Callisto, M., Gonçalves Jr., J. F., & Graça, M. A. S. 2007. Leaf litter as a possible food source for chironomids (Diptera) in Brazilian and Portuguese headwater streams. *Revista Brasileira de Zoologia*, 24, 442–448. DOI: 10.1590/S0101-81752007000200023
- Callisto, M., & Moreno, P. 2008. Programa de biomonitoramento de qualidade de água e biodiversidade bentônica na bacia do rio das Velhas. In: Lisboa A. H., Goulart E. M. A. & Diniz L. F. M. (Eds.). Projeto Manuelzão: a história da mobilização que começou em torno de um rio. Editora Instituto Guaicuy, Belo Horizonte. P. 260.
- Callisto, M., & Graça M. A. S. 2013. The quality and availability of fine particulate organic matter for collector species in headwater streams. *International Review of Hydrobiology*, 98, 132–140. DOI: 10.1002/roh.201301524
- Callisto, M., Gonçalves Jr., J. F., Graça, M. A. S. 2007. Leaf litter as a possible food source

- for chironomids (Diptera) in Brazilian and Portuguese headwater streams. *Revista Brasileira de Zoologia*, 24, 442–448. DOI: 10.1590/S0101-81752007000200023
- Callisto, M., Silva, D. R. O., Carvalho, D. R. C., Macedo, D. R. M., Castro, D. M. P., Pompeu, P. S., Becker, B., Sanches, B., Santos, G. B., & Alves, C. B. 2019. Índices multimétricos para avaliação de integridade biótica. In: Callisto, M., Macedo, D. R., Castro, D. M. P., & Alves C. B. M. (Eds.). *Bases conceituais para conservação e manejo de bacias hidrográficas*. Editora CEMIG, Belo Horizonte. p. 212. DOI: 10.17648/bacias-hidrograficas-4
- Carvalho, C., Hepp, L. U., Palma-Silva, C., & Albertoni, E. F. 2015. Decomposition of macrophytes in a shallow subtropical lake. *Limnologia*, 53, 1–9. DOI: 10.1016/j.limno.2015.04.003
- Castro, D. M. P., Hughes R. M., & Callisto, M. 2013a. Influence of peak flow changes on the macroinvertebrate drift downstream of a Brazilian hydroelectric dam. *Brazilian Journal of Biology*, 73, 775–782. DOI: 10.1590/S1519-69842013000400013
- Castro, D. M. P., Hughes R. M., & Callisto M. 2013b. Effects of flow fluctuations on the daily and seasonal drift of invertebrates in a tropical river. *Annales de Limnologie*, 49, 169–177. DOI: 10.1051/limn/2013051__
- Costa, L. C., Kiffer, W. P., Jr, Casotti, C. G., & Moretti, M. S. 2018. Size-mass relationships in *Trichodactylus fluviatilis* Latreille, 1828 (Decapoda: Brachyura: Trichodactylidae), a macroconsumer in coastal streams of the Atlantic Forest, southeastern Brazil. *Journal of Crustacean Biology*, 38, 539–546. DOI: 10.1093/jcobiol/ruy065
- Dala-Corte, R. B., Melo, A. S., Siqueira, T., Bini, L. M., Martins, R. T., Cunico, A. M., Pes, A. M., Magalhães, A. L. B., Godoy, B. S., Leal, C. G., Monteiro-Júnior, C. S., Stenert, C., Castro, D. M. P., Macedo, D. R., Lima-Junior, D. P., Gubiani, É. A., Massariol, F. C., Teresa, F. B., Becker, F. G., Souza, F. N., Valente-Neto, F., Souza, F. L., Salles, F. F., Brejão, G. L., Brito, J. G., Vitule, J. R. S., Simião-Ferreira, J., Dias-Silva, K., Albuquerque, L., Juen, L., Maltchik, L., Casatti, L., Montag, L., Rodrigues, M. E., Callisto, M., Nogueira, M. A. M., Santos, M. R., Hamada, N., Pamplin, P. A. Z., Pompeu, P. S., Leitão, R.P., Ruaro, R., Mariano, R., Couceiro, S. R. M., Abilhoa, V., Oliveira, V. C., Shimano, Y., Moretto, Y., Suárez, Y. R., & Roque, F. D. O. 2020. Thresholds of freshwater biodiversity in response to riparian vegetation loss in the Neotropical region. *Journal of Applied Ecology*, 57, 1391–1402. DOI: 10.1111/1365-2664.13657
- Deveaud, R., SanJuan, E., & Bellot, P. 2014. Accurate and effective latent concept modeling for ad hoc information retrieval. *Document Numérique*, 17, 61–84. DOI: 10.3166/DN.17.1.61-84
- de Moraes, L., Sanches, B. O., Santos, G. B., Kaufmann, P. R., Hughes, R. M., Molozzi, J., & Callisto, M. 2017. Assessment of disturbance at three spatial scales in two large tropical reservoirs. *Journal of Limnology*, 76, 240–250. DOI: 0.4081/jlimnol.2016.1547
- Erosheva, E., Fienberg, S., & Lafferty, J. 2004. Mixed-membership models of scientific publications. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 5220–5227. DOI: 10.1073/pnas.0307760101
- Esteves, F.A. 1988. *Fundamentos de Limnologia*, 1ª edição, Editora Interciência, Rio de Janeiro. p. 574.
- Esteves, F.A. 1998. *Fundamentos de Limnologia*, 2ª edição, Editora Interciência, Rio de Janeiro. p. 226.
- Esteves, F.A. 2011. *Fundamentos de Limnologia*, 3ª edição, Editora Interciência, Rio de Janeiro. p. 826.
- Esteves, F.A. 1998. *Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*. Editora NUPEM/UFRJ - Computer & Publish. Rio de Janeiro. p. 464.
- Esteves, F. A., Leal, J. J. F., & Callisto, M. 2011. Comunidade bentônica. In: Esteves F. A. (Ed.). *Fundamentos de Limnologia*. 3ª ed. pp. 581–607. Editora Interciência, Rio de Janeiro.
- Farias, R. L. D., Stenert, C., Maltchik, L., & Medeiros, E. S. F. 2020. Partitioning of macroinvertebrate assemblages across temporary pools in an intermittent dryland river. *Inland Waters*, 10, 480–492. DOI: 10.1080/20442041.2020.1738841
- Feio, M. J., Leite, G. F., Rezende, R. S., Medeiros, A. O., Cruz, L. C., Dahora, J. A., Calor, A., Neres-Lima, V., Silva-Araújo, M., Callisto, M., França, J., Martins, I., Moretti, M. S., Rangel, J. V., Petrucio, M. M., Lemes-Silva, A. L., Martins, R. T., Dias-

- Silva, K., Dantas, G. P., Moretto, Y., Gonçalves, J. F., Jr. 2018. Macro-scale (biomes) differences in neotropical stream processes and community structure. *Global Ecology and Conservation*, 16, e00498. DOI: 10.1016/j.gecco.2018.e00498
- Ferreira, V., Castela, J., Rosa, P., Tonin A.M., Boyero, L., & Graça, M. A. S. 2016. Aquatic hyphomycetes, benthic macroinvertebrates and leaf litter decomposition in streams naturally differing in riparian vegetation. *Aquatic Ecology*, 50, 711–725. DOI: 10.1007/s10452-016-9588-x
- Fittkau, E. J. 1971. Distribution and ecology of Amazonian chironomids (Diptera). *Can. Entomol*, 103, 407–413. DOI: 10.4039/Ent103407-3
- Giller, P. S., & Malmqvist, B. 2008. The biology of streams and rivers. Ed. Oxford, New York. P. 296.
- Gonçalves, Jr., J. F., Graça, M. A. S., & Callisto, M. 2006. Leaf-litter breakdown in 3 streams in temperate, Mediterranean, and tropical Cerrado climates. *Journal of the North American Benthological Society*, 25, 344–355. DOI: <https://doi.org/fgrmws>
- Gonçalves, Jr. J. F., Rezende, R. S., França, J., & Callisto, M. 2012. Invertebrate colonization during leaf processing of native, exotic and artificial detritus in a tropical stream. *Marine and Freshwater Research*, 63, 428–439. DOI: 10.1071/MF11172
- Griffiths, T. L., & Steyvers, M. 2004. Finding scientific topics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(S1), 5228–5235. DOI: 10.1073/pnas.0307752101
- Guariento, R. D., Carneiro, L. S., Caliman, A., Leal, J. J. F., Bozelli, R. L., & Esteves, F. A. 2011. Food web architecture and basal resources interact to determine biomass and stoichiometric cascades along a benthic food web. *PLoS ONE*, 6, e22205. DOI: 10.1371/journal.pone.0022205
- Guariento, R. D., Carneiro, L. S., Jorge, J. S., Borges, A. N., Esteves, F. A., & Caliman, A. 2015. Interactive effects of predation risk and conspecific density on the nutrient stoichiometry of prey. *Ecology and Evolution*, 5, 4747–4756. DOI: 10.1002/ece3.1740
- Heino, J., Melo, A. S., Bini, L. M., Altermatt, F., Al-Shami, S. A., Angeler, D. G., Bonada, N., Brand, C., Callisto, M., Cottenie, K., Dangles, O., Dudgeon, D., Encalada, A., Göthe, E., Grönroos, M., Hamada, N., Jacobsen, D., Landeiro, V. L., Ligeiro, R., Martins, R. T., Miserendino, M. L., Rawi, C. S., Rodrigues, M. E., Roque, F. de O., Sandin, L., Schmera, D., Sgarbi, L. F., Simaika, J. P., Siqueira, T., Thompson, R. M., & Townsend, C. R. 2015. A comparative analysis reveals weak relationships between ecological factors and beta diversity of stream insect metacommunities at two spatial levels. *Ecology and Evolution*, 5, 1235–1248. DOI: 10.1002/ece3.1439
- Hornik, K., & Grün, B. 2011. Topicmodels: An R package for fitting topic models. *Journal of Statistical Software*, 40, 1–30. <http://www.jstatsoft.org>
- Kiffer, W. P., Jr., Mendes, F., Rangel, J. V., Barbosa, P., Serpa, K., & Moretti, M. S. 2016. Size-mass relationships and the influence of larval and case size on the consumption rates of *Triplectides* sp. (Trichoptera, Leptoceridae). *Fundamental and Applied Limnology*, 188, 73–81. DOI: 10.1127/fal/2016/0855
- Kiffer, W. P., Jr., Mendes, F., Casotti, C. G., Costa, L. C., & Moretti, M. S. 2018. Exotic Eucalyptus leaves are preferred over tougher native species but affect the growth and survival of shredders in an Atlantic Forest stream (Brazil). *PLoS ONE*, 13, e0190743. DOI: 10.1371/journal.pone.0190743
- Leal, J. J. F., & Esteves, F. D. A. 2000. Life cycle and production of *Campsurus notatus* (Ephemeroptera, Polymitarcyidae) in an Amazonian lake impacted by bauxite tailings (Pará, Brazil). *Hydrobiologia*, 437, 91–99.
- Leal, J. J. F., Furtado, A. L. S., Esteves, F. A., Bozelli, R. L., Figueiredo-Barros, M. P. 2007. The role of *Campsurus notatus* (Ephemeroptera: Polymitarcyidae) bioturbation and sediment quality on potential gas fluxes in a tropical lake. *Hydrobiologia*, 586, 143–154. DOI 10.1007/s10750-006-0570-9
- Ligeiro, R., Melo, A.S., & Callisto, M. 2010. Spatial scale and the diversity of macroinvertebrates in a Neotropical catchment. *Freshwater Biology*, 55, 424–435. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2009.02291.x
- Ligeiro, R., Hughes, R.M., Kaufmann, P.R., Heino, J., Melo, A.S., & Callisto, M. 2020. Choice of field and laboratory methods affects the detection of anthropogenic disturbances using stream macroinvertebrate assemblages. *Ecological Indicators*, 115, 106382. DOI: 10.1016/j.

- ecolind.2020.106382
- Linares, M. S., Callisto, M., Marques, J. C. 2018a. Compliance of secondary production and eco-exergy as indicators of benthic macroinvertebrates assemblages' response to canopy cover conditions in Neotropical headwater streams. *Science of the Total Environment*, 613–614, 1543–1550. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.282.
- Linares, M. S., Callisto, M., & Marques, J. C. 2018b. Thermodynamic based indicators illustrate how a run-of-river impoundment in neotropical savanna attracts invasive species and alters the benthic macroinvertebrate assemblages' complexity. *Ecological Indicators*, 88, 181–189. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.01.040
- Luiz, O. J., Olden, J. D., Kennard, M. J., Crook, D. A., Douglas, M. M., Saunders, T. M., & King, A. J. 2019. Trait-based ecology of fishes: A quantitative assessment of literature trends and knowledge gaps using topic modelling. *Fish and Fisheries*, 20, 1100–1110. DOI: 10.1111/faf.12399
- Martins, I., Ligeiro, R., Hughes, R. M., Macedo, D. R., & Callisto, M. 2018. Regionalisation is key to establishing reference conditions for neotropical savanna streams. *Marine and Freshwater Research*, 69, 82–94. DOI: 10.1071/MF16381
- Martins, R. T., Melo, A. S., Gonçalves, J. F., Jr., Hamada, N. 2014. Estimation of dry mass of caddisflies *Phylloicus elektoros* (Trichoptera: Calamoceratidae) in a Central Amazon stream. *Zoologia*, 31, 337–342. DOI: 10.1590/S1984-46702014000400005
- Martins, R.T., Melo, A.S., Gonçalves, J.F., Jr., & Hamada, N. 2015. Leaf-litter breakdown in urban streams of Central Amazonia: Direct and indirect effects of physical, chemical, and biological factors. *Freshwater Science*, 34, 716–726. DOI: 10.1086/681086
- McCallen, E., Knott, J., Nunez-Mir, G., Taylor, B., Jo, I., & Fei, S. 2019. Trends in ecology: shifts in ecological research themes over the past four decades. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(2), 109–116. DOI: 10.1002/fee.1993
- Molozzi, J., Salas, F., Callisto, M., & Marques J. C. 2013. Thermodynamic oriented ecological indicators: Application of Eco-Exergy and Specific Eco-Exergy in capturing environmental changes between disturbed and non-disturbed tropical reservoirs. *Ecological Indicators*, 24, 543–551. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.08.002
- Moretti, M.S., Becker, B., Kiffer, W.P., Jr., da Penha, L.O., & Callisto, M. 2020. Eucalyptus leaves are preferred to Cerrado native species but do not constitute a better food resource to stream shredders. *Journal of Arid Environments*, 181, 104221. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2020.104221
- Murakami, A., Thompson, P., Hunston, S., & Vajn, D. 2017. 'What is this corpus about?': Using topic modelling to explore a specialised corpus. *Corpora*, 12, 243–277. DOI: 10.3366/cor.2017.0118
- Murzintcev, N. 2014. Ldatuning: Tuning of the latent dirichlet allocation models parameters. R package version 0.2-0. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=ldatuning>
- Paiva, F. F., Gomes, W. I. A., Medeiros, C. R., Álvaro, É. L. F., Ribeiro, I. M. S., Molozzi, J. 2018. Environmental factors influencing the occurrence of alien mollusks in semi-arid reservoirs. *Limnetica*, 37, 187–198. DOI: 10.23818/limn.37.16
- Rangel, J. V., Araújo, R. E. S., Casotti, C. G., Costa, L. C., Kiffer, W. P., Jr., & Moretti, M. S. 2017. Assessing the role of canopy cover on the colonization of phytotelmata by aquatic invertebrates: An experiment with the tank-bromeliad *Aechmea lingulata*. *Journal of Limnology*, 76, 230–239. DOI: 10.4081/jlimnol.2016.1526
- Rocha, C. F. D., Esteves, F. A., & Scarano, F. R. 2004. Pesquisas de longa duração na restinga de Jurubatiba: ecologia, história natural e conservação. Editora RiMa, São Carlos. p. 376.
- Thienemann, A. 1921. Seentypen. *Die Naturwissenschaften* 18, 343–430.
- Westgate, M. J., & Lindenmayer, D. B. 2017. The difficulties of systematic reviews. *Conservation Biology* 31, 1002–1007. DOI: 10.1111/cobi.12890
- Westgate, M. J., Barton, P. S., Pierson, J. C., & Lindenmayer, D. B. 2015. Text analysis tools for identification of emerging topics and research gaps in conservation science. *Conservation Biology*, 29, 1606–1614. DOI: 10.1111/cobi.12605_

Submitted: 18 June 2021

Accepted: 12 March 2022

Associate Editor: Rayanne Setubal, Reinaldo Bozelli and Vinícius Farjalla