



LORRANE GABRIELLE CANTANHÊDE

**Impactos da pastagem na estrutura taxonômica e funcional de peixes de riachos
amazônicos**

Belém, 2018

LORRANE GABRIELLE CANTANHÊDE

Impactos da pastagem na estrutura taxonômica e funcional de peixes de riachos amazônicos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia, do convênio da Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Área de concentração: Biodiversidade e Conservação

Linha de pesquisa: Ecologia animal

Orientador: Prof. Dr. Luciano Fogaça de Assis Montag

Belém, 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Sistema
de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados
fornecidos pelo(a) autor(a)

C229i Cantanhede, Lorrane Gabrielle
Impactos da pastagem na estrutura taxonômica e funcional de peixes de riachos
amazônicos / Lorrane Gabrielle Cantanhede. — 2018
71 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Zoologia
(PPGZOOL), Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará,
Belém, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Luciano Fogaça de Assis Montag

1. Uso da terra. 2. Mudanças ambientais. 3. Vegetação ripária. 4. Atributos
funcionais. 5. Ecologia de riachos. I. Montag, Luciano Fogaça de Assis , *orient.* II.
Título

CDD 574.5222

FOLHA DE APROVAÇÃO

LORRANE GABRIELLE CANTANHÊDE

IMPACTOS DA PASTAGEM NA ESTRUTURA TAXONÔMICA E FUNCIONAL DE PEIXES DE RIACHOS AMAZÔNICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zoologia, do convênio da Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, sendo a COMISSÃO JULGADORA composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. LUCIANO FOGAÇA DE ASSIS MONTAG

Universidade Federal do Pará (UFPA) (Presidente)

Prof. Dr. LEANDRO JUEN

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Dr. ROGÉRIO ROSA DA SILVA

Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG)

Prof. Dra. CECÍLIA GONTIJO LEAL

Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG)

Prof. Dr. BRUNO DA SILVEIRA PRUDENTE

Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG)

Prof. Dr. RAFAEL PEREIRA LEITÃO

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Aprovada em: 19 de Janeiro de 2018

Local de defesa: Belém, PA

Dedico a todas as pessoas que eu amo.

“O homem é parte da natureza e sua guerra contra ela é inevitavelmente uma guerra contra si mesmo. Temos pela frente um desafio como nunca a humanidade teve, de provar nossa maturidade e domínio, não da natureza, mas de nós mesmos.”

(A Primavera Silenciosa – Rachel L. Carson)

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, já que Ele colocou pessoas tão especiais ao meu lado, sem as quais certamente tudo teria sido mais difícil. Por ter me dado forças e me guiado nos momentos em que achei que não conseguiria.

Aos meus pais, Helena e Claudio, e minha irmã Larissa, que mesmo de longe me deram a base e estrutura emocional que precisei, por sempre apoiarem todas as minhas decisões, apesar desta ter envolvido distância e saudade. Amo muito vocês, família!

Ao meu namorado Dimitri, por sempre me incentivar e não deixar que eu desmoronasse em momento nenhum. Sempre me deu amor, carinho e me consolou quando precisei. Ficou feliz com todas as minhas vitórias e foi compreensivo apesar da distância. Obrigada amor, já são quase oito anos juntos e em todas as etapas pelas quais já passei, seu apoio foi essencial. Te amo!

Ao meu orientador Luciano Montag, que chamamos de Miúdo carinhosamente. Obrigada por ter aceitado ser meu “papai científico” sem nem me conhecer, por ter acreditado em meu potencial quando pedi para trabalhar com diversidade funcional, que era algo completamente novo para mim, inclusive o fato de trabalhar com comunidades. Agradeço por todo o conhecimento que você compartilhou comigo, pelos momentos de diversão, pelos puxões de orelha, enfim, agradeço por toda essa experiência que foi incrível e que só foi possível porque você me recebeu de braços abertos. Obrigada!

Às minhas co-orientadoras, Ana Luiza e Híngara. Nem tenho palavras para agradecer por tudo que aprendi com vocês, por toda a paciência, por corrigirem os meus erros e elogiarem meus acertos. Agradeço, acima de tudo, pela amizade que construímos ao longo desses dois anos. Vocês são incríveis e tenho certeza que chegarão muito longe. Os futuros orientandos de vocês terão muita sorte!

Agradeço a Leandro Juen e Raphael Ligeiro, pelas dicas e correções durante a aula de qualificação e, a Jansen Zuanon, Youszef Bitar, Leandro Duarte e William Magnusson pelas dicas valiosas durante as duas semanas da pós.

Aos professores do PPGZOO que contribuíram à sua maneira com toda essa bagagem de conhecimento que levarei comigo.

À banca que aceitou avaliar e colaborar com o meu trabalho: Dr. Leandro Juen, Dr. Rogério Rosa, Dra. Cecília Gontijo Leal, Dr. Bruno da Silveira Prudente e Dr. Rafael Pereira Leitão.

Agradeço a duas pessoas incríveis com quem dividi apartamento e que acabaram se tornando a minha família em Belém: Carol e Juliana. Vocês não têm ideia do quanto foram

essenciais para que eu chegasse aqui hoje, vocês me deram todo o apoio emocional e tornaram a caminhada mais leve. Obrigada por sempre cuidarem da irmã “caçula”, por corrigirem os meus erros, por sempre ficarem felizes com as minhas vitórias e me botado para cima quando estive triste. Todos os momentos de diversão, de trabalho, pelas festas, bagunças e gritarias, todos esses momentos se tornaram lembranças que levarei para sempre. De verdade, quero sempre vocês na minha vida independente de qualquer coisa, porque vocês são minhas irmãs e seremos sempre a “gaiola das loucas”. Amo vocês!

Aos meus melhores amigos de São Luís: Gabriela, Guilherme, Ranielly, Fernanda, Gustavo, Thiago e Roberta. Mesmo de longe, sei que sempre estiveram na torcida, a amizade de vocês é essencial em minha vida. Dizem que nos tornamos a média das pessoas que nos cercam, graças a Deus, essas pessoas são vocês. Minha CIA vermelha <3

À galera do Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO), em especial aos do museuzinho. Sempre estiveram disponíveis para conversar e ajudar a solucionar os problemas que apareceram. Agradeço também pela amizade e pelas risadas no dia a dia. Espero poder retribuir tudo que aprendi com vocês. Contem sempre comigo!

À galera do Laboratório de Ecologia e Zoologia de Vertebrados. Vocês me acolheram e me fizeram ser parte do lab, agradeço por todas as discussões, pelo conhecimento compartilhado e pela amizade que me proporcionaram. Estarei sempre por aqui quando precisarem!

A todas as pessoas que contribuíram com este trabalho, direta ou indiretamente, principalmente aos responsáveis pela coleta, triagem e identificação do material.

Aos fazendeiros e à empresa CIKEL Ltda. por disponibilizarem suas propriedades para a realização desta pesquisa e ao CNPq pelo financiamento do projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

Ao Programa de Pós-graduação em Zoologia (PPGZOO), a Universidade Federal do Pará (UFPA) e o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) pela minha formação.

Muito obrigada, pessoal!

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
INTRODUÇÃO GERAL.....	11
REFERÊNCIAS	13
CAPÍTULO ÚNICO	15
Introdução.....	17
Material e Métodos.....	19
Resultados	24
Discussão	28
Referências.....	32
MATERIAL SUPLEMENTAR.....	40

Impactos da pastagem na estrutura taxonômica e funcional de peixes de riachos amazônicos

RESUMO

Nos últimos anos, o desenvolvimento econômico crescente tem promovido altas taxas de desmatamento e mudanças no uso da terra, que impactam negativamente os ecossistemas terrestres e aquáticos ao redor do mundo. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar como a estrutura taxonômica e a diversidade funcional das assembleias de peixes de riachos da Amazônia Oriental respondem aos impactos causados pela pastagem. Buscou-se responder as seguintes perguntas: (i) Qual o efeito da pastagem sobre as características ambientais dos riachos?; (ii) Como elas afetam a estrutura taxonômica e a diversidade funcional da ictiofauna?; (iii) Quais atributos funcionais estarão relacionados às variáveis ambientais que caracterizam os riachos que drenam áreas de pastagem e floresta? As coletas foram realizadas entre os anos de 2012 e 2015, no período de estiagem, com 13 riachos em áreas florestadas e 13 riachos em áreas de pastagem. Através de uma PCA verificou-se o conjunto de variáveis ambientais relacionadas com áreas de floresta e pastagem. A estrutura taxonômica foi comparada entre os ambientes através da riqueza, composição e abundância de espécies. A diversidade funcional foi mensurada através dos componentes de riqueza, equitabilidade e divergência funcional. Testou-se a significância dos resultados dos índices com teste t de *Student*. Foi utilizada a análise de ordenação RLQ e o componente *fourth-corner* para determinar as relações entre variáveis ambientais de cada tratamento e atributos funcionais. Foi encontrada maior quantidade de abrigos artificiais e maior porcentagem de corredeiras em pastagens e a maior cobertura de dossel formada por árvores grandes (DAP >0,3 m) em áreas de floresta. Foi comprovado que a pastagem afeta negativamente a estrutura taxonômica e a divergência funcional da ictiofauna, favorecendo a presença de espécies generalistas. A maior quantidade de cobertura de dossel beneficiou espécies bentônicas. Apesar de o Código Florestal Brasileiro prever a manutenção da vegetação ripária no entorno dos riachos, a pastagem gerou efeitos negativos sobre o habitat físico dos riachos, estrutura taxonômica e divergência funcional das assembleias de peixes de riachos na Amazônia Oriental. Para conservar a diversidade de peixes em riachos amazônicos, deve haver leis mais rigorosas e maior fiscalização em relação à manutenção das vegetações ripárias.

Palavras-chave: Uso da terra; Mudanças ambientais; Vegetação ripária; Atributos funcionais; Ecologia de riachos

Pasture impacts on the taxonomic structure and functional of fishes from Amazonian streams

ABSTRACT

In recent years, increasing economic development has promoted high rates of deforestation and land use change that negatively impact terrestrial and aquatic ecosystems around the world. Therefore, this study aimed to assess how the taxonomic structure and functional diversity of the stream fish assemblages of eastern Amazonia respond to impacts caused by pasture. We sought to answer the following questions: (i) What is the effect of pasture on the environmental characteristics of streams?; (ii) How do they affect the taxonomic structure and functional diversity of the ichthyofauna?; (iii) What functional attributes will be related to the environmental variables that characterize the streams that drain pasture and forest areas? The sampling were carried out between the years of 2012 and 2015, in the dry season, with 13 streams in forested areas and 13 streams in pasture areas. Through a PCA the set of environmental variables related to forest and pasture areas were verified. The taxonomic structure was compared among the environments through the richness, composition and abundance of species. Functional diversity was measured through the components of richness, evenness and functional divergence. The significance of the results of the indices with Student's t-test was tested. RLQ ordering analysis and the fourth-corner component were used to determine the relationships between environmental variables of each treatment and functional attributes. A higher number of artificial shelters and a higher percentage of riffles were found in pastures and the higher canopy cover formed by large trees (DAP > 0.3 m) in forest areas. It was verified that the pasture negatively affects the taxonomic structure and the functional divergence of the ichthyofauna, favoring the presence of generalist species. The highest amount of canopy cover benefited benthic species. Although the Brazilian Forest Code provide for the maintenance of riparian vegetation around the streams, grazing generated negative effects on the physical habitat of streams, taxonomic structure and functional divergence of assemblages of fish from streams in the Eastern Amazon. To conserve the diversity of fish in Amazonian streams, there should be stricter laws and increased enforcement regarding the maintenance of riparian vegetation.

Keywords: Land use; Environmental changes; Riparian vegetation; Functional attributes; River ecology

INTRODUÇÃO GERAL

Na Amazônia, os diferentes tipos de uso da terra têm levado a altas taxas de desflorestamento (INPE 2014) e a tendência é que esses números cresçam cada vez mais devido à alta demanda por produtos agropecuários. O Brasil é atualmente o segundo maior produtor e o maior exportador mundial de carne bovina e isto se deve em grande parte às características climáticas e à extensão territorial do país, que faz com que a pastagem seja a forma mais fácil e economicamente viável de produção de alimento aos bovinos e, por consequência, tenha os menores custos de produção de carne do mundo (Carvalho et al. 2009, Deblitz 2012, Ferraz & Felício 2010). No entanto, a conversão de florestas em pastagens tem levado a alterações no habitat e consequentemente no provimento de serviços ecossistêmicos prestados por elas. Dentre estes serviços, destacam-se o fornecimento de material alóctone para servir de alimento e refúgio à fauna (Fausch & Northcote 1992, Schneider & Winemiller 2008), manutenção da temperatura (Lowe-McConnell 1987) e o impedimento da entrada de sedimentos nos corpos d'água (Pusey & Arthington 2003), provenientes de atividades agropecuárias.

Desta forma, as modificações que ocorrem nas florestas geram alterações funcionais e estruturais sobre a biodiversidade associada, como: declínio na riqueza de espécies e na abundância de indivíduos menos tolerantes (Ferreira & Petreire Jr. 2007) e a substituição de espécies sensíveis por oportunistas (Teresa et al. 2015). Logo, tem gerado consequências extremas sobre a fauna de ecossistemas aquáticos, devido a sua dependência das condições ambientais ao entorno (Vannote et al. 1980, Allan & Castillo 2007).

Assim, conhecer a relação entre as espécies e seu ambiente se tornou o primeiro passo para o planejamento de estratégias que levem à minimização dos impactos das atividades humanas sobre a fauna aquática, pois segundo a teoria de nicho (Hutchinson 1957), as espécies possuem requerimentos ecológicos distintos, limitados por fatores bióticos e abióticos, formando assim um espaço multidimensional denominado nicho. Através do nicho é possível determinar o papel ecológico de uma espécie e as consequência que sua perda acarretaria para o ambiente em que ela ocorre. Dessa forma, surgiram duas importantes abordagens para avaliar a estrutura das comunidades faunísticas frente às alterações ambientais, a diversidade taxonômica e funcional.

Na diversidade taxonômica, geralmente avalia-se a riqueza de espécies, que é a quantidade de espécies presentes em um ambiente; a composição, que remete a quais espécies estão presentes no ambiente; e abundância, que é a quantidade de indivíduos de cada espécie. No entanto, nos últimos anos, os cientistas têm defendido a ideia de que somente esses três componentes da diversidade taxonômica não são suficientes para avaliar a estrutura e as respostas ecológicas da comunidade frente às distintas condições ambientais provocadas pelos diversos tipos de uso da

terra, pois implicitamente assumem que todas as espécies são ecologicamente equivalentes no ecossistema (Botta-Dukát 2005, Ricotta 2005). Com isto, uma proposta chamada de diversidade funcional foi designada para que essas avaliações levem em consideração a variabilidade de funções que as espécies exercem no ecossistema (Diaz e Cabido, 2001) e assim, demonstrar os prejuízos da perda de algumas dessas funções sobre os serviços ambientais. Desta forma, utilizar abordagem de diversidade funcional como modo complementar à riqueza, composição e abundância de espécies, tem se mostrado bastante útil quando o objetivo é avaliar não somente os efeitos dos usos da terra sobre as espécies, mas também sobre suas características funcionais (Hitt & Chambers 2014; Luiza-Andrade et al. 2017).

Diante disto, têm sido desenvolvidas diversas maneiras de avaliar a diversidade funcional de uma comunidade (Cianciaruso et al. 2009). Villéger (2008) desenvolveu três índices multivariados que são determinados como as “facetadas da diversidade funcional”, sendo eles: Riqueza funcional (*FRic*), que representa a quantidade de espaço funcional preenchido pela comunidade; Equitabilidade funcional (*FEve*), utilizado para medir a regularidade do espaçamento entre espécies e a forma como as suas abundâncias se distribuem no espaço funcional permitindo a utilização equilibrada e eficiente dos recursos disponíveis e; Divergência funcional (*FDiv*), mede como a abundância é distribuída dentro do volume de espaço funcional ocupado pelas espécies ou seja, uma forma de quantificar se abundâncias maiores estão perto dos limites do espaço funcional. Esses índices têm sido utilizados em grande escala para avaliar os efeitos de uso da terra sobre diversos grupos, como plantas (Pakeman 2011), aves (Almeida et al. 2016), insetos (Luiza-Andrade et al. 2017) e peixes (Hitt & Chambers 2014).

Após constatar os efeitos que as modificações ambientais poderiam ter sobre as espécies e suas funções no provimento de serviços ecossistêmicos, houve a necessidade de avaliar como as variáveis ambientais afetavam os atributos funcionais, pois assim seria viável predizer as condições abióticas ideais para manter o equilíbrio ecológico e a manutenção de funções ecossistêmicas. Pensando nisto, diversas análises foram desenvolvidas, dentre elas, a análise RLQ (Dolédec et al., 1996), que é uma ordenação simultânea entre três as matrizes de composição de espécies, dados ambientais e atributos funcionais e, posteriormente, foi possível fazer ligações diretas entre cada variável ambiental com o tipo de atributo da espécie (Legendre et al. 1997). Com a junção das duas análises, tornou-se possível determinar efeitos de variáveis sobre as funções e isso proporcionou discussões mais coerentes e complexas sobre a relação biodiversidade vs serviços ecossistêmicos (Dray et al. 2014).

Desta forma, este trabalho objetivou avaliar como a estrutura taxonômica e a diversidade funcional das assembleias de peixes responde aos impactos causados pela pastagem em riachos na Amazônia Oriental, buscando responder as seguintes perguntas: (i) Qual o efeito da pastagem sobre

as características ambientais dos riachos?; (ii) Como elas afetam a estrutura taxonômica e a diversidade funcional da ictiofauna?; (iii) Quais atributos funcionais estarão relacionados às variáveis ambientais que caracterizam os riachos que drenam áreas de pastagem e floresta?

REFERÊNCIAS

- Allan JD, Castillo MM (2007) Stream ecology: structure and function of running waters. Springer Netherlands, New York, 436 pp.
- Almeida SM, Silva LC, Cardoso MR, Cerqueira PV, Juen L, Santos MPD (2016) The effects of oil palm plantations on the functional diversity of Amazonian birds. *Journal of Tropical Ecology* 32: 510-525. DOI: 10.1017/S0266467416000377
- Botta-Dukát Z (2005) Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. *Journal of Vegetation Science* 16: 533-540. DOI: 10.1111/j.1654-1103.2005.tb02393.x
- Carvalho TB, Zen S, Tavares ECN (2009) Comparação de custo de produção na atividade de pecuária de engorda nos principais países produtores de carne bovina. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Porto Alegre (Brasil), Julho 2009. SOBER, Porto Alegre.
- Cianciaruso MV, Silva IA, Batalha MA (2009) Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. *Biota Neotropica* 9: 93-103.
- Deblitz C (2012) Beef and Sheep Report: understanding agriculture worldwide. <<http://www.agribenchmark.org/beef-and-sheep/publications-and-projects/beef-and-sheep-report.html>>
- Diaz S, Cabido M (2001) Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution* 16: 646–655. DOI: 10.1016/S0169-5347(01)02283-2
- Dolédec S, Chessel D, Ter Braak CJF, Champely S (1996) Matching species traits to environmental variables: a new three-table ordination method. *Environmental and Ecological Statistics* 3: 143-166. DOI: 10.1007/BF02427859
- Dray S, Choler P, Dolédec S, Peres-Neto PR, Thuiller W, Pavoine S, Ter Braak CJF (2014) Combining the fourth-corner and the RLQ methods for assessing trait responses to environmental variation. *Ecology* 95: 14-21. DOI: 10.1890/13-0196.1
- Fausch KD, Northcote TG (1992) Large Woody Debris and Salmonid Habitat in a Small Coastal British Columbia Stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49:682-693. DOI: 10.1139/f92-077
- Ferraz JBS, Felício PE (2010) Production systems - An example from Brazil. *Meat Science* 84: 238-243. DOI: 10.1016/j.meatsci.2009.06.006

- Ferreira FC, Petrere Jr. M (2007) Anthropic effects on the fish community of Ribeirão Claro, Rio Claro, SP, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 67: 23-32. DOI: 10.1590/S1519-69842007000100004
- Hitt NP, Chambers DB (2014) Temporal changes in taxonomic and functional diversity of fish assemblages downstream from mountaintop mining. *Freshwater Science* 33: 915-926. DOI: 10.1086/676997
- Hutchinson GE (1957) Concluding Remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22: 425-427. DOI: 10.1101/SQB.1957.022.01.039
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2014) Projeto TerraClass2012 – Mapeamento do uso e cobertura da Terra na Amazônia Legal Brasileira. Brasília: INPE.
- Legendre P, Galzin R, Harmelin-Vivien ML (1997) Relating behavior to hábitat: Solutions to the fourth-corner problem. *Ecology* 78: 547-562. DOI: 10.1890/0012-9658(1997)078[0547:RBTHST]2.0.CO;2
- Lowe-McConnell RH (1987) *Ecological studies in tropical fish communities*. Cambridge Tropical Biology Series. Cambridge University Press, Cambridge, 400 pp.
- Luiza-Andrade A, Brasil LS, Benone NL, Shimano Y, Farias APJ, Montag LF, Dolédec S, Juen L (2017) Influence of oil palm monoculture on the taxonomic and functional composition of aquatic insect communities in eastern Brazilian Amazonia. *Ecological Indicators* 82: 478-483. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.07.006
- Pakeman RJ (2011) Multivariate identification of plant functional response and effect traits in an agricultural landscape. *Ecology* 92:1353-1365. DOI: 10.1890/10-1728.1
- Pusey BJ, Arthington AH (2003) Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: A review. *Marine and Freshwater Research* 54: 1–16. DOI: 10.1071/MF02041
- Ricotta C (2005) Through the jungle of biological diversity. *Acta Biotheoretica* 53: 29–38. DOI: 10.1007/s10441-005-7001-6
- Schneider KN, Winemiller KO (2008) Structural complexity of woody debris patches influences fish and macroinvertebrate species richness in a temperate floodplain-river system. *Hydrobiologia* 610: 235–244. DOI: 10.1007/s10750-008-9438-5
- Teresa FB, Casatti L, Cianciaruso MV (2015) Functional differentiation between fish assemblages from forested and deforested streams. *Neotropical Ichthyology* 13: 361-370. DOI: 10.1590/1982-0224-20130229
- Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW, Sedell JR, Cushing E (1980) The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137. DOI: 10.1139/f80-017
- Villéger S, Mason NWH, Mouillot D (2008) New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology* 89: 2290–2301. DOI: 10.1890/07-1206.1

Capítulo Único

Impactos da pastagem na estrutura taxonômica e funcional de peixes de riachos amazônicos

O capítulo único desta dissertação foi elaborado e formatado conforme as normas da publicação científica *Hydrobiologia*, as quais se encontram no material suplementar (Material suplementar 10).

Impactos da pastagem na estrutura taxonômica e funcional de peixes de riachos amazônicos

Lorrane Gabrielle Cantanhêde^{1,2,3}; Ana Luiza-Andrade^{1,2}; Híngara Leão^{1,2}; Luciano Fogaça de Assis Montag²

¹Programa de Pós-graduação em Zoologia, Universidade Federal do Pará/Museu Paraense Emílio Goeldi – UFPA/MPEG

²Laboratório de Ecologia e Conservação, Instituto de Ciências Biológicas, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, Belém – PA, Brasil

³e-mail: lorranegabrielle@hotmail.com

Resumo

Nesse estudo, avaliou-se como o hábitat de riachos, a estrutura taxonômica e a diversidade funcional das assembleias de peixes respondem aos efeitos das pastagens na Amazônia Oriental. Através de uma PCA verificou-se o conjunto de variáveis ambientais relacionadas com áreas de floresta e pastagem. A estrutura taxonômica foi comparada entre os ambientes através da riqueza, composição e abundância de espécies. A diversidade funcional foi mensurada através dos componentes de riqueza, equitabilidade e divergência funcional. Testou-se a significância dos resultados dos índices com teste t de *Student*. Foi utilizada a análise de ordenação RLQ e o componente *fourth-corner* para determinar as relações entre variáveis ambientais de cada tratamento e atributos funcionais. Foi encontrada maior quantidade de abrigos artificiais e maior porcentagem de corredeiras em pastagens e a maior cobertura de dossel formada por árvores grandes (DAP >0,3 m) em áreas de floresta. Foi comprovado que a pastagem afeta negativamente a estrutura taxonômica e a divergência funcional da ictiofauna, favorecendo a presença de espécies generalistas. A maior quantidade de cobertura de dossel beneficiou espécies bentônicas. Em geral, o avanço das pastagens está gerando modificações negativas no hábitat, e conseqüentemente, está causando alterações na estrutura taxonômica e na diversidade funcional das comunidades de peixes.

Palavras-Chave: Uso da terra; Mudanças ambientais; Vegetação ripária; Atributos funcionais; Ecologia de riachos

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o desenvolvimento econômico crescente tem promovido altas taxas de desmatamento e mudanças no uso da terra que impactam negativamente os ecossistemas terrestres e aquáticos ao redor do mundo (Kleine & Trivinho-Strixino, 2005; Nepstad et al., 2008; Kimaro et al., 2014). Muitos estudos têm evidenciado que as principais implicações para a estrutura do hábitat de rios e riachos são as alterações causadas por agricultura (Nepstad et al., 2006; Cunha & Juen, 2017), exploração madeireira (Prudente et al., 2017), desenvolvimento urbano (Wang et al., 2012) e pecuária (Teresa & Casatti, 2012). Tais atividades resultam na retirada da vegetação (Fearnside, 2006) e causam diminuição da complexidade estrutural do hábitat (Casatti et al., 2009).

Na Amazônia, a supressão da floresta para o estabelecimento de pastagens tem sido apontada como a principal causa de desmatamento, representando 60% das áreas abertas e ocupando cerca de 480.000 km² da área total deste bioma (INPE, 2014). A transformação da vegetação nativa em pastagem implica na diminuição da heterogeneidade da mata ripária, pois as gramíneas advindas deste tipo de atividade, juntamente com a faixa mínima de vegetação ripária prevista em lei (30 metros- Lei Federal nº 12.651/2012), são ineficientes na manutenção das condições ambientais adequadas para a sobrevivência e permanência de determinadas espécies menos tolerantes nessas regiões (Pusey & Arthington, 2003; Fearnside, 2006).

As matas ripárias prestam serviços ambientais imprescindíveis aos ecossistemas aquáticos, como por exemplo, regular a temperatura da água, reduzir a entrada de sedimentos (Tonkin et al., 2016; Vigiak et al., 2016), manter a estabilidade do fluxo (Vannote et al., 1980) e fornecer material alóctone como galhos, frutos, sementes, folhas e troncos que podem ser utilizados pelos organismos como local para reprodução, alimento e abrigo (Schneider & Winemiller, 2008; Brugnaro, 2010).

Por outro lado, a perda da vegetação ripária pode afetar a dinâmica dos riachos, pois influencia diretamente na estabilidade da temperatura (Kristensen et al., 2015), no aumento da incidência de luz e conseqüentemente no aumento da produtividade primária (Lorion & Kennedy, 2009), na disponibilidade de matéria orgânica (Graça, 2001), característica determinante na distribuição de muitas espécies algóvoras e detritívoras (Bojsen & Barriga, 2002) e ciclagem de nutrientes (França et al., 2009). Entre as conseqüências ambientais relatadas para a estrutura das assembleias, uma das principais é a perda de espécies com hábitos especializados e o aumento na riqueza de espécies e/ou abundância de organismos tolerantes às novas condições e oportunidades que são oferecidas pelo ambiente alterado (p. ex. presença de gramíneas nas margens) (Teresa & Casatti, 2013).

Apesar da problemática acerca dos efeitos negativos que as atividades humanas geram sobre a estrutura taxonômica, diminuindo a riqueza e alterando a composição de espécies (Roa-Fuentes & Casatti, 2017), atenção deve ser dada também às funções que as espécies desempenham no ambiente, ou seja, a contribuição dada por cada espécie na comunidade e a forma como ela explora os recursos disponíveis (Sobral & Cianciaruso, 2012). Uma abordagem proposta para este fim é a diversidade funcional, definida por Diaz & Cabido (2001), como “a variabilidade de aspectos biológicos relacionados com a função que as espécies exercem no ecossistema”. Os aspectos biológicos, chamados de atributos funcionais, podem ser obtidos através de características morfológicas, fisiológicas ou comportamentais que possuam uma interpretação ecológica relacionada a uma atividade exercida pela espécie no ambiente estudado (McGill et al., 2006; Webb et al., 2010).

Na perspectiva da diversidade funcional, a perda de uma espécie não irá necessariamente afetar a integridade biológica e os serviços ecossistêmicos, pois se no ambiente em que essa espécie foi perdida existem outras funcionalmente redundantes, as funções exercidas por essas espécies no ambiente serão mantidas. Por outro lado, a perda de espécies funcionalmente únicas também leva à perda da função exercida por elas no ambiente (Carmona et al., 2017). Dessa forma, avaliar a riqueza, composição, abundância e também a diversidade funcional podem contribuir no entendimento sobre a forma como as comunidades se organizam frente a distintos gradientes de impacto ambiental (Dolédec & Statzner, 2008; Heino et al., 2013).

Os peixes são apontados como bons indicadores ecológicos e têm sido constantemente utilizados como ferramenta de avaliação quando o objetivo é verificar a qualidade dos ecossistemas de riachos (Ferreira & Casatti, 2006; Flores-Lopes et al., 2010), pois apresentam um grande número de espécies sensíveis e tolerantes às variações ambientais, de forma que o grupo é encontrado tanto em áreas preservadas como alteradas. Além disso, pertencem a grupos funcionais diversos, em relação a guildas tróficas, migração e capacidade natatória, por exemplo, e modificações no hábitat podem afetar diretamente estes aspectos (Lyons et al., 1995). Sabe-se, por exemplo, que os riachos florestados beneficiam: 1) espécies com dietas invertívoras e piscívoras (Teresa et al., 2015), pois são dietas que dependem da ocorrência de outros organismos (invertebrados e peixes), estes por sua vez, associados às condições do habitat (Teresa et al., 2015; Luiza-Andrade et al., 2017); 2) espécies com cuidado parental, devido à necessidade de microhábitats que sirvam como esconderijos para a prole; e 3) espécies bentônicas, pois seus locais de forrageio e reprodução ocorrem mais frequentemente no fundo dos riachos, ambiente diretamente influenciado pela vegetação ripária (Lassala & Renesto, 2007; Costa & Schulz, 2010).

Em relação à estrutura taxonômica, os padrões em comunidades de peixes de riachos já são relativamente bem conhecidos quando comparado aos estudos acerca da diversidade funcional do

grupo (Teresa & Casatti, 2012; Pease et al., 2012; Hitt & Chambers, 2014; Giam et al., 2015). Na região Amazônica, diante do cenário atual de exploração antrópica crescente, estudos investigando os atributos funcionais da ictiofauna são recentes e ainda apresentam lacunas nas interpretações das relações diretas dos impactos ambientais sobre a dinâmica da comunidade e do ecossistema (Leitão et al., 2016;).

Desta forma, nosso objetivo neste trabalho foi avaliar como a estrutura taxonômica e funcional das assembleias de peixes responde aos impactos causados pela pastagem em riachos na Amazônia Oriental, buscando responder às seguintes perguntas: (i) Qual o efeito da pastagem sobre as características ambientais dos riachos?; (ii) Como elas afetam a estrutura taxonômica e a diversidade funcional da ictiofauna?; (iii) Quais atributos funcionais específicos estão relacionados às variáveis ambientais que caracterizam os riachos que drenam áreas de pastagem e floresta? Nossa hipótese é que riachos drenados por pastagens quando comparados aos de floresta apresentam, dentre outras modificações ambientais, perda de vegetação ripária, elevação da temperatura e aumento de sedimento fino e isto irá influenciar na distribuição dos peixes ao longo dos riachos nos dois tipos de ambiente. Com as mudanças ambientais, espera-se ainda que atributos funcionais como presença de cuidado parental, associação ao substrato composto por materiais provenientes das florestas e dietas invertívoras e piscívoras estejam negativamente relacionadas às condições ambientais de pastagem e positivamente relacionadas às condições ambientais de floresta, pois são características que estão intimamente ligadas à heterogeneidade do habitat.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Os riachos localizam-se na bacia hidrográfica do rio Capim, em três municípios do estado do Pará: Paragominas, Ipixuna do Pará e Aurora do Pará (Figura 1). Os pontos de floresta foram obtidos no complexo Fazenda Rio Capim, em Paragominas, pertencente à Empresa Cikel Brasil Verde Madeiras Ltda., nas áreas de reservas legais cobertas por vegetação natural e que podem ser exploradas com o manejo florestal sustentável, nos limites estabelecidos em lei para o bioma em que a propriedade está localizada. Os pontos de pastagem foram amostrados em diferentes fazendas localizadas nos demais municípios supracitados. Para determinar se um riacho era florestado ou desmatado, utilizaram-se mapas de uso do solo, e para garantir que havia independência espacial entre as amostras testou-se a autocorrelação espacial através do índice de Moran ($p > 0.20$ ou $p < -0.20$, Legendre & Legendre, 2012). Os resultados obtidos mostraram ausência de autocorrelação espacial nas amostras do presente estudo (ver Material suplementar 1).

A tipologia vegetal da região é definida como floresta ombrófila densa submontana (Veloso et al., 1991). O clima da região apresenta classificação Köppen do tipo Af (Clima tropical chuvoso com curta estação seca) (Peel et al., 2007), apresentando temperatura média em torno de 26°C (EMBRAPA, 1991) e um período de estiagem de seis meses, que é mais intenso e perceptível no período de agosto a outubro, com precipitação média anual de 1.800 mm (Watrin & Rocha, 1992). De 26.365,65 km² que representa a área total dos três municípios, 4.310,53 km² da área (cerca de 16,43%) é ocupada somente por atividades voltadas à pastagem (INPE, 2014).

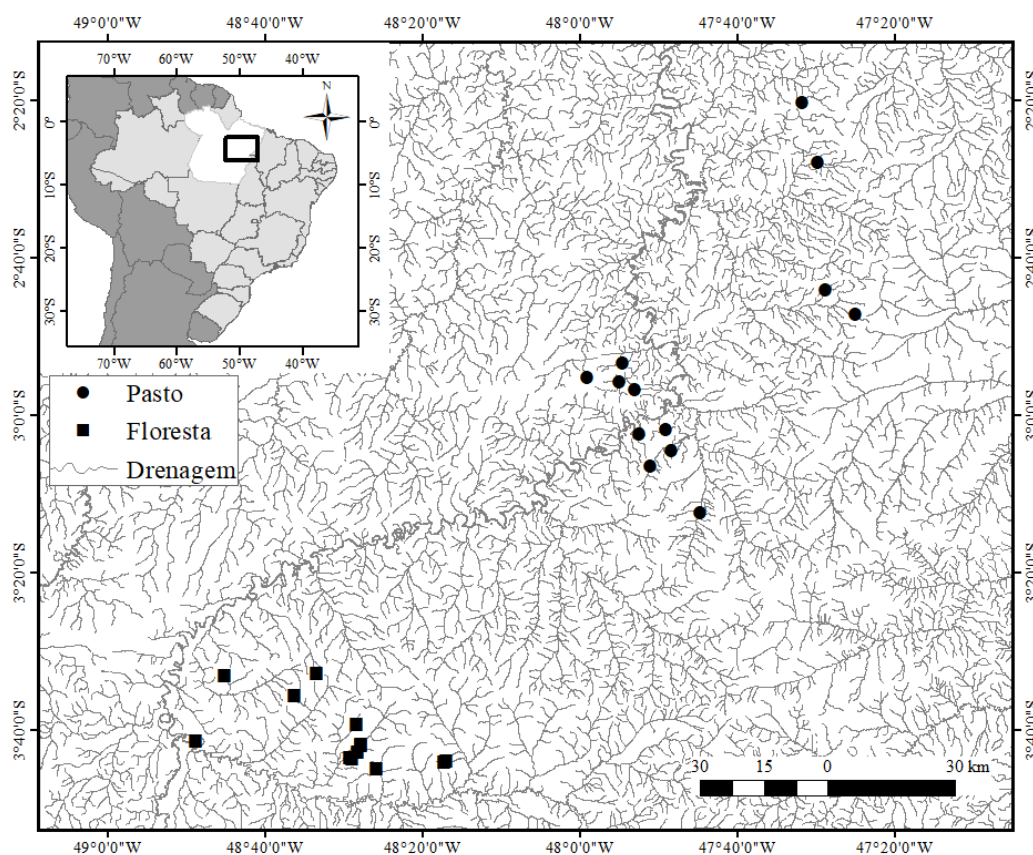


Figura 1. Localização dos 26 riachos amostrados em áreas de floresta (quadrados) e áreas de pastagem (círculos) na bacia do rio Capim, Amazônia Oriental.

Coleta de dados

Foram amostrados 26 riachos (primeira e segunda ordem; Strahler, 1957), sendo 13 em áreas florestadas e 13 em áreas de pastagem, amostrados entre os anos de 2012 a 2015, no período de estiagem. Este período foi escolhido para evitar a influência da variação sazonal na estrutura física do habitat e das assembleias de peixes (Frissell et al., 1986; Espírito-Santo et al., 2009) e para facilitar a amostragem, que é mais eficaz sob condições de águas baixas. Para cada riacho foi definido um trecho de 150 metros subdividido por 11 seções transversais nomeadas de “A” a “K” resultando em dez segmentos de 15 metros (A-B até J-K), sendo o transecto “A” sempre à jusante e o transecto “K” sempre à montante.

Os peixes foram amostrados por dois coletores utilizando peneiras com 55 cm de diâmetro e malha metálica de 2 mm entre nós opostos. Para posterior comparação dos riachos foi estabelecido um esforço amostral de três horas por trecho, sendo este tempo subdividido entre os segmentos (18 minutos por segmento), segundo a metodologia de Uieda & Castro (1999), que vem sendo utilizada com sucesso em outros estudos na região amazônica (Prudente et al. 2017).

Os peixes coletados foram sacrificados com doses letais de anestésico (Eugenol, óleo de cravo, American Veterinary Medical Association, 2013), fixados em solução de formalina 10% e após 48h transferidos para álcool 70%. A identificação dos indivíduos foi realizada ao menor nível taxonômico possível usando chaves de identificação (p. ex. Gery, 1977; Kullander, 1986; Britski et al., 2007) e auxílio de especialistas. O material encontra-se depositado no museu de Zoologia do Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, Pará.

Amostragem do hábitat

O hábitat físico de cada riacho foi avaliado ao longo de cada segmento e em cada transecto seguindo a metodologia de avaliação de riachos da US Environmental Protection Agency (Kaufmann et al., 1999; Peck et al., 2006) modificada por Callisto et al. (2014) para riachos tropicais. Este protocolo avalia características como morfologia do canal, tipo de fluxo, substrato, quantidade de madeira, vegetação ripária, disponibilidade de abrigos para a biota aquática e pressão antrópica.

Em cada um dos 11 transectos (A-K) foram tomadas medidas de largura molhada, altura do leito sazonal, profundidade, tipo, tamanho e imersão de substrato e medidas relacionadas às margens. A partir de cada transecto, a disponibilidade de abrigos para peixes foi avaliada. As estimativas visuais da zona ripária e influência humana foram avaliadas a partir das margens. No perfil longitudinal, registrou-se a profundidade do talvegue, largura das barras de canal (se presentes), presença de sedimentos, tipos de substrato, presença de pedaços grandes de madeira, registro da declividade tipos de fluxo presentes, formação de canal lateral e piscinas em 15 transectos equidistantes, ao longo do segmento. Para registro da descarga do riacho, escolheu-se um trecho de flutuação qualquer ao longo do riacho. Mediu-se o tamanho desse trecho e utilizando a técnica do objeto flutuante, obteve-se três medidas de largura nos pontos à montante, intermediário e à jusante, além de cinco medidas de profundidade ao longo do trecho de flutuação escolhido. Todas essas informações foram transformadas em 236 variáveis através do método de Kaufmann et al. (1999).

Seleção de atributos funcionais

No total, 14 atributos funcionais qualitativos e quantitativos foram utilizados para calcular a diversidade funcional das assembleias de peixes. Os atributos quantitativos consistiram em valores médios de características ecomorfológicas, as quais foram obtidas através da mensuração de cinco indivíduos adultos de cada espécie para evitar o efeito alométrico sobre as análises (Winemiller, 1991). No caso de espécies que apresentam dimorfismo sexual, foram selecionadas as fêmeas por apresentarem menor variação em medidas, pois devido à seleção sexual, os machos investem em nadadeiras maiores e mais ornamentadas, que podem interferir nos reais valores para a espécie. De cada indivíduo foram obtidas 16 medidas morfométricas (Material suplementar 2) sendo estas convertidas em 12 atributos ecomorfológicos que compuseram a matriz de atributos funcionais e que possuem suas respectivas interpretações ecológicas (Material suplementar 3 e 4). Todas as medidas foram calculadas em linha reta entre pontos utilizando paquímetro (0,1 mm de precisão). Primeiramente, foi utilizado papel quadriculado para contorno das regiões de interesse, posteriormente foi feito registro fotográfico do contorno e as áreas foram estimadas utilizando o software ImageJ (versão 1.48) (Rasband, 2006).

Os atributos funcionais qualitativos foram representados por sete guildas tróficas (algívoro, onívoro, piscívoro, detritívoro, invertívoro alóctone, invertívoro autóctone e parasita) e cuidado parental, obtidas a partir de literatura especializada e na base FishBase (Froese & Pauly, 2017). Quando uma informação para uma espécie não foi encontrada, os dados do gênero ou família foram extrapolados (Carvalho & Tejerina-Garro, 2015). Para o atributo “guilda trófica”, os dados foram transformados através da lógica *Fuzzy* (Chevenet et al., 1994). Este método funciona como um índice de afinidade, gerando proporções para cada categoria de acordo com as características mais pertinentes para a espécie que geralmente são descritas em trabalhos de dieta alimentar. Cada guilda trófica pode receber os valores 0, 1, 2 ou 3, onde zero indica nenhuma afinidade e três indica alta afinidade com o atributo (Material suplementar 5 e 6).

Análises estatísticas

Variáveis ambientais

A seleção das variáveis foi feita baseada em trabalhos publicados na região amazônica (Prudente et al., 2017; Cunha & Juen, 2017) e as seguintes variáveis foram escolhidas para caracterizar os ambientes (ver Material suplementar 7):

- I. Média de cobertura de dossel formada por árvores grandes (XCL) - cobertura de dossel formada por árvores com DAP >0,3 m e altura >5 m.
- II. Quantidade de abrigos artificiais (XFC_ANT) - qualquer estrutura artificial resultante de atividade humana encontrada no riacho.

- III. Porcentagem de serrapilheira no substrato (PCT_SF) – substrato formado pela deposição e acúmulo de matéria orgânica.
- IV. Porcentagem de corredeiras (PCT_RI) – tipo de fluxo em que há o aumento da velocidade e turbulência da água.

Com as quatro variáveis selecionadas realizamos uma Análise de Componentes Principais (PCA), com os dados padronizados para visualizar a variação dos dados e possível distinção entre os ambientes. Para seleção dos eixos, foi utilizado o método de *Broken-stick* (Jackson, 1993). Para determinar as variáveis que mais contribuíram para a formação dos grupos, foram verificados os valores dos *loadings* ($>0,6$). A análise foi realizada a partir da função *dudi.pca* do pacote *ade4* (Dray & Dufour, 2007).

Estrutura taxonômica

Para testar se existe diferença na riqueza e abundância de peixes entre os ambientes, foi utilizado um teste t de *Student* ($p < 0,05$), com os pressupostos de normalidade e homocedasticidade atendidos. Para verificar a formação de agrupamentos quanto à composição de espécies entre os riachos inseridos em áreas florestadas e de pastagem, os dados foram submetidos a uma Análise de Coordenadas Principais (PCoA) utilizando uma matriz de *Bray-curtis*. Para testar se houve diferenças entre os tratamentos foi utilizada uma PERMANOVA (*Permutation Multivariate Analyses of Variance*) com as matrizes utilizadas na PCoA. O valor de probabilidade da PERMANOVA foi obtido através do método de aleatorização de Monte Carlo, baseado em 9.999 permutações, considerando $p < 0,05$ (Anderson & Walsh, 2013). Essas análises foram feitas a partir das funções *t.test* e *cmdscale*, do pacote *stats*; e *adonis*, do pacote *vegan* (Oksanen et al., 2017), respectivamente.

Diversidade funcional

A matriz de atributos funcionais foi composta por dados quantitativos e em *fuzzy* e, por isso, entraram na análise com funções distintas, sendo elas *prep.binary*, *data.frame* e *prep.fuzzy*, respectivamente. Esses dados passaram por padronização através da função *decostand* com argumento *normalize* que torna a soma dos quadrados igual a um. Posteriormente, foram utilizados os índices multivariados segundo Villéger et al. (2008): i) Riqueza funcional (*FRic*), que representa a quantidade de espaço funcional preenchido pela comunidade; ii) Equitabilidade funcional (*FEve*), utilizado para medir a regularidade do espaçamento entre espécies e a forma como as suas abundâncias se distribuem no espaço funcional permitindo a utilização equilibrada e eficiente dos recursos disponíveis e; iii) Divergência funcional (*FDiv*), que define o quão distante

as abundâncias das espécies estão do centro do espaço funcional, sendo uma forma de quantificar se abundâncias maiores estão perto dos limites do espaço funcional.

Os índices foram calculados a partir da função *dbFD* do pacote *FD* (Laliberté et al., 2014). Posteriormente, foi realizado um Teste-t de Student ($p < 0,05$) para cada índice, com os pressupostos de normalidade e homocedasticidade atendidos, para verificar se havia diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Variáveis ambientais x atributos funcionais

Para responder quais atributos funcionais foram correlacionados com as características ambientais de cada tratamento foi utilizada a análise de ordenação RLQ (Dolédec et al., 1996). Inicialmente, as matrizes R, L e Q foram analisadas separadamente. A matriz de abundância (L) foi ordenada por meio de uma análise de correspondência (CA) (Dolédec et al., 1996), que fornece uma ordenação conjunta de espécies e amostras (Dray et al., 2014). A matriz Q (atributos funcionais) foi ordenada por meio da análise de *Hill-Smith*, visto que tanto variáveis qualitativas como quantitativas foram contempladas, utilizando uma matriz de distância de Gower. A matriz R (variáveis ambientais) foi ordenada por meio de uma análise de componentes principais (PCA). Essa análise foi feita a partir das funções *dudi.coa*, *dudi.hillsmith* e *dudi.pca*, do pacote *ade4* (Dray & Dufour, 2007)

Associado a esta análise, foi utilizado o componente *fourth-corner* (Legendre et al., 1997), proposto por Dray et al. (2014), que combinou as matrizes ambiental, de espécies e de atributos (R, L e Q, respectivamente), em uma única matriz. Para controlar o erro do tipo I, Dray e Legendre (2008) propuseram uma alternativa combinando dois modelos de permutação: Modelo 2, que testa a hipótese de que o ambiente influencia a distribuição de espécies com características fixas; e o Modelo 4 que testa se os atributos funcionais influenciam a composição de conjuntos de espécies encontrados em amostras com determinadas condições ambientais.

Por fim, testou-se a relação par-a-par entre cada atributo e variável ambiental para avaliar se houve correlação significativa, positiva ou negativa, entre eles. Essa análise foi feita a partir da função *fourth-corner*, do pacote *ade4* (Dray & Dufour, 2007). Todas as análises foram feitas no software R (*R Development Core Team*, 2013).

RESULTADOS

Variáveis ambientais

As características ambientais de áreas de floresta e pastagem foram sumarizadas (ver tabela 1). Na ordenação, houve formação de agrupamentos, no qual os riachos de áreas florestadas apresentaram maiores valores de média de cobertura de dossel formado por árvores grandes

(XCL), enquanto riachos de áreas de pastagem tiveram maiores valores para quantidade de abrigos artificiais (XFC_ANT) e porcentagem de corredeiras (PCT_RI) (Figura 2, Material suplementar 8). Apenas o eixo 1 da PCA foi selecionado pelo método de *Broken-stick* e explicou 52,67% da variação dos dados.

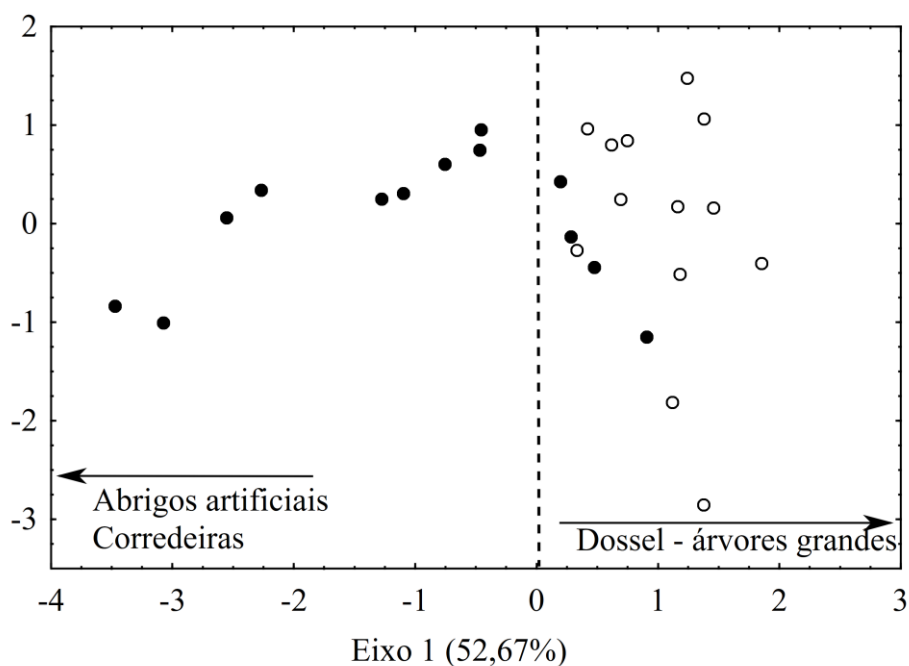


Figura 2. Ordenação das variáveis ambientais através da Análise de Componentes Principais (PCA) dos riachos em áreas de floresta (○) e áreas de pastagem (●), amostrados na bacia do rio Capim, Amazônia Oriental.

Tabela 1. Média e desvio-padrão das variáveis ambientais medidas em 13 riachos em áreas de floresta e 13 riachos em áreas de pastagem, amostrados na bacia do rio Capim, Amazônia Oriental.

Variáveis ambientais	Floresta		Pastagem	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Média de dossel formado por árvores grandes (XCL)	24,28	7,89	8,36	8,14
% Substrato formado por serapilheira (PCT_SF)	11,63	9,98	6,36	5,85
Quantidade de abrigos artificiais (XFC_ANT)	0,71	2,10	12,62	22,55
% Corredeiras (PCT_RI)	0,18	0,16	33,90	28,06

Foram capturados 8.075 indivíduos, pertencentes a seis ordens, 21 famílias e 61 espécies de peixes (ver Material suplementar 9). Nos riachos florestados foram coletados 5.043 indivíduos pertencentes a 45 espécies e nos riachos de pastagem, foram coletados 3.032 indivíduos pertencentes a 43 espécies. Dentre as espécies compartilhadas, *Hyphessobrycon heterorhabdus* foi a mais representativa ($N^{\text{floresta}} = 2.315$; $N^{\text{pasto}} = 673$) e dentre as exclusivas de cada ambiente, *Hemigrammus rodwayi* ($N=290$), *Nannostomus nitidus* ($N=142$) e *Satanoperca jurupari* ($N=135$) foram as mais representativas numericamente em pastagem. Em floresta, *Brachyhyopomus* sp. ($N=86$), *Gymnotus* gr. *pantherinus* ($N=85$) e *Characidium* cf. *etheostoma* ($N=13$) foram as mais representativas numericamente.

Estrutura taxonômica

Não houve diferenças quanto à riqueza de espécies [$t = 0,44$; $gl = 24$; $p = 0,65$ (Floresta = $14,79 \pm 5,52$; Pastagem = $13,92 \pm 3,94$)], mas a abundância diferiu entre os ambientes [$t = 2,49$; $gl = 24$; $p = 0,02$ (Floresta = $387,92 \pm 184,33$; Pastagem = $233,23 \pm 127,01$)]. Em média, áreas florestadas apresentaram 387 indivíduos ($\pm 184,33$) e 18 espécies exclusivas e as áreas de pastagem apresentaram 233 indivíduos ($\pm 127,01$) e 16 espécies exclusivas. Houve compartilhamento de 27 espécies entre os ambientes. A PCoA em seus dois primeiros eixos explicou 47,21% da variação dos dados de composição das espécies. O primeiro eixo explicou 30,29% da variação dos dados, enquanto o segundo eixo explicou 16,29%. A análise mostrou separação entre os riachos de áreas florestadas e pastagem (Figura 3), com diferenças significativas entre os tratamentos (pseudo-F = 6,364; $gl = 1$; $p = 0,001$), indicando que eles diferiram quanto à composição de espécies.

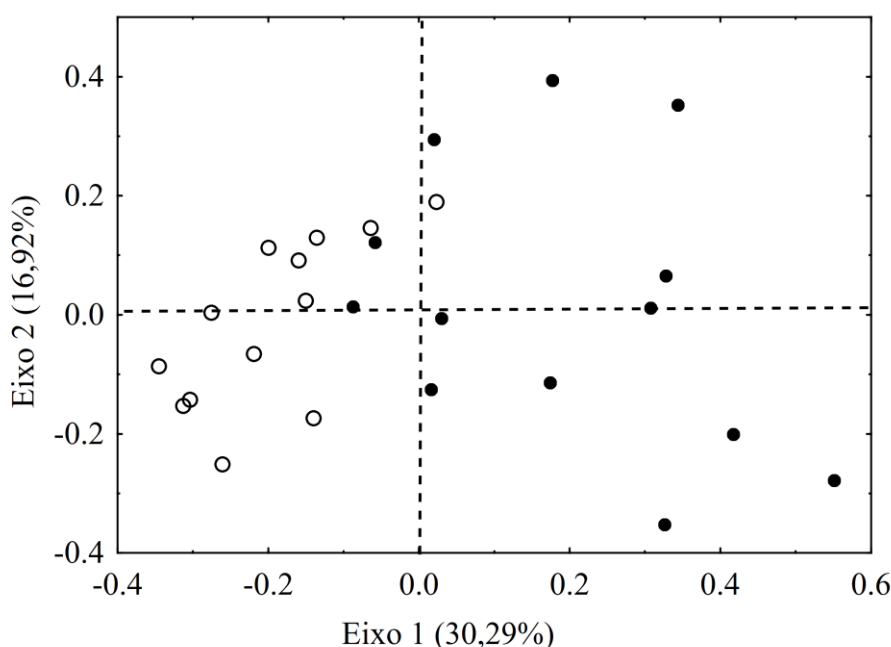


Figura 3. Ordenação resultante da Análise de Coordenadas Principais (PCoA) com as assembleias de peixes dos riachos em áreas florestadas (○) e áreas de pastagem (●), amostrados na bacia do rio Capim, Amazônia Oriental.

Diversidade funcional

Em relação aos índices de diversidade funcional foram encontradas diferenças significativas entre os dois ambientes para divergência funcional (*FDiv*) ($t = 2,32$; $gl = 24$; $p = 0,028$) (Figura 4a). Já a equitabilidade funcional (*FEve*) ($t = -0,32$; $gl = 24$; $p = 0,750$) (Figura 4b) e riqueza funcional (*FRic*) ($t = 1,83$; $gl = 24$; $p = 0,078$) (Figura 4c) não apresentaram diferenças significativas.

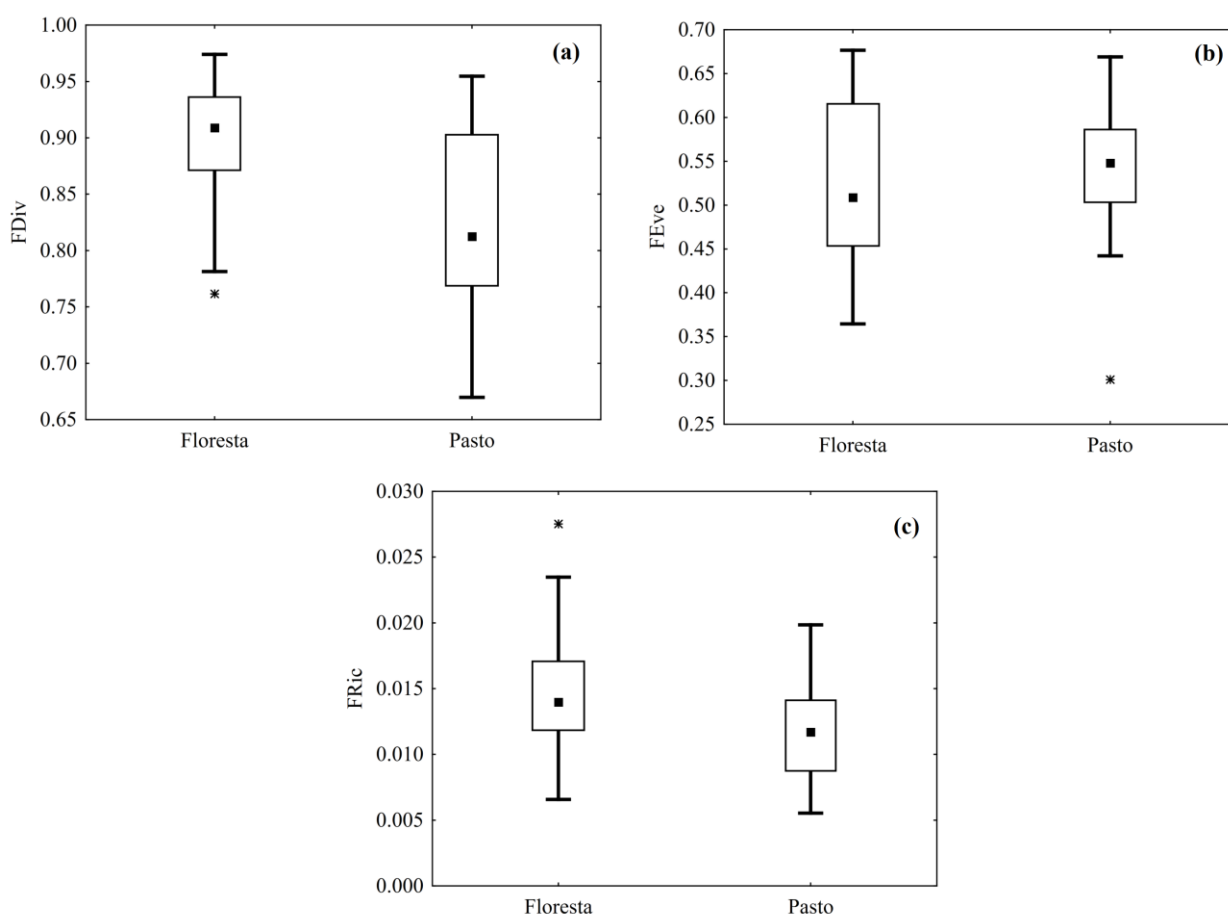


Figura 4. *Box-and-whiskers plots* dos índices de diversidade funcional. (a) Divergência funcional (*FDiv*); (b) Equitabilidade funcional (*FEve*) e (c) Riqueza funcional (*FRic*) das assembleias de peixes de riachos em áreas de floresta e pastagem, amostrados na bacia do rio Capim, Amazônia Oriental. Asteriscos representam os extremos.

Variáveis ambientais x atributos funcionais

Os resultados obtidos pela análise de ordenação RLQ e o método *fourth-corner* indicaram que as variáveis ambientais influenciaram a distribuição das espécies (modelo 2: $p < 0,001$) e houve correlações com os atributos funcionais (modelo 4: $p = 0,036$) (Figura 5). Uma maior quantidade de cobertura de dossel formada por árvores grandes beneficiou espécies com maiores valores do atributo funcional posição relativa dos olhos, que indicam espécies com hábitos mais bentônicos ($p=0,033$).

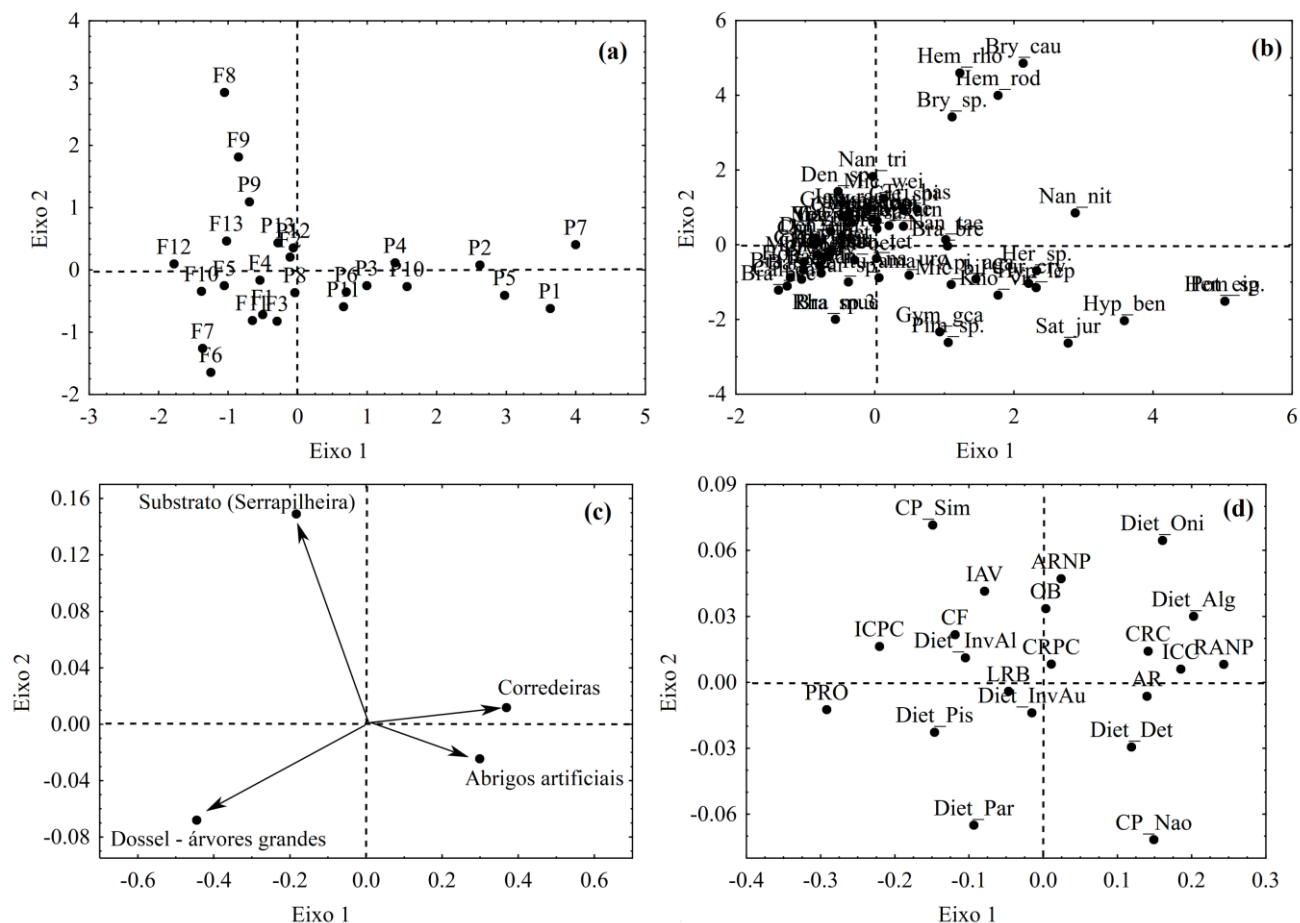


Figura 5. Ordenação dos sítios amostrais (a), espécies (b), variáveis ambientais (c) e atributos funcionais (d) resultantes da análise de RLQ, para assembleias de peixes de riachos em áreas de floresta e pastagem, amostrados na bacia do rio Capim, Amazônia Oriental. Em (a), as amostras precedidas por ‘P’ indicam pastagem e as amostras precedidas por ‘F’ indicam floresta. Ver abreviações das espécies em (b) no material suplementar 9 e dos atributos funcionais em (d) no material suplementar 2 e 3.

DISCUSSÃO

Os resultados encontrados mostraram que as alterações ambientais decorrentes da conversão de florestas em pastagens causam mudanças na estrutura do habitat de riachos e influenciam a distribuição de peixes. Neste estudo, os riachos em áreas de pastagem foram caracterizados por um aumento na quantidade de abrigos artificiais como canos de tubulação e

materiais plásticos advindos de consumo humano e pela presença de muitas áreas com fluxo d'água do tipo corredeira, enquanto os riachos em áreas de floresta foram caracterizados por apresentarem maior cobertura de dossel formada por árvores grandes. Devido a essas mudanças nas características ambientais, foram detectadas alterações significativas na composição e abundância de peixes, assim como na diversidade funcional entre ambas as áreas.

A remoção da vegetação nativa dentro de um manancial expõe a vegetação ripária remanescente a condições adversas, causando uma mudança estrutural nesse ambiente (Heartsill-Scalley & Aide, 2003; Clapcott et al., 2012, Prudente et al., 2017). Os riachos localizados em áreas de pastagem apresentavam vegetação homogênea, quando existente, geralmente de tamanhos intermediários, indicando que eram árvores relativamente jovens. As reduções na cobertura de dossel resultaram em aumento da incidência de luz, levando ao aparecimento de algas pelo aumento da produtividade, surgimento de gramíneas na zona ripária e diminuição no fornecimento de material alóctone que acaba afetando, direta ou indiretamente, as assembleias de peixes de diversas maneiras (Pusey & Arthington, 2003; Clapcott et al., 2012; Terra et al., 2015).

Neste estudo, as mudanças observadas no habitat físico dos riachos corroboram com os resultados encontrados por Casatti et al. (2009) em riachos tropicais com e sem presença de gramíneas advindas de pastagem. Os autores descobriram que os riachos em áreas sem gramíneas apresentaram maior diversificação de substrato, composto por materiais alóctones advindos da vegetação ripária circundante (presença de restos de madeira, árvores e arbustos) que reforça a ligação direta entre maior cobertura de dossel, que foi encontrada em nosso estudo, com maior heterogeneidade do habitat em riachos florestados.

Essas mudanças estruturais acabam modificando a composição de espécies, como já foi relatado para comunidades de aves (Bregman et al., 2016), sapos (Bernarde & Macedo, 2008), mamíferos (Santos-Filho et al., 2008) e insetos aquáticos (Luiza-Andrade et al., 2017) em ambientes amazônicos e nossos resultados com o grupo dos peixes estão em conformidade com tais estudos. Apesar da riqueza de espécies ser semelhante entre áreas de floresta e de pastagem, a abundância e a composição taxonômica, assim como a divergência funcional, diferiram entre esses ambientes, pois a forte influência humana gera condições limitantes e favorecem espécies com alta tolerância a extremos ambientais (Teresa & Casatti, 2012).

A composição taxonômica seguiu o padrão conhecido para riachos amazônicos, com maior riqueza de Characiformes, seguido por Siluriformes (Couto & Aquino, 2011; Prudente et al., 2017; Silva-Oliveira et al., 2016). Das espécies mais representativas *Hyphessybron heterorhabdus* é conhecida por apresentar ampla distribuição e ocupar os mais variados habitats (Moreira et al., 2002; Lima & Moreira, 2003; Agostinho et al., 2007), o que explica sua abundância elevada tanto nos riachos de pastagem quanto de floresta. Já *Hemigrammus rodwayi*, *Nannostomus nitidus* e

Satanoperca jurupari pertencem, respectivamente, às famílias Characidae, Lebiasinidae e Cichlidae, que são compostas por peixes de hábitos generalistas, além de serem mais tolerantes às condições impostas pelo ambiente por apresentarem alta plasticidade trófica (Winemiller, 1989; Silva et al., 2016; Fausch et al., 1984; Toham & Teugels, 1999), logo, na ausência de outras espécies que possam suportar essas condições, essas espécies aumentam em abundância em ambientes mais hostis.

Além disso, em ambientes alterados, há menor fornecimento de material alóctone na forma de troncos, folhas, frutos e raízes, que funcionam como mecanismos naturais de retenção do fluxo (Vannote et al., 1980), além de maior assoreamento devido a entrada de sedimentos oriundos dos processos de erosão do solo e diminuição da profundidade (Casatti et al., 2006). Esse conjunto de fatores leva a um aumento da velocidade da água e favorece espécies adaptadas morfológicamente para viver em ambientes com maior velocidade de correnteza. Um exemplo de adaptação morfológica são os altos valores de comprimento relativo do pedúnculo caudal apresentados pelas espécies *Hypopygus lepturus* e *Microsternarchus* aff. *bilineatus*, que apresentaram maior abundância em riachos de pastagem, indicando natação ativa e facilidade de se estabelecer em ambientes com muitas áreas de fluxo turbulento (Gatz-Jr, 1979).

Entre os três índices de diversidade funcional, aquele representando o grau de diferenciação de nicho entre os funcionais (divergência funcional) foi mais sensível ao efeito da pastagem do que aqueles que são mais influenciados pela abundância (equitabilidade funcional) e riqueza de espécies (riqueza funcional) (Villéger et al., 2008; Mouchet et al., 2010).

A riqueza funcional permaneceu constante e refletiu a semelhança encontrada na riqueza de espécies, demonstrando que o número de atributos ou categorias de um atributo apresentado pela comunidade podem ser semelhante entre os ambientes, o que não necessariamente indica que sejam iguais. Sabe-se que as características ambientais relacionadas à disponibilidade de alimento, a heterogeneidade da zona ripária e dos estratos verticais nos riachos beneficiam espécies de diferentes requerimentos ecológicos (Pusey & Arthington, 2003; Lorion & Kennedy, 2009; St. Pierre & Kovalenko, 2014; Teresa et al., 2015) e isso influencia mais diretamente nos tipos de atributos funcionais do que na quantidade.

Já a divergência funcional foi maior em áreas de floresta, indicando que as espécies mais dominantes apresentam características distintas entre si, representando um alto grau de diferenciação de nicho e, portanto, menor probabilidade de competição pelos recursos disponíveis (Dolbeth et al., 2016; Hitt & Chambers, 2014). Villéger et al. (2010) encontraram resultados semelhantes ao estudarem habitats que foram degradados ao longo dos anos. A divergência funcional foi maior quando os ambientes ainda mantinham condições naturais e diminuiu com os diversos tipos de pressão antrópica sofridos. Os autores relacionaram isto à diminuição da

abundância relativa de duas espécies que eram especialistas em aquisição de alimentos (*Sphoeroides testudineus* e *Archosargus rhomboidalis*) e aumento de outras duas espécies mais generalistas (*Eugerres plumieri* e *Diapterus rhombeus*), o que levou a uma diminuição significativa tanto da divergência funcional quanto da especialização na escala comunitária, pois as espécies mais dominantes não se diferenciavam das demais. Os resultados encontrados em nosso estudo seguem uma linha semelhante, no qual a baixa divergência funcional em riachos de áreas de pastagem está relacionada à baixa dominância de espécies especialistas, pois esses ambientes tendem a favorecer espécies mais generalistas.

Os resultados encontrados também indicam que as variáveis ambientais influenciam a distribuição das espécies baseado em seus atributos funcionais. Nos riachos que drenam as áreas florestais, a maior cobertura de dossel formada por árvores grandes beneficiou a ocorrência de espécies com altos valores de posição relativa dos olhos, que ocorre predominantemente em espécies bentônicas, ou seja, espécies que passam boa parte do tempo em associação com o fundo dos riachos, por apresentarem afinidade com determinados tipos de substrato, seja para abrigo ou alimento. Dessa forma, como as florestas proporcionam diferentes tipos de material alóctone para os riachos, como folhas, galhos e sedimentos (Hamid & Rawi, 2011; Juen et al.; 2016), houve grande ocorrência de espécies que apresentam forte associação ao fundo. É o caso de *Helogenes marmoratus*, que utiliza o folhiço submerso como abrigo diurno (Sabino & Zuanon, 1998), e *Ituglanis amazonicus* que ocorre em locais bem abrigados, como raízes submersas e fendas em troncos. Quando se sente ameaçado, enterra-se rapidamente no substrato (Zuanon et al., 2015).

Dessa forma, alertamos para a importância da manutenção da estrutura da vegetação ripária para a biota aquática, pois apesar de muitos estudos mostrarem a importância das florestas ripárias no entorno dos riachos para conservação da biodiversidade aquática (Lorion & Kennedy, 2009; Ding et al., 2013), a conversão das florestas em pastagens pouco produtivas está avançando cada vez mais no Brasil. Além disso, recomendamos maior fiscalização em relação à manutenção das vegetações ripárias, prevista no Código Florestal Brasileiro (Lei Federal nº 12.651/2012), em áreas de pastagem, pois esse tipo de atividade apresenta problemas comuns, como o pisoteio do gado, que leva à compactação do solo e das margens (Parente & Maia, 2011) que servem de abrigo para muitas espécies de peixes, e a forte degradação da mata ripária devido ao acesso do gado aos cursos d'água (Costa & Voltolini, 2013). Assim, proteger as florestas implica diretamente na manutenção da diversidade taxonômica e funcional, como foi mostrado neste estudo, e conseqüentemente, garantia de condições para o funcionamento do ecossistema de modo geral, gerando serviços ambientais imprescindíveis para a humanidade.

Considerando a importância da Amazônia para a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (Chazdon et al., 2016), motivo pelo qual muitos países investem

financeiramente em sua manutenção, estudos futuros devem dar continuidade à essa linha de pesquisa, incluindo outros grupos da fauna aquática e outros tipos de uso da terra, para fornecer uma visão ampla, atualizada e completa acerca dos impactos das ações antrópicas sobre o habitat de riachos e sobre a fauna, gerando informações importantes para a gestão dos corpos d'água e para implementação de leis fundamentadas na conservação da biodiversidade na região Amazônica.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer aos fazendeiros e à empresa CIKEL Ltda. por disponibilizarem suas propriedades para a realização desta pesquisa. Nós agradecemos também ao Conselho Nacional Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa para LFAM (307597/2016-4) e de doutorado para ALA (1401991/2016-0), e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por conceder uma bolsa de mestrado para LGC (1573463) e de doutorado para HL (88882.157124/2014-01). Este manuscrito foi financiado pelo projeto "Influência dos diferentes tipos de uso do solo sobre a biodiversidade na Amazônia Oriental" (CNPq no. 449314/2014-2) e pela empresa CIKEL Ltda e Forest 33. Agradecemos a equipe do Laboratório de Ecologia e Conservação por toda assistência durante as coletas e análise de dados.

REFERÊNCIAS

- Agostinho, A.A., S.M. Thomaz, L.C. Gomes & S.L.S.M.A. Baltar, 2007. Influence of the macrophyte *Eichhornia azurea* on fish assemblage of the upper Paraná River floodplain (Brazil). *Aquatic Ecology* 41: 611- 619.
- American Veterinary Medical Association, 2013. AVMA Guidelines for the Euthanasia of Animals: 2013 Edition 38. American Veterinary Medical Association, Schaumburg. Available at: <https://www.avma.org/KB/Policies/Documents/euthanasia.pdf>.
- Anderson, M.J. & D.C.I. Walsh, 2013. PERMANOVA, ANOSIM, and the Mantel test in the face of heterogeneous dispersions: What null hypothesis are you testing? *Ecological Monographs* 83: 557–574.
- Bernarde, P.S. & L.C. Macedo, 2008. Impacto do desmatamento e formação de pastagens sobre a anurofauna de serapilheira em Rondônia. *Iheringia* 98: 454-459.
- Bojsen, B. H. & R. Barriga, 2002. Effects of deforestation on fish community structure in Ecuadorian Amazon streams. *Freshwater Biology* 47: 2246-2260.
- Bregman, T.P., A.C. Lees, H.E.A. MacGregor, B. Darski, N.G. Moura, A. Aleixo, J. Barlow & J.A. Tobias, 2016. Using avian functional traits to assess the impact of land-cover change on

ecosystem processes linked to resilience in tropical forests. *Proceedings of the Royal Society B* 283: 20161289.

Britski, H.A., K.Z.S. Silimon & B.S. Lopes, 2007. *Peixes do Pantanal: Manual de identificação*. EMBRAPA-SPI, Brasília.

Brugnaró, C., 2010. Valuing riparian forests restoration: a CVM application in Corumbatai river basin. *Revista de Economia e Sociologia Rural* 48: 507–520.

Callisto, M., C.B.M. Alves, J.M. Lopes & M.A. Castro, 2014. Condições ecológicas em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos. CEMIG, Belo Horizonte.

Carmona, C.P., I. Guerrero, M.B. Morales, J.J. Oñate & B. Peco, 2017. Assessing vulnerability of functional diversity to species loss: a case study in Mediterranean agricultural systems. *Functional Ecology* 31: 427–435.

Carvalho, R.A. & F.L. Tejerina-Garro, 2015. The influence of environmental variables on the functional structure of headwater stream fish assemblages: a study of two tropical basins in Central Brazil. *Neotropical Ichthyology* 13: 349–360.

Casatti, L. & R.M.C. Castro, 2006. Testing the ecomorphological hypothesis in a headwater riffles fish assemblage of the rio São Francisco, southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology* 4: 203–214.

Casatti, L., C.P. de Ferreira & F.R. Carvalho, 2009. Grass-dominated stream sites exhibit low fish species diversity and dominance by guppies: An assessment of two tropical pasture river basins. *Hydrobiologia* 632: 273–283.

Casatti, L., F. Langeani & C.P. Ferreira, 2006. Effects of Physical Habitat Degradation on the Stream Fish Assemblage Structure in a Pasture Region. *Environmental Management* 38: 974–982.

Chazdon, R.L., E. N. Broadbent, D. M. A. Rozendaal, F. Bongers, A. M. A. Zambrano, T. M. Aide, ... L. Poorter, 2016. Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. *Science Advances* 2: e1501639.

Chevenet, F., S. Dolédec & D. Chessel, 1994. A fuzzy coding approach for the analysis of long-term ecological data. *Freshwater Biology* 31: 295–309.

Clapcott, J.E., K.J. Collier, R.G. Death, E.O. Goodwin, J.S. Harding, D.J. Kelly, J.R. Leathwick, R.G. Young, 2012. Quantifying the relationships between land-use gradients and structural and functional indicators of stream ecological integrity. *Freshwater Biology* 57: 74–902.

Costa, L. & J.C. Voltolini, 2013. Impacto do Pisoteio de Gado sobre Floresta Ripária no Vale do Paraíba, Tremembé, SP. *Revista Biociências* 19: 93 – 103.

Costa, P.F. & U.H. Schulz, 2010. The fish community as an indicator of biotic integrity of the streams in the Sinos River basin, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 70: 1195–1205.

- Couto, T.B.A. & P.P.U. Aquino, 2011. Structure and integrity of fish assemblages in streams associated to conservation units in Central Brazil. *Neotropical Ichthyology* 9: 445–454.
- Cunha, E.J. & L. Juen, 2017. Impacts of oil palm plantations on changes in environmental heterogeneity and Heteroptera (Gerromorpha and Nepomorpha) diversity. *Journal of Insect Conservation* 21: 111–119.
- Diaz, S. & M. Cabido, 2001. Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution* 16: 646–655.
- Ding, S., Zhang, Y, Liu, B., Kong, W. & W. Meng, 2013. Effects of riparian land use on water quality and fish communities in the headwater stream of the Taizi River in China. *Frontiers of Environmental Science & Engineering* 7: 699-708.
- Dolbeth, M., A.L. Vendel, A. Pessanha & J. Patrício, 2016. Functional diversity of fish communities in two tropical estuaries subjected to anthropogenic disturbance. *Marine Pollution Bulletin* 112: 244-254.
- Dolédec, S., D. Chessel, C.J.F. Ter Braak & S. Champely, 1996. Matching species traits to environmental variables: a new three-table ordination method. *Environmental and Ecological Statistics* 3(2): 143-166.
- Dolédec, S. & B. Statzner, 2008. Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: An assessment of specific types of human impact. *Freshwater Biology* 53: 617–634.
- Dray, S. & A.-B. Dufour, 2007. The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists. *Journal of Statistical Software* 22: 1-20.
- Dray, S., P. Choler, S. Dolédec, P.R. Peres-Neto, W. Thuiller, S. Pavoine & C.J.F. Ter Braak, 2014. Combining the fourth-corner and the RLQ methods for assessing trait responses to environmental variation. *Ecology* 95: 14-21.
- Dray, S. & P. Legendre, 2008. Testing the species traits–environment relationships: the fourth-corner problem revisited. *Ecology* 89: 3400–3412.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1991. Laboratório de climatologia: normais climatológicas de Paragominas no período de 1980 a 1988. EMBRAPA, Belém.
- Espírito-Santo, H.M.V., W.E. Magnusson, J. Zuanon, F.P. Mendonça & V.L. Landeiro, 2009. Seasonal variation in the composition of fish assemblages in small Amazonian forest streams: evidence for predictable changes. *Freshwater Biology* 54: 536–548.
- Fausch, K. D., J. R. Karr & P. R. Yant, 1984. Regional application of an index of biotic integrity based on stream fish communities. *Transactions of the American Fisheries Society* 113: 39-55.
- Fearnside, P.M., 2006. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica* 36: 395–400.

Ferreira, C.D.P. & L. Casatti, 2006. Influência da estrutura do hábitat sobre a ictiofauna de um riacho em uma micro-bacia de pastagem, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 23: 642–651.

Flores-Lopes, F., M. Cetra & L.R. Malabarba, 2010. Utilização de índices ecológicos em assembléias de peixes como instrumento de avaliação da degradação ambiental em programas de monitoramento. *Biota Neotropica* 10: 183-194.

França, J.S., R.S. Gregório, J.D. De Paula, J.F. Gonçalves-Junior, F.A. Ferreira & M. Callisto, 2009. Composition and dynamics of allochthonous organic matter inputs and benthic stock in a Brazilian stream. *Marine and Freshwater Research* 60: 990–998.

Frissell, C.R., W.J. Liss, C.E. Warren & M.D. Hurley, 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. *Environmental Management* 10: 199–214.

Froese, R. & D. Pauly, 2017. FishBase. Disponível em: www.fishbase.org. Acesso em: 01/03/2017.

Gatz-Jr, A.R., 1979. Ecological morphology of freshwater stream fishes. *Tulane studies in zoology and botany* 21: 91–124.

Gery, J., 1977. Characoids of the world. T.F.H. publications, Neptune City.

Giam, X., R.K. Hadiaty, H.H. Tan, L.R. Parenti, D. Wowor, S. Sauri, K.Y. Chong, D.C. Yeo, D.S. Wilcove, 2015. Mitigating the impact of oil-palm monoculture on freshwater fishes in Southeast Asia. *Conservation Biology* 29: 1357–1367.

Graça, M. A. S., 2001. The role of invertebrates on leaf litter decomposition in streams – a review. *International Review of Hydrobiology* 86: 383–393.

Hamid, S.A. & C.S.M. Rawi, 2011. Influence of substrate embeddedness and canopy cover on the distribution of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) in tropical rivers. *Aquatic Insects* 33: 281–292.

Heartsill-Scalley, T. & T.M. Aide, 2003. Riparian vegetation and stream condition in a tropical agriculture-secondary forest mosaic. *Ecological Applications* 13: 225–234.

Heino, J., D. Schmera & T. Eros, 2013. A macroecological perspective of trait patterns in stream communities. *Freshwater Biology* 58: 1539–1555.

Hitt, N.P. & D.B. Chambers, 2014. Temporal changes in taxonomic and functional diversity of fish assemblages downstream from mountaintop mining. *Freshwater Science* 33: 915-926.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2014. Projeto TerraClass2012 – Mapeamento do uso e cobertura da Terra na Amazônia Legal Brasileira. INPE, Brasília.

Jackson, D.A., 1993. Stopping rules in principal component analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. *Ecology* 74: 2204–2214.

Juen, L., E.J. Cunha, F.G. Carvalho, M.C. Ferreira, T.O. Begot, A.L. Andrade, Y. Shimano, H. Leão, P. S. Pompeu, L.F.A. Montag, 2016. Effects of Oil Palm Plantations on the hábitat

Structure and Biota of Streams in Eastern Amazon. *River Research and Applications* 32: 2081–2094.

Kaufmann, P.R., P. Levine, E.G. Robison, C. Seeliger & D.V. Peck, 1999. Quantifying Physical Hábitat in Wadeable Streams. EPA/620/R-99/003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington.

Kimaro, D.N., B.M. Msanya, J. Meliyo, P. Hieronimo, S. Mwango, N.I. Kihupi, J.A., H. Gulinck, Deckers, 2014. Anthropogenic Soils and Land Use Patterns in Relation to Small Mammal and Flea Abundance in Plague Endemic Area of Western Usambara Mountains, Tanzania. *Tanzania Journal of Health Research* 16: 229–239.

Kleine, P. & S. Trivinho-Strixino, 2005. Chironomidae and other aquatic macroinvertebrates of a first order stream: community response after hábitat fragmentation. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 17, 81–90.

Kristensen, P.B., E.A. Kristensen, T. Riis, A.B. Alnoe, S.E. Larsen, P.F.M. Verdonschot & A. Baattrup-Pedersen, 2015. Riparian forest as a management tool for moderating future thermal conditions of lowland temperate streams. *Inland Waters* 5: 27-38.

Kullander, S.O., 1986. Cichlid fishes of the Amazon River drainage of Peru. Swedish Museum of Natural History, Estocolmo.

Laliberté, E., P. Legendre & B. Shipley, 2014. FD: measuring functional diversity from multiple traits, and other tools for functional ecology. Available at: <http://www.R-project.org>.

Lassala, M.D.P. & E. Renesto, 2007. Reproductive strategies and genetic variability in tropical freshwater fish. *Genetics and Molecular Biology* 30: 690-697.

Legendre, P., R. Galzin & M. L. Harmelin-Vivien, 1997. Relating behavior to hábitat: Solutions to the fourth-corner problem. *Ecology* 78: 547-562.

Legendre, P. & L. Legendre, 2012. *Numerical Ecology*, 3rd English edn. Elsevier Science BV, Amsterdam.

Leitão, R. P., J. Zuanon, S. Villéger, S.E. Williams, C. Baraloto, C. Fortunel, F.P. Mendonça & D. Mouillot, 2016. Rare species contribute disproportionately to the functional structure of species assemblages. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 283: 20160084.

Lima, F.C.T. & C.R. Moreira, 2003. Three new species of *Hyphessobrycon* (Characiformes: Characidae) from the upper rio Araguaia basin in Brazil. *Neotropical Ichthyology* 1(1): 21-33.

Lorion, C.M. & B.P. Kennedy, 2009. Riparian Forest Buffers Mitigate the effects of Deforestation on Fish Assemblages in Tropical Headwater Streams. *Ecological Applications* 19: 468–479.

Luiza-Andrade, A., L.S. Brasil, N.L. Benone, Y. Shimano, A.P.J. Farias, L.F. Montag, S. Dolédec, L. Juen, 2017. Influence of oil palm monoculture on the taxonomic and functional composition of aquatic insect communities in eastern Brazilian Amazonia. *Ecological Indicators* 82: 478-483.

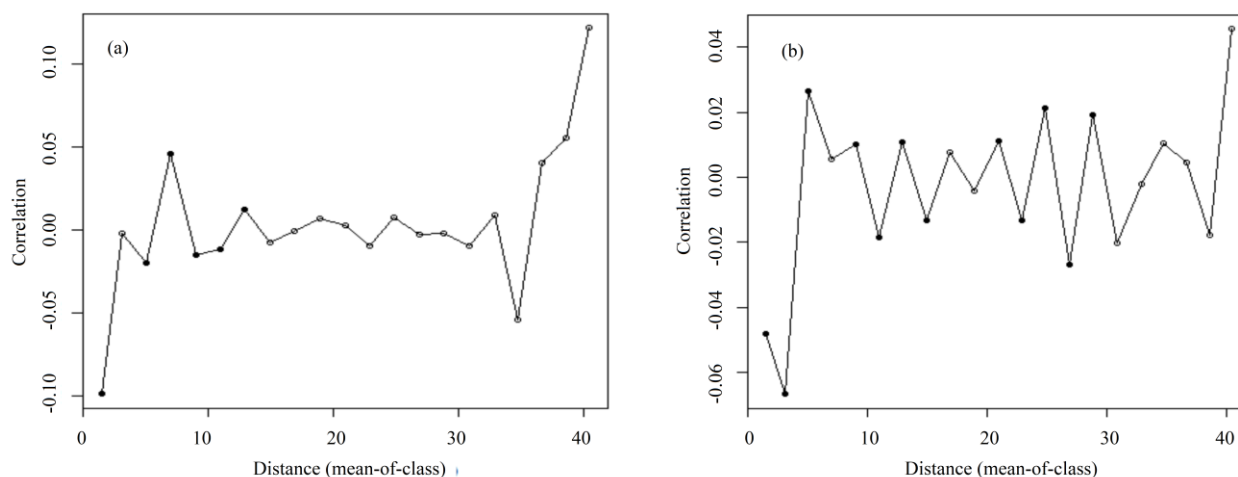
- Lyons, J., S. Navarro-Pérez, P.A. Cochran, E. Santana & M. Guzmán-Arroyo, 1995. Index of Biotic Integrity Based on Fish Assemblages for the Conservation of Streams and Rivers in West-Central Mexico. *Conservation Biology* 9: 569–584.
- McGill, B.J., B.J. Enquist, E. Weiher & M. Westoby, 2006. Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 178–185.
- Moreira, C.R., M.I. Landim & W.J.E.M. Costa, 2002. *Hyphessobrycon heliacus*: a new characid fish (Ostariophysi: Characiformes) from the upper Rio Tapajós basin, Central Brazil. *Copeia* 2002: 428-432.
- Mouchet, M.A., S. Villéger, N.W.H. Mason & D. Mouillot, 2010. Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. *Functional Ecology* 24: 867-876.
- Nepstad, D.C., C.M. Stickler & O.T. Almeida, 2006. Globalization of the Amazon soy and beef industries: Opportunities for conservation. *Conservation Biology* 20: 1595–1603.
- Nepstad, D.C., C.M. Stickler, B. Soares-Filho & F. Merry, 2008. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363: 1737–1746.
- Oksanen, J., F.G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. Mcglinn, P.R. Minchin, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, P. Solymos, M. H. H. Stevens, E. Szoecs, H.Wagner, 2017. *vegan*: Community Ecology Package. Available at: <http://www.R-project.org>.
- Parente, H.N. & M.O. Maia, 2011. Impacto do pastejo sobre a compactação dos solos com ênfase no Semiárido. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas* 5: 3-15.
- Pease, A.A., A.A. González-Díaz, R. Rodiles-Hernández & K.O. Winemiller, 2012. Functional diversity and trait-environment relationships of stream fish assemblages in a large tropical catchment. *Freshwater Biology* 57: 1060–1075.
- Peck, D.V., J.M. Lazorchak & D.J. Klemm, 2006. Environmental monitoring and assessment program – surface waters western pilot study: field operations manual for wadeable streams. EPA 600/R-06/003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington.
- Peel, M.C., B.L. Finlayson & T.A. McMahon, 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences* 11: 1633–1644.
- Prudente, B.S., P.S. Pompeu, L. Juen & L.F.A. Montag, 2017. Effects of reduced-impact logging on physical habitat and fish assemblages in streams of Eastern Amazonia. *Freshwater Biology* 62: 303–316.
- Pusey, B.J. & A.H. Arthington, 2003. Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: A review. *Marine and Freshwater Research* 54: 1–16.
- R Core Team, 2013. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.
- Rasband, W.S., 2006. ImageJ Version 1.48. U. S. National Institutes of Health, Bethesda. Disponível em: <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>

- Roa-Fuentes, C.A. & L. Casatti, 2017. Influence of environmental features at multiple scales and spatial structure on stream fish communities in a tropical agricultural region. *Journal of Freshwater Ecology* 32: 281-295.
- Sabino, J. & J. Zuanon, 1998. A stream fish assemblage in Central Amazônia: distribution, activity patterns and feeding behavior. *Ichthyological Exploration of Freshwaters* 8: 201-210.
- Santos-Filho, M., D.J. Da Silva & T.M. Sanaiotti, 2008. Edge effects and landscape matrix use by a small mammal community in fragments of semideciduous submontane forest in Mato Grosso, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*: 68 703-710.
- Schneider, K.N. & K.O. Winemiller, 2008. Structural complexity of woody debris patches influences fish and macroinvertebrate species richness in a temperate floodplain-river system. *Hydrobiologia* 610: 235–244.
- Silva, N.C.S., A.J.L. Costa, J. Louvise, B.E. Soares, V.C.E.S. Reis, M.P. Albrecht, É.P. Caramaschi, 2016. Resource partitioning and ecomorphological variation in two syntopic species of Lebiasinidae (Characiformes) in an Amazonian stream. *Acta Amazonica* 46: 25–36.
- Silva-Oliveira C., A.L.C. Canto & F.R.V. Ribeiro, 2016. Stream ichthyofauna of the Tapajós National Forest. *ZooKeys* 144: 125–144.
- Sobral, F.L. & M.V. Cianciaruso, 2012. Estrutura filogenética e funcional de assembleias:(re) montando a Ecologia de Comunidades em diferentes escalas espaciais. *Bioscience Journal* 28: 617–631.
- Strahler, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 38: 912–920.
- St. Pierre, J.I. & K.E. Kovalenko, 2014. Effect of hábitat complexity attributes on species richness. *Ecosphere* 5(2): art22.
- Teresa, F.B. & L. Casatti, 2012. Influence of forest cover and mesohábitat types on functional and taxonomic diversity of fish communities in Neotropical lowland streams. *Ecology of Freshwater Fish* 21: 433–442.
- Teresa, F.B. & L. Casatti, 2013. Development of hábitat suitability criteria for Neotropical stream fishes and an assessment of their transferability to streams with different conservation status. *Neotropical Ichthyology* 11: 395–402.
- Teresa, F.B., L. Casatti & M.V. Cianciaruso, 2015. Functional differentiation between fish assemblages from forested and deforested streams. *Neotropical Ichthyology* 13: 361-370.
- Terra, B.D.F., R.M. Hughes & F.G. Araújo, 2015. Fish assemblages in Atlantic Forest streams: the relative influence of local and catchment environments on taxonomic and functional species. *Ecology of Freshwater Fish* 25: 527–544.
- Toham, A. K. & G. G. Teugels, 1999. First data on an Index of Biotic Integrity (IBI) based on fish assemblages for the assessment of the impact of deforestation in a tropical West African river system. *Hydrobiologia* 397: 29-38.

- Tonkin, J.D., S. Stoll, S.C. Jähnig & P. Haase, 2016. Anthropogenic land-use stress alters community concordance at the river-riparian interface. *Ecological Indicators* 65: 133–141.
- Uieda, V. S. & R. M. C. Castro, 1999. Coleta e fixação de peixes de riachos. In: *Ecologia de Peixes de Riachos, Série Oecologia Brasiliensis* (Caramaschi, E. P., R. Mazzoni & P. R. Peres-Neto, Eds.). PPGE-UFRJ, Rio de Janeiro: 1-22.
- Vannote, R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell & E. Cushing, 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.
- Veloso, H.P., A.L.R. Rangel Filho & J.C.A. Lima, 1991. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. IBGE - Departamento de recursos naturais e estudos ambientais, Rio de Janeiro.
- Vigiak, O., A. Malagó, F. Bouraoui, B. Grizzetti, C.J. Weissteiner & M. Pastori, 2016. Impact of current riparian land on sediment retention in the Danube River Basin. *Sustainability of Water Quality and Ecology* 8: 30–49.
- Villéger, S., N.W.H. Mason & D. Mouillot, 2008. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology* 89: 2290–2301.
- Villéger, S., J.R. Miranda, D.F. Hernández & D. Mouillot, 2010. Contrasting changes in taxonomic vs. functional diversity of tropical fish communities after habitat degradation. *Ecological Applications* 20: 1512–1522.
- Wang, B., D. Liu, S. Liu, Y. Zhang, D. Lu & L. Wang, 2012. Impacts of urbanization on stream habitats and macroinvertebrate communities in the tributaries of Qiangtang River, China. *Hydrobiologia* 680: 39–51.
- Watrín, O.S. & A.M.A. Rocha, 1992. Levantamento de vegetação natural e uso da terra no Município de Paragominas (PA) utilizando imagens TM/Landsat. *EMBRAPA-CPATU, Boletim de Pesquisa* 124: 8–38.
- Webb, T.L., F.F. Sniehotta & S. Michie, 2010. Using theories of behaviour change to inform interventions for addictive behaviours. *Addiction* 105: 1879–1892.
- Winemiller, K.O., 1989. Patterns of variation in life history among South American fishes in seasonal environments. *Oecologia* 81: 225-241.
- Winemiller, K.O., 1991. Ecomorphological Diversification in Lowland Freshwater Fish Assemblages from Five Biotic Regions. *Ecological Monographs* 61: 343–365.
- Zuanon, J., F.P. Mendonça, H.M.V. Espírito-Santo, M.S. Dias, A.V. Galuch & A. Akama, 2015. *Guia de peixes da Reserva Adolpho Ducke – Amazônia Central*. Editora INPA, Manaus.

MATERIAL SUPLEMENTAR

Material suplementar 1. Resultados do índice de Moran, mostrando ausência de autocorrelação espacial ($p > 0.20$ ou $p < -0.20$). (a) i de Moran para riqueza de espécies; (b) i de Moran para composição de espécies.



Material suplementar 2. Medidas absolutas empregadas para o cálculo dos atributos ecomorfológicos, com os respectivos códigos e forma de medição. Medidas tomadas de acordo com Winemiller (1991) e Casatti & Castro (2006).

Medida	Sigla	Medição Absoluta
Altura máxima do corpo	AMC	Máxima distância vertical desde o dorso até o ventre.
Área do corpo	AC	Área total do corpo incluindo a cabeça, exceto as nadadeiras.
Área da nadadeira peitoral	ANP	Área total da nadadeira
Comprimento padrão	CP	Distância desde a extremidade anterior até a inserção dos ossos hipurais com a última vértebra.
Comprimento da cabeça	CC	Distância desde a extremidade anterior até a extremidade posterior do opérculo.
Comprimento do pedúnculo caudal	CPC	Distância desde a inserção do ultimo raio da nadadeira anal à margem

Comprimento máximo da nadadeira peitoral	CMNP	posterior da última vértebra. Distância desde a margem anterior da nadadeira peitoral até sua margem posterior.
Largura da boca	LB	Distância máxima horizontal de lado a lado da boca.
Largura do pedúnculo caudal	LPC	Máxima distância horizontal de lado a lado do pedúnculo caudal.
Largura máxima do corpo	LMC	Máxima distância horizontal de lado a lado do corpo.
Altura máxima da nadadeira peitoral	AMNP	Distância máxima entre as margens dorsal e ventral da nadadeira, formando um ângulo perpendicular com a linha que junta às margens anterior e posterior da mesma.
Linha média máxima	LMM	Distância vertical máxima desde a linha média até o ventre. Linha média definida como a linha imaginária que vai desde a pupila do olho e passa através do centro da última vértebra.
Orientação da boca	OB	Definida pelo ângulo formado entre o plano tangencial de ambos os lábios e o plano perpendicular ao eixo longitudinal do corpo quando a boca está aberta.
Altura da cabeça	AC	Distância vertical desde o dorso até o ventre através da pupila
Altura do pedúnculo caudal	APC	Mínima distância vertical desde o dorso do pedúnculo caudal até a região ventral do mesmo.
Altura da linha média do olho	ALMO	Distância vertical desde a região média da pupila até a região ventral da cabeça.

Material suplementar 3. Atributos ecomorfológicos utilizados, com os respectivos códigos, calculados a partir das medidas absolutas e interpretações ecomorfológicas. Cálculo de atributos realizados de acordo com Winemiller (1991) e Casatti & Castro (2006).

Atributo	Código	Cálculo	Explicação
Índice de compressão do corpo	ICC	AMC/LMC	Valores elevados indicam peixes que preferem habitats com menor velocidade de água (Watson & Balon, 1984).
Altura relativa	AR	AMC/CP	Valores menores indicam uma maior preferência dos peixes por ambientes com maior velocidade de correnteza (Gatz-Jr, 1979).
Comprimento relativo do pedúnculo caudal	CRPC	CPC/CP	Pedúnculos compridos indicam peixes com boa capacidade de natação contínua (Watson & Balon, 1984).
Índice de compressão do pedúnculo caudal	ICPC	APC/LPC	Valores elevados indicam peixes com pedúnculos comprimidos, mais encontrado em peixes menos ativos em relação a natação (Gatz-Jr, 1979).
Índice de aplanamento ventral	IAV	LMM/AMC	Valores menores indicam peixes habitando ambientes turbulentos, permitindo manter sua posição espacial inclusive quando estacionário (Hora, 1930).
Área relativa da nadadeira peitoral	ARNP	ANP/AC	Valores altos indicam nadadores lentos que usam as nadadeiras peitorais para realizar manobras e quebras, ou peixes que habitam águas rápidas que as utilizam para desviar a corrente de água para cima e assim manter firme ligação ao substrato (Watson & Balon, 1984).
Aspecto proporcional da nadadeira peitoral	RANP	CNMP/AMNP	Valores elevados indicam nadadeiras compridas, típicas de peixes que nadam grandes distâncias (Watson & Balon, 1984), ou peixes pelágicos que nadam mais frequentemente

			(Casatti & Castro, 2006).
Comprimento relativo da cabeça	CRC	CC/CP	Valores elevados podem indicar peixes que se alimentam de presas grandes (Gatz-Jr, 1979).
Posição relativa dos olhos	PRO	ALMO/AC	A posição dos olhos está relacionada com a preferência de habitats verticais (Gatz-Jr, 1979); valores elevados indicam olhos localizados dorsalmente, típico de peixes bentônicos (Watson & Balon, 1984).
Largura relativa da boca	LRB	LB/CP	Valores elevados podem indicar peixes que se alimentam de presas grandes (Gatz-Jr, 1979).
Orientação da boca	OB	-	A orientação da boca indica em que região do ambiente o indivíduo obtém seu recurso alimentar. Por exemplo, peixes com bocas ventrais alimentam-se de presas encontradas no fundo (Gatz-Jr, 1979). Os valores serão caracterizados em: Inferior = entre 10° e 80°; Terminal = 90°; Superior = entre 100° e 170°; Ventral= 0°. Os valores em graus serão convertidos em radianos (unidade de ângulo plano) visando a comparação com atributos que apresentaram unidades de outra natureza, porém com a mesma dimensão (Hammer, 2002).
Coeficiente de finura	CF	$CP/\sqrt{AMC*LMC}$	Avalia a influência da forma do corpo sobre a capacidade de nado (Ohlberger et al., 2006). Valores de 2 a 6 indicam arraste reduzido; e 4,5 indica uma ótima relação para nado eficiente (Ohlberger et al., 2006).

Material suplementar 4. Valores dos atributos ecomorfológicos utilizados como atributos funcionais quantitativos para a ictiofauna. Siglas: PRO = Posição relativa dos olhos; ICC = Índice de compressão do corpo; AR = Altura relativa; IAV = Índice de aplanamento ventral; CRPC = Comprimento relativo do pedúnculo caudal; ICPC = Índice de compressão do pedúnculo caudal; ARNP = Área relativa da nadadeira peitoral; RANP = Aspecto proporcional da nadadeira peitoral; CF = Coeficiente de finura; CRC = Comprimento relativo da cabeça; LRB = Largura relativa da boca; OB = Orientação da boca.

Espécies	PRO	ICC	AR	IAV	CRPC	ICPC	ARNP	RANP	CF	CRC	LRB	OB
<i>Acanthodoras cataphractus</i>	0,854	1,023	0,322	0,589	0,163	1,23	0,12	3,002	3,14	0,282	0,17	1,222
<i>Aequidens tetramerus</i>	0,664	2,206	0,433	0,83	0,119	3,352	0,087	3,744	3,433	0,368	0,102	1,566
<i>Anablepsoides urophthalmus</i>	0,65	1,16	0,177	0,593	0,169	2,501	0,096	2,177	6,09	0,256	0,097	2,231
<i>Apistogramma agassizii</i>	0,587	2,014	0,341	0,902	0,144	5,525	0,093	3,995	4,167	0,345	0,084	1,631
<i>Apistogramma gr. regani</i>	0,676	1,755	0,285	0,638	0,142	7,263	0,099	2,723	4,655	0,352	0,07	1,607
<i>Bario steindachneri</i>	0,642	2,518	0,441	0,552	0,091	3,282	0,058	1,948	3,602	0,258	0,096	1,637
<i>Batrochoglanis raninus</i>	0,881	0,813	0,219	0,536	0,137	3,162	0,165	1,747	4,118	0,33	0,228	1,349
<i>Brachyhypopomus beebei</i>	0,792	1,919	0,111	0,609	0,176	4,394	0,014	1,789	12,507	0,102	0,024	1,302
<i>Brachyhypopomus brevirostris</i>	0,524	1,874	0,076	0,505	0,246	1,658	0,021	2,541	18,122	0,096	0,019	1,411
<i>Brachyhypopomus sp.2</i>	0,677	1,618	0,085	0,617	0,168	3,038	0,018	2,142	15,029	0,094	0,024	1,29
<i>Brachyhypopomus sp.3</i>	0,618	1,959	0,101	0,667	0,146	2,996	0,021	2,235	13,915	0,101	0,027	1,16
<i>Bryconops caudomaculatus</i>	0,632	2,057	0,273	0,5	0,106	2,09	0,092	2,042	5,249	0,264	0,088	1,754
<i>Bryconops sp.</i>	0,604	2,162	0,238	0,659	0,1	2,109	0,097	2,237	6,184	0,311	0,084	1,685
<i>Callichthys callichthys</i>	0,775	0,917	0,247	0,598	0,087	2,085	0,109	1,328	3,87	0,239	0,115	1,008
<i>Carnegiella strigata</i>	0,624	3,278	0,494	0,211	0,084	2,874	0,167	3,159	3,662	0,253	0,06	2,645
<i>Characidium cf. etheostoma</i>	0,654	1,724	0,207	0,656	0,165	3,352	0,145	2,074	6,331	0,25	0,045	1,433
<i>Copella arnoldi</i>	0,549	1,695	0,205	0,581	0,176	2,742	0,061	2,92	6,341	0,251	0,06	2,235
<i>Crenecichla gr. saxatilis</i>	0,589	1,387	0,194	0,947	0,137	3,985	0,134	3,245	6,065	0,338	0,081	2,088
<i>Crenuchus spilurus</i>	0,639	2,037	0,278	0,589	0,134	3,041	0,056	2,524	5,127	0,329	0,077	1,82
<i>Curimatopsis crypticus</i>	0,455	2,312	0,326	0,505	0,11	3,298	0,043	2,25	4,659	0,282	0,078	1,747
<i>Denticetopsis epa</i>	0,617	1,402	0,243	0,576	0,103	3,759	0,065	1,847	4,876	0,303	0,166	0,771
<i>Denticetopsis sp.</i>	0,347	1,801	0,238	0,361	0,094	3,301	0,052	1,624	5,645	0,31	0,161	0
<i>Erythrinus erythrinus</i>	0,642	1,128	0,205	0,732	0,112	6,135	0,088	1,993	5,187	0,302	0,104	1,918

<i>Gymnorhamphichthys petiti</i>	0,9	3,484	0,086	0,628	0,46	2,428	0,014	2,397	21,626	0,189	0,013	2,324
<i>Gymnotus gr. carapo</i>	0,658	1,731	0,116	0,708	0,055	3,482	0,02	1,744	11,363	0,13	0,048	2,289
<i>Gymnotus gr. coropinae</i>	0,552	1,365	0,071	0,593	0,077	4,451	0,015	1,313	16,497	0,094	0,036	2,447
<i>Gymnotus gr. pantherinus</i>	0,653	1,534	0,085	0,567	0,071	5,182	0,017	1,933	14,616	0,115	0,037	2,561
<i>Gymnotus sp.</i>	0,545	1,341	0,074	0,633	0,053	3,079	0,022	1,518	15,545	0,109	0,034	2,467
<i>Helogenes marmoratus</i>	0,748	1,531	0,2	0,927	0,029	9,893	0,144	1,483	6,179	0,196	0,129	1,207
<i>Hemigrammus belottii</i>	0,591	2,158	0,239	0,682	0,117	3,612	0,054	3,194	6,139	0,259	0,062	1,806
<i>Hemigrammus rhodostomus</i>	0,527	2,504	0,3	0,496	0,162	2,926	0,041	2,6	5,277	0,257	0,069	1,895
<i>Hemigrammus rodwayi</i>	0,489	2,673	0,352	0,506	0,086	2,623	0,052	2,888	4,642	0,259	0,076	1,751
<i>Hemigrammus sp.</i>	0,626	2,066	0,252	0,595	0,128	2,233	0,159	2,571	5,709	0,273	0,08	1,509
<i>Hemigrammus ocellifer</i>	0,588	2,571	0,351	0,653	0,094	2,928	0,056	2,967	4,562	0,301	0,075	1,889
<i>Heros sp.</i>	0,503	2,75	0,505	0,497	0,078	4,37	0,046	4,089	3,284	0,39	0,077	1,32
<i>Hoplias malabaricus</i>	0,709	1,336	0,204	0,654	0,109	3,435	0,083	1,895	5,674	0,348	0,073	1,886
<i>Hyphessobrycon cf. bentosi</i>	0,659	2,966	0,332	0,521	0,093	2,792	0,024	4,53	5,193	0,285	0,089	1,23
<i>Hyphessobrycon heterorhabdus</i>	0,591	2,309	0,312	0,529	0,108	2,561	0,054	2,243	4,864	0,265	0,101	1,35
<i>Hypopygus lepturus</i>	0,542	1,975	0,099	0,589	0,401	2,078	0,035	1,857	14,213	0,096	0,029	1,173
<i>Iguanodectes rachovii</i>	0,682	2,038	0,225	0,558	0,084	2,45	0,069	2,098	6,354	0,237	0,081	1,907
<i>Ituglanis amazonicus</i>	0,783	1,245	0,14	0,462	0,156	2,75	0,035	1,721	7,994	0,167	0,102	0
<i>Knodus cf. victoriae</i>	0,627	2,126	0,26	0,528	0,153	2,771	0,089	1,977	5,603	0,246	0,062	1,628
<i>Megalechis picta</i>	0,887	1,137	0,274	0,536	0,086	2,604	0,089	2,685	3,897	0,292	0,114	1,245
<i>Megalechis thoracata</i>	0,721	1,1	0,299	0,489	0,089	2,223	0,088	2,438	3,508	0,278	0,11	0,925
<i>Microcharacidium weitzmani</i>	0,629	1,793	0,18	0,686	0,146	4,405	0,078	3,234	7,44	0,236	0,05	1,754
<i>Microsternarchus aff. bilineatus</i>	0,663	1,764	0,094	0,673	0,405	1,852	0,02	1,633	14,058	0,131	0,021	1,328
<i>Moenkhausia comma</i>	0,637	3,088	0,524	0,531	0,097	3,55	0,058	2,133	3,356	0,264	0,096	1,702
<i>Moenkhausia collettii</i>	0,516	2,88	0,365	0,527	0,1	3,067	0,081	2,504	4,651	0,234	0,081	1,575
<i>Moenkhausia oligolepis</i>	0,593	3,069	0,466	0,519	0,091	3,39	0,053	2,489	3,762	0,266	0,07	1,782
<i>Nannacara cf. taenia</i>	0,661	1,885	0,361	0,751	0,073	6,085	0,101	3,544	3,803	0,335	0,071	1,603
<i>Nannostomus nitidus</i>	0,524	2,237	0,233	0,511	0,119	2,389	0,026	2,357	6,426	0,268	0,052	1,474
<i>Nannostomus trifasciatus</i>	0,498	1,742	0,203	0,736	0,154	3,252	0,061	2,615	6,516	0,281	0,043	1,514
<i>Paracanthopoma sp.</i>	0,889	0,921	0,133	0,436	0,137	4,757	0,032	3,34	7,207	0,135	0,043	0,283
<i>Pimelodella sp.</i>	0,79	1,191	0,174	0,574	0,189	2,153	0,096	2,344	6,281	0,228	0,105	1,136

<i>Potamorrhaphis eigenmanni</i>	0,621	0,985	0,046	0,513	0,021	2,984	0,043	3,769	21,535	0,373	0,03	1,488
<i>Pyrrhulina aff. brevis</i>	0,607	1,686	0,226	0,63	0,139	4,069	0,074	2,784	5,749	0,258	0,074	2,211
<i>Rhamdia muelleri</i>	0,764	1,249	0,2	0,514	0,216	2,366	0,096	2,017	5,599	0,235	0,122	1,097
<i>Satanoperca jurupari</i>	0,633	2,241	0,336	0,611	0,135	2,545	0,139	2,904	4,451	0,398	0,116	1,295
<i>Sternopygus macrurus</i>	0,687	2,328	0,136	0,655	0,158	1,983	0,018	2,371	11,202	0,15	0,032	1,305
<i>Tetranematichthys wallacei</i>	0,521	1,885	0,269	0,529	0,078	3,888	0,055	2,888	5,113	0,286	0,18	1,127
<i>Trichomycterus hasemani</i>	0,712	0,731	0,14	0,672	0,192	2,941	0,038	3,974	6,126	0,199	0,088	0,656

Material suplementar 5. Atributos funcionais qualitativos e suas categorias (de acordo com Carvalho & Tejerina-Garro, 2015) para ictiofauna de riachos da Amazônia oriental.

Atributos	Categorias	Explicação
Guilda trófica	<ul style="list-style-type: none"> - Algívoro - Onívoro - Piscívoro - Detritívoro - Invertívoro alóctone - Invertívoro autóctone - Parasita 	A avaliação da sobreposição na composição alimentar e partilha de recursos entre as espécies é um fator determinante da coexistência (Sala & Ballesteros, 1997; Colloca et al., 2010).
Cuidado parental	<ul style="list-style-type: none"> - Presença de cuidado parental - Ausência de cuidado parental 	Algumas espécies depositam seus óvulos sobre folhas e raízes de plantas aquáticas ou sobre outros tipos de substratos; constroem ninhos para proteção da prole; enterram os ovócitos ou até mesmo os carregam na boca e esta característica tem como função uma maior probabilidade de sobrevivência da prole (Cacho et al. 1999).

Material suplementar 6. Atributos funcionais qualitativos para a ictiofauna. Siglas: DAlg = Dieta algívora; DPis = Dieta piscívora; DDet = Dieta detritívora; DOni = Dieta onívora; DIAL = Dieta invertívora alóctone; DIAu = Dieta invertívora autóctone; DPar = Parasita; CPS = presença de cuidado parental; CPN = ausência de cuidado parental.

Espécies	DAlg	DPis	DDet	DOni	DIAL	DIAu	DPar	CPS	CPN
<i>Acanthodoras cataphractus</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	1
<i>Aequidens tetramerus</i>	1	0	2	3	3	0	0	1	0
<i>Anablepsoides urophthalmus</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	1
<i>Apistogramma agassizii</i>	0	0	3	0	0	1	0	1	0
<i>Apistogramma gr. regani</i>	1	0	1	3	3	1	0	1	0
<i>Bario steindachneri</i>	2	0	0	3	3	2	0	0	1
<i>Batrochoglanis raninus</i>	0	3	0	0	0	3	0	0	1
<i>Brachyhypopomus beebei</i>	1	0	0	1	2	3	0	0	1
<i>Brachyhypopomus brevirostris</i>	1	0	0	1	2	3	0	0	1
<i>Brachyhypopomus sp.2</i>	0	0	1	0	0	3	0	0	1
<i>Brachyhypopomus sp.3</i>	0	0	1	0	0	3	0	0	1
<i>Bryconops caudomaculatus</i>	3	0	1	3	3	0	0	0	1
<i>Bryconops sp.</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	1
<i>Callichthys callichthys</i>	0	0	1	0	0	3	0	0	1
<i>Carnegiella strigata</i>	0	0	0	0	0	3	0	0	1
<i>Characidium cf. etheostoma</i>	0	0	0	0	0	3	0	0	1
<i>Copella arnoldi</i>	1	0	2	3	3	0	0	1	0
<i>Crenechichla gr. Saxatilis</i>	1	0	0	0	3	0	0	1	0
<i>Crenuchus spilurus</i>	0	0	0	0	2	3	0	1	0
<i>Curimatopsis crypticus</i>	2	0	3	0	0	0	0	0	1
<i>Denticetopsis epa</i>	0	1	0	0	2	3	0	0	1
<i>Denticetopsis sp.</i>	0	1	0	0	2	3	0	0	1
<i>Erythrinus erythrinus</i>	0	3	0	0	2	2	0	1	0
<i>Gymnorhamphichthys petiti</i>	1	0	0	0	2	3	0	1	0
<i>Gymnotus gr. carapo</i>	1	0	0	0	3	3	0	1	0
<i>Gymnotus gr. coropinae</i>	0	0	0	0	1	3	0	1	0

<i>Gymnotus gr. pantherinus</i>	2	1	0	3	1	1	0	1	0
<i>Gymnotus sp.</i>	2	1	0	3	1	1	0	1	0
<i>Helogenes marmoratus</i>	1	0	0	0	3	1	0	0	1
<i>Hemigrammus belottii</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	1
<i>Hemigrammus rhodostomus</i>	1	0	0	3	3	2	0	0	1
<i>Hemigrammus rodwayi</i>	1	0	0	3	3	2	0	0	1
<i>Hemigrammus sp.</i>	3	0	0	3	3	1	0	0	1
<i>Hemigrammus ocellifer</i>	1	0	1	3	3	1	0	0	1
<i>Heros sp.</i>	2	0	0	3	2	2	0	1	0
<i>Hoplias malabaricus</i>	0	3	0	0	1	1	0	1	0
<i>Hyphessobrycon cf. bentosi</i>	0	0	1	0	1	3	0	0	1
<i>Hyphessobrycon heterorhabdus</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	1
<i>Hypopygus lepturus</i>	0	0	0	0	0	3	0	0	1
<i>Iguanodectes rachovii</i>	3	0	0	3	2	2	0	0	1
<i>Ituglanis amazonicus</i>	0	0	0	0	0	3	0	0	1
<i>Knodus cf. victoriae</i>	1	0	1	0	3	2	0	0	1
<i>Megalechis picta</i>	0	0	3	0	0	3	0	1	0
<i>Megalechis thoracata</i>	0	0	0	0	0	3	0	1	0
<i>Microcharacidium weitzmani</i>	0	0	0	0	0	3	0	0	1
<i>Microsternarchus aff. bilineatus</i>	0	0	0	0	0	3	0	0	1
<i>Moenkhausia comma</i>	2	0	0	3	3	2	0	0	1
<i>Moenkhausia collettii</i>	0	0	0	0	3	2	0	0	1
<i>Moenkhausia oligolepis</i>	1	0	1	0	3	1	0	0	1
<i>Nannacara cf. taenia</i>	1	2	0	3	2	1	0	1	0
<i>Nannostomus nitidus</i>	2	0	2	3	2	2	0	0	1
<i>Nannostomus trifasciatus</i>	1	0	0	0	2	2	0	0	1
<i>Paracanthopoma sp.</i>	0	0	0	0	0	0	3	0	1
<i>Pimelodella sp.</i>	0	1	0	0	1	3	0	0	1
<i>Potamorrhaphis eigenmanni</i>	0	2	0	0	2	2	0	0	1
<i>Pyrhulina aff. brevis</i>	3	0	3	0	3	1	0	0	1
<i>Rhamdia muelleri</i>	2	1	0	3	3	3	0	0	1

<i>Satanoperca jurupari</i>	1	0	1	1	2	2	0	1	0
<i>Sternopygus macrurus</i>	0	0	0	0	3	3	0	1	0
<i>Tetranematichthys wallacei</i>	0	3	0	0	3	0	0	0	1
<i>Trichomycterus hasemani</i>	0	0	0	0	0	3	0	0	1

Material suplementar 7. Descrição dos métodos de mensuração das variáveis ambientais selecionadas, obtidas através do protocolo de Peck et al. (2006) modificado por Callisto et al. (2014).

Variáveis ambientais	Sigla	Mensuração
Média de cobertura de dossel formada por árvores grandes	XCL	Árvores com DAP >0,3 m e altura >5 m, em uma área de 10x10 m adjacente aos transectos, nos lados esquerdo e direito. Considerou-se o uso de pontuações de acordo com a abundância das árvores com essas características, onde: 0=ausente (0%), 1=esparso (<10%), 2=médio (10-40%), 3=denso (40-75%) e 4= muito denso (>75%).
Quantidade de abrigos artificiais	XFC_ANT	Os tipos de abrigos foram registrados em cada transecto (A-K) (5 m em direção à jusante e 5 m em direção à montante a partir dos transectos), ao longo dos 150m. Considerou-se o uso de pontuações de acordo com a quantidade, onde: 0=ausente (0%), 1=esparso (<10%), 2=médio (10-40%), 3=denso (40-75%) e 4= muito denso (>75%).
Porcentagem de serrapilheira no substrato	PCT_SF	Tipos de substratos registrados ao longo de todo o trecho, com cinco registros em cada transecto e cinco registros no ponto intermediário de cada segmento.
Porcentagem de corredeiras	PCT_RI	O tipo de fluxo foi registrado 15 vezes ao longo de cada segmento.

Material suplementar 8. Variáveis ambientais obtidas de 26 riachos em áreas de floresta e pastagem suas correlações com o eixo 1 da Análise de Componentes Principais (PCA), autovalor, valor de *Broken-stick* dos eixos e porcentagem de explicação. Valores em negrito indicam variáveis que mais contribuíram para formação dos eixos (valor de corte = 0,60).

Variáveis ambientais	Eixo 1
Média de dossel formado por árvores grandes (XCL)	-0,868
Porcentagem de substrato formado por serapilheira (PCT_SF)	-0,483
Quantidade de abrigos artificiais (XFC_ANT)	0,700
Porcentagem de corredeiras (PCT_RI)	0,819
Autovalor	2,146
Broken-stick	2,083
%Explicação	52,67

Material suplementar 9. Lista das espécies de peixes capturadas nos riachos em áreas floresta e pastagem, amostrados na bacia do rio Capim, Amazônia Oriental, com seus respectivos valores de abundância absoluta.

Táxon/Autoridade	Abreviações	Floresta	Pastagem	Total
BELONIFORMES		0	1	1
Belonidae		0	1	1
<i>Potamorrhaphis eigenmanni</i> Miranda Ribeiro, 1915	Pot_eig	0	1	1
CHARACIFORMES		3614	2033	5647
Characidae		2423	1133	3556
<i>Bario steindachneri</i> (Eigenmann, 1917)	Bar_ste	2	0	2
<i>Bryconops caudomaculatus</i> (Günther, 1864)	Bry_cau	0	6	6
<i>Bryconops</i> sp.	Bry_sp.	0	3	3
<i>Hemigrammus</i> cf. <i>belottii</i> (Steindachner, 1882)	Hem_bel	83	2	85
<i>Hemigrammus rhodostomus</i> Ahl, 1924	Hem_rho	0	1	1
<i>Hemigrammus rodwayi</i> (Durbin, 1909)	Hem_rod	0	290	290
<i>Hemigrammus</i> sp.	Hem_sp.	0	86	86
<i>Hemigrammus ocellifer</i> (Steindachner, 1882)	Hem_oce	19	63	82
<i>Hyphessobrycon</i> cf. <i>bentosi</i> Durbin, 1908	Hyp_ben	0	3	3
<i>Hyphessobrycon heterorhabdus</i> (Ulrey, 1894)	Hyp_het	2315	673	2988
<i>Knodus</i> cf. <i>victoriae</i> (Steindachner, 1907)	Kno_vic	1	3	4
<i>Moenkhausia</i> cf. <i>comma</i> Eigenmann, 1908	Moe_com	1	0	1
<i>Moenkhausia</i> cf. <i>colletii</i> (Steindachner, 1882)	Moe_col	0	3	3
<i>Moenkhausia oligolepis</i> (Günther, 1864)	Moe_oli	2	0	2
Crenuchidae		258	237	495
<i>Characidium</i> cf. <i>etheostoma</i>	Cha_eth	13	0	13
<i>Crenuchus spilurus</i> Günther, 1863	Cre_spi	1	25	26
<i>Microcharacidium weitzmani</i> Backup, 1993	Mic_wei	244	212	456
Curimatidae		0	18	18
<i>Curimatopsis crypticus</i> Vari, 1982	Cur_cry	0	18	18
Erythrinidae		245	20	265

<i>Erythrinus erythrinus</i> (Bloch & Schneider, 1801)	Ery_ery	236	19	255
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	Hop_mal	9	1	10
Gasteropelecidae		1	0	1
<i>Carnegiella strigata</i> (Günther, 1864)	Car_str	1	0	1
Iguanodectidae		256	59	315
<i>Iguanodectes rachovii</i> Regan, 1912	Igu_rac	256	59	315
Lebiasinidae		431	566	997
<i>Copella arnoldi</i> (Regan, 1912)	Cop_arn	48	221	269
<i>Nannostomus nitidus</i> Weitzman, 1978	Nan_nit	0	142	142
<i>Nannostomus trifasciatus</i> Steindachner, 1876	Nan_tri	16	20	36
<i>Pyrhulina</i> aff. <i>brevis</i>	Pyr_bre	367	183	550
CYPRINODONTIFORMES		117	151	268
Rivulidae		117	151	268
<i>Anablepsoides urophthalmus</i> Günther, 1866	Ana_uro	117	151	268
GYMNOTIFORMES		362	162	524
Gymnotidae		135	19	154
<i>Gymnotus carapo</i> Linnaeus 1758	Gym_gca	1	10	11
<i>Gymnotus coropinae</i> (Hoedeman, 1962)	Gym_gco	89	7	96
<i>Gymnotus pantherinus</i> (Steindachner, 1908)	Gym_gpa	45	0	45
<i>Gymnotus</i> sp.	Gym_sp.	0	2	2
Hypopomidae		109	72	181
<i>Brachyhypopomus beebei</i> (Schultz, 1944)	Bra_bee	11	0	11
<i>Brachyhypopomus brevirostris</i> (Steindachner, 1868)	Bra_bre	0	24	24
<i>Brachyhypopomus</i> sp. 2 "pale yellow"	Bra_sp.2	86	0	86
<i>Brachyhypopomus</i> sp. 3 "with dots"	Bra_sp.3	1	0	1
<i>Microsternarchus</i> aff. <i>bilineatus</i> Fernández-Yépez, 1968	Mic_bil	11	48	59
Rhamphichthyidae		117	71	188
<i>Gymnorhamphichthys petiti</i> Géry & Vu-Tân-Tuê, 1964	Gym_pet	114	26	140
<i>Hypopygus lepturus</i> Hoedeman, 1962	Hyp_lep	3	45	48
Sternopygidae		1	0	1
<i>Sternopygus macrurus</i> Bloch & Schneider, 1801	Ste_mac	1	0	1
PERCIFORMES		692	582	1274
Cichlidae		692	582	1274
<i>Aequidens tetramerus</i> (Heckel, 1840)	Aeq_tet	85	86	171
<i>Apistogramma agassizii</i> (Steindachner, 1875)	Api_aga	0	128	128
<i>Apistogramma</i> gr. <i>regani</i>	Api_reg	566	152	718
<i>Crenicichla</i> gr. <i>saxatilis</i>	Cre_sax	32	26	58
<i>Heros</i> sp.	Her_sp.	0	9	9
<i>Nannacara</i> cf. <i>taenia</i> Regan, 1912	Nan_tae	9	46	55
<i>Satanoperca jurupari</i> (Heckel, 1840)	Sat_jur	0	135	135
SILURIFORMES		258	103	361
Auchenipteridae		1	0	1
<i>Tetranematichthys wallacei</i> Vari & Ferraris, 2006	Tet_wal	1	0	1
Callichthyidae		4	0	4
<i>Callichthys callichthys</i> (Linnaeus, 1758)	Cal_cal	2	0	2

<i>Megalechis picta</i> (Müller & Troschel, 1848)	Meg_pic	1	0	1
<i>Megalechis thoracata</i> (Valenciennes, 1840)	Meg_tho	1	0	1
Cetopsidae		182	17	199
<i>Denticetopsis epa</i> Vari, Ferraris & de Pinna, 2005	Den_epa	5	0	5
<i>Denticetopsis</i> sp.	Den_sp.	0	1	1
<i>Helogenes marmoratus</i> Günther, 1863	Hel_mar	177	16	193
Doradidae		1	0	1
<i>Acanthodoras cataphractus</i> Linnaeus, 1758	Aca_cat	1	0	1
Heptapteridae		6	9	15
<i>Pimelodella</i> sp.	Pim_sp.	3	9	12
<i>Rhamdia muelleri</i> (Günther, 1864)	Rha_mue	3	0	3
Pseudopimelodidae		1	0	1
<i>Batrochoglanis raninus</i> (Valenciennes, 1840)	Bat_ran	1	0	1
Trichomycteridae		63	77	140
<i>Ituglanis amazonicus</i> (Steindachner, 1882)	Itu_ama	21	41	62
<i>Paracanthopoma</i> sp.	Par_sp.	18	2	20
<i>Trichomycterus hasemani</i> (Eigenmann, 1914)	Tri_has	24	34	58
Total		5043	3032	8075

Material suplementar 10. Normas para publicação na revista *Hydrobiologia*.

GENERAL

Hydrobiologia publishes original articles in the fields of limnology and marine science that are of interest to a broad and international audience. The scope of Hydrobiologia comprises the biology of rivers, lakes, estuaries and oceans and includes palaeolimnology and –oceanology, taxonomy, parasitology, biogeography, and all aspects of theoretical and applied aquatic ecology, management and conservation, ecotoxicology, and pollution. Purely technological, chemical and physical research, and all biochemical and physiological work that, while using aquatic biota as test–objects, is unrelated to biological problems, fall outside the journal's scope.

THERE IS NO PAGE CHARGE, provided that manuscript length, and number and size of tables and figures are reasonable (see below). Long tables, species lists, and other protocols may be put on any web site and this can be indicated in the manuscript. Purely descriptive work, whether limnological, ecological or taxonomic, can only be considered if it is firmly embedded in a larger biological framework.

LANGUAGE

Manuscripts should conform to standard rules of English grammar and style. Either British or American spelling may be used, but consistently throughout the article. Conciseness in writing is a major asset as competition for space is keen.

EDITORIAL POLICY

Submitted manuscripts will first be checked for language, presentation, and style. Scientists who use English as a foreign language are strongly recommended to have their manuscript read by a

native English-speaking colleague. Manuscripts which are substandard in these respects will be returned without review.

Papers which conform to journal scope and style are sent to at least 2 referees, mostly through a member of the editorial board, who will then act as coordination editor. Manuscripts returned to authors with referee reports should be revised and sent back to the editorial as soon as possible. Final decisions on acceptance or rejection are made by the editor-in-chief. *Hydrobiologia* endeavours to publish any paper within 6 months of acceptance. To achieve this, the number of volumes to be published per annum is readjusted periodically.

Authors are encouraged to place all species distribution records in a publicly accessible database such as the national Global Biodiversity Information Facility (GBIF) nodes (www.gbif.org) or data centers endorsed by GBIF, including BioFresh (www.freshwaterbiodiversity.eu)

CATEGORIES OF CONTRIBUTIONS

There are four categories of contributions to *Hydrobiologia*:

[1.] Primary research papers generally comprise up to 25 printed pages (including tables, figures and references) and constitute the bulk of the output of the journal. These papers **MUST** be organized according to the standard structure of a scientific paper: Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Conclusion, Acknowledgements, References, Tables, Figure captions.

[2.] Review papers, and Taxonomic revisions are long papers; prospective authors should consult with the editor before submitting such a long manuscript, either directly or through a member of the editorial board. Review papers may have quotations (text and illustrations) from previously published work, but authors are responsible for obtaining copyright clearance wherever this applies.

[3.] Opinion papers reflect authors' points of view on hot topics in aquatic sciences. Such papers can present novel ideas, comments on previously published work or extended book reviews.

[4.] Special section papers. Occasionally, regular volumes contain a special section devoted to topical collections of papers: for example, Salt Ecosystems Section and Aquatic Restoration Section.

MANUSCRIPT SUBMISSION

Manuscript Submission

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online Submission

Please follow the hyperlink “Submit online” on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

TITLE PAGE

Title Page

The title page should include:

The name(s) of the author(s)

A concise and informative title

The affiliation(s) and address(es) of the author(s)

The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 200 words. Abstracts longer than 200 words cannot be uploaded. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

The abstract should start with the aim of research, preferably a hypothesis to be tested, followed by the main methods used, major results obtained and implications of these findings that may be of interest to a wide and international, scientific audience. Numerical data in the abstract should be avoided as much as possible.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Keywords should not include any word or term that already appears in the title.

TEXT

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

- Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
- Use italics for emphasis.
- Use the automatic page numbering function to number the pages.
- Do not use field functions.
- Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
- Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
- Use the equation editor or MathType for equations.
- Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

- LaTeX macro package (zip, 182 kB)

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page. The names of funding organizations should be written in full.

ADDITIONAL REMARK TEXT

Do not include section numbers.

SCIENTIFIC STYLE

Authors are urged to comply with the rules of biological nomenclature, as expressed in the International Code of Zoological Nomenclature, the International Code of Botanical Nomenclature, and the International Code of Nomenclature of Bacteria. When a species name is used for the first time in an article, it should be stated in full, and the name of its describer should also be given. Descriptions of new taxa should comprise official repository of types (holotype and paratypes), author's collections as repositories of types are unacceptable.

Genus and species names should be in italics.

Wording

Please, do not use words as “physicochemical”, “physico.chemical”, “physiochemical”, etc. “Physical and chemical” or, when appropriated, “physiological and chemical” or “biochemical” should be preferred.

REFERENCES

References in the text will use the name and year system: Adam & Eve (1983) or (Adam & Eve, 1983). For more than two authors, use Adam et al. (1982). References to a particular page, table or figure in any published work is made as follows: Brown (1966: 182) or Brown (1966: 182, fig. 2). Cite only published items; grey literature (abstracts, theses, reports, etc) should be avoided as much as possible. Papers which are unpublished or in press should be cited only if formally accepted for publication.

References will follow the styles as given in the examples below, i.e. journals are NOT abbreviated (as from January 2003), only volume numbers (not issues) are given, only normal fonts are used, no bold or italic.

Engel, S. & S. A. Nichols, 1994. Aquatic macrophytes growth in a turbid windswept lake. *Journal of Freshwater Ecology* 9: 97–109.

Horne, D. J., A. Cohen & K. Martens, 2002. Biology, taxonomy and identification techniques. In Holmes, J. A. & A. Chivas (eds), *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*. American Geophysical Union, Washington DC: 6–36.

Maitland, P. S. & R. Campbell, 1992. *Fresh Water Fishes*. Harper Collins Publishers, London.

Tatrai, I., E. H. R. R. Lammens, A. W. Breukelaar & J. G. P. Klein Breteler, 1994. The impact of mature cyprinid fish on the composition and biomass of benthic macroinvertebrates. *Archiv für Hydrobiologie* 131: 309–320.

TABLES

- All tables are to be numbered using Arabic numerals.
- Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
- For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
- Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.
- Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

ARTWORK AND ILLUSTRATIONS GUIDELINES

Electronic Figure Submission

- Supply all figures electronically.
- Indicate what graphics program was used to create the artwork.
- For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MSOffice files are also acceptable.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.
- Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Line Art

- Definition: Black and white graphic with no shading.
- Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.
- All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.

- Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Halftone Art

- Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.
- If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.
- Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination Art

- Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.
- Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color Art

- Color art is free of charge for online publication.
- If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.
- If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.
- Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure Lettering

- To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).
- Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).
- Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.
- Avoid effects such as shading, outline letters, etc.
- Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

- All figures are to be numbered using Arabic numerals.
- Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.
- Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).

- If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures,
- "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

Figure Captions

- Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.
- Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.
- No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.
- Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.
- Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure Placement and Size

- Figures should be submitted separately from the text, if possible.
- When preparing your figures, size figures to fit in the column width.
- For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.
- For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm.

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that

- All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)
- Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (colorblind users would then be able to distinguish the visual elements)
- Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

ELECTRONIC SUPPLEMENTARY MATERIAL

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Before submitting research datasets as electronic supplementary material, authors should read the journal's Research data policy. We encourage research data to be archived in data repositories wherever possible.

Submission

- Supply all supplementary material in standard file formats.
- Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.
- To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

Audio, Video, and Animations

- Aspect ratio: 16:9 or 4:3
- Maximum file size: 25 GB
- Minimum video duration: 1 sec
- Supported file formats: avi, wmv, mp4, mov, m2p, mp2, mpg, mpeg, flv, mxf, mts, m4v, 3gp

Text and Presentations

- Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.
- A collection of figures may also be combined in a PDF file.

Spreadsheets

- Spreadsheets should be submitted as .csv or .xlsx files (MS Excel).

Specialized Formats

- Specialized format such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

Collecting Multiple Files

- It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

Numbering

- If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.

- Refer to the supplementary files as “Online Resource”, e.g., "... as shown in the animation (Online Resource 3)", "... additional data are given in Online Resource 4”.
- Name the files consecutively, e.g. “ESM_3.mpg”, “ESM_4.pdf”.

Captions

- For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

Processing of supplementary files

- Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that

- The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material
- Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk)

RESEARCH DATA POLICY

A submission to the journal implies that materials described in the manuscript, including all relevant raw data, will be freely available to any researcher wishing to use them for non-commercial purposes, without breaching participant confidentiality.

The journal strongly encourages that all datasets on which the conclusions of the paper rely should be available to readers. We encourage authors to ensure that their datasets are either deposited in publicly available repositories (where available and appropriate) or presented in the main manuscript or additional supporting files whenever possible. Please see Springer Nature’s information on recommended repositories.

List of Repositories

Research Data Policy

General repositories - for all types of research data - such as figshare and Dryad may be used where appropriate.

For more information:

Research Data Policy Frequently Asked Questions

Data availability

All original articles must include a Data availability statement. Data availability statements should include information on where data supporting the results reported in the article can be found including, where applicable, hyperlinks to publicly archived datasets analysed or generated during the study. By data we mean the minimal dataset that would be necessary to interpret, replicate and build upon the findings reported in the article. We recognise it is not always possible to share research data publicly, for instance when individual privacy could be compromised, and in such

instances data availability should still be stated in the manuscript along with any conditions for access. Data Availability statements can take one of the following forms (or a combination of more than one if required for multiple datasets):

1. The datasets generated during and/or analysed during the current study are available in the [NAME] repository, [PERSISTENT WEB LINK TO DATASETS]
2. The datasets generated during and/or analysed during the current study are not publicly available due [REASON WHY DATA ARE NOT PUBLIC] but are available [STATE CONDITIONS FOR ACCESS].
3. Data sharing not applicable to this article as no datasets were generated or analysed during the current study.
4. All data generated or analysed during this study are included in this published article [and its supplementary information files].

More examples of template data availability statements, which include examples of openly available and restricted access datasets, are available:

Data availability statements

The journal also requires that authors cite any publicly available data on which the conclusions of the paper rely in the manuscript. Data citations should include a persistent identifier (such as a DOI) and should ideally be included in the reference list. Citations of datasets, when they appear in the reference list, should include the minimum information recommended by DataCite and follow journal style. Dataset identifiers including DOIs should be expressed as full URLs.

Research data and peer review

Peer reviewers should consider a manuscript's Data availability statement (DAS), where applicable. They should consider if the authors have complied with the journal's policy on the availability of research data, and whether reasonable effort has been made to make the data that support the findings of the study available for replication or reuse by other researchers.

For the Data availability statement, reviewers should consider:

Has an appropriate DAS been provided?

Is it clear how a reader can access the data?

Where links are provided in the DAS, are they working/valid?

Where data access is restricted, are the access controls warranted and appropriate?

Where data are described as being included with the manuscript and/or supplementary information files, is this accurate?

For the data files, where available, reviewers should consider:

Are the data in the most appropriate repository?

Were the data produced in a rigorous and methodologically sound manner?

Are data and any metadata consistent with file format and reporting standards of the research community?

Are the data files deposited by the authors complete and do they match the descriptions in the manuscript?

Do they contain personally identifiable, sensitive or inappropriate information?

Springer Nature provides a research data policy support service for authors and editors, which can be contacted at researchdata@springernature.com.

This service provides advice on research data policy compliance and on finding research data repositories. It is independent of journal, book and conference proceedings editorial offices and does not advise on specific manuscripts.

Helpdesk

AFTER ACCEPTANCE

Upon acceptance of your article you will receive a link to the special Author Query Application at Springer's web page where you can sign the Copyright Transfer Statement online and indicate whether you wish to order OpenChoice and offprints.

Once the Author Query Application has been completed, your article will be processed and you will receive the proofs.

Copyright transfer

Authors will be asked to transfer copyright of the article to the Publisher (or grant the Publisher exclusive publication and dissemination rights). This will ensure the widest possible protection and dissemination of information under copyright laws.

Offprints

Offprints can be ordered by the corresponding author.

Color illustrations

Publication of color illustrations is free of charge.

Proof reading

The purpose of the proof is to check for typesetting or conversion errors and the completeness and accuracy of the text, tables and figures. Substantial changes in content, e.g., new results, corrected values, title and authorship, are not allowed without the approval of the Editor.

After online publication, further changes can only be made in the form of an Erratum, which will be hyperlinked to the article.

Online First

The article will be published online after receipt of the corrected proofs. This is the official first publication citable with the DOI. After release of the printed version, the paper can also be cited by issue and page numbers.

OPEN CHOICE

Open Choice allows you to publish open access in more than 1850 Springer Nature journals, making your research more visible and accessible immediately on publication.

Benefits:

- Increased researcher engagement: Open Choice enables access by anyone with an internet connection, immediately on publication.
- Higher visibility and impact: In Springer hybrid journals, OA articles are accessed 4 times more often on average, and cited 1.7 more times on average*.
- Easy compliance with funder and institutional mandates: Many funders require open access publishing, and some take compliance into account when assessing future grant applications.

It is easy to find funding to support open access – please see our funding and support pages for more information.

*) Within the first three years of publication. Springer Nature hybrid journal OA impact analysis, 2018.

Open Choice

Funding and Support pages

Copyright and license term – CC BY

Open Choice articles do not require transfer of copyright as the copyright remains with the author. In opting for open access, the author(s) agree to publish the article under the Creative Commons Attribution License.

Find more about the license agreement

ETHICAL RESPONSIBILITIES OF AUTHORS

This journal is committed to upholding the integrity of the scientific record. As a member of the Committee on Publication Ethics (COPE) the journal will follow the COPE guidelines on how to deal with potential acts of misconduct.

Authors should refrain from misrepresenting research results which could damage the trust in the journal, the professionalism of scientific authorship, and ultimately the entire scientific endeavour. Maintaining integrity of the research and its presentation can be achieved by following the rules of good scientific practice, which include:

- The manuscript has not been submitted to more than one journal for simultaneous consideration.
- The manuscript has not been published previously (partly or in full), unless the new work concerns an expansion of previous work (please provide transparency on the re-use of material to avoid the hint of text-recycling (“self-plagiarism”).
- A single study is not split up into several parts to increase the quantity of submissions and submitted to various journals or to one journal over time (e.g. “salami-publishing”).
- No data have been fabricated or manipulated (including images) to support your conclusions
- No data, text, or theories by others are presented as if they were the author’s own (“plagiarism”). Proper acknowledgements to other works must be given (this

includes material that is closely copied (near verbatim), summarized and/or paraphrased), quotation marks are used for verbatim copying of material, and permissions are secured for material that is copyrighted.

- Important note: the journal may use software to screen for plagiarism.
- Consent to submit has been received explicitly from all co-authors, as well as from the responsible authorities - tacitly or explicitly - at the institute/organization where the work has been carried out, before the work is submitted.
- Authors whose names appear on the submission have contributed sufficiently to the scientific work and therefore share collective responsibility and accountability for the results.
- Authors are strongly advised to ensure the correct author group, corresponding author, and order of authors at submission. Changes of authorship or in the order of authors are not accepted after acceptance of a manuscript.
- Adding and/or deleting authors and/or changing the order of authors at revision stage may be justifiably warranted. A letter must accompany the revised manuscript to explain the reason for the change(s) and the contribution role(s) of the added and/or deleted author(s). Further documentation may be required to support your request.
- Requests for addition or removal of authors as a result of authorship disputes after acceptance are honored after formal notification by the institute or independent body and/or when there is agreement between all authors.
- Upon request authors should be prepared to send relevant documentation or data in order to verify the validity of the results. This could be in the form of raw data, samples, records, etc. Sensitive information in the form of confidential proprietary data is excluded.

If there is a suspicion of misconduct, the journal will carry out an investigation following the COPE guidelines. If, after investigation, the allegation seems to raise valid concerns, the accused author will be contacted and given an opportunity to address the issue. If misconduct has been established beyond reasonable doubt, this may result in the Editor-in-Chief's implementation of the following measures, including, but not limited to:

- If the article is still under consideration, it may be rejected and returned to the author.
- If the article has already been published online, depending on the nature and severity of the infraction, either an erratum will be placed with the article or in severe cases complete retraction of the article will occur. The reason must be given in the published erratum or retraction note. Please note that retraction means that the paper is maintained on the platform, watermarked "retracted" and explanation for the retraction is provided in a note linked to the watermarked article.
- The author's institution may be informed.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

To ensure objectivity and transparency in research and to ensure that accepted principles of ethical and professional conduct have been followed, authors should include information regarding

sources of funding, potential conflicts of interest (financial or non-financial), informed consent if the research involved human participants, and a statement on welfare of animals if the research involved animals.

Authors should include the following statements (if applicable) in a separate section entitled “Compliance with Ethical Standards” when submitting a paper:

- Disclosure of potential conflicts of interest
- Research involving Human Participants and/or Animals
- Informed consent

Please note that standards could vary slightly per journal dependent on their peer review policies (i.e. single or double blind peer review) as well as per journal subject discipline. Before submitting your article check the instructions following this section carefully.

The corresponding author should be prepared to collect documentation of compliance with ethical standards and send if requested during peer review or after publication.

The Editors reserve the right to reject manuscripts that do not comply with the above-mentioned guidelines. The author will be held responsible for false statements or failure to fulfill the above-mentioned guidelines.

DISCLOSURE OF POTENTIAL CONFLICTS OF INTEREST

Authors must disclose all relationships or interests that could have direct or potential influence or impart bias on the work. Although an author may not feel there is any conflict, disclosure of relationships and interests provides a more complete and transparent process, leading to an accurate and objective assessment of the work. Awareness of a real or perceived conflicts of interest is a perspective to which the readers are entitled. This is not meant to imply that a financial relationship with an organization that sponsored the research or compensation received for consultancy work is inappropriate. Examples of potential conflicts of interests that are directly or indirectly related to the research may include but are not limited to the following:

- Research grants from funding agencies (please give the research funder and the grant number)
- Honoraria for speaking at symposia
- Financial support for attending symposia
- Financial support for educational programs
- Employment or consultation
- Support from a project sponsor
- Position on advisory board or board of directors or other type of management relationships
- Multiple affiliations
- Financial relationships, for example equity ownership or investment interest
- Intellectual property rights (e.g. patents, copyrights and royalties from such rights)

- Holdings of spouse and/or children that may have financial interest in the work

In addition, interests that go beyond financial interests and compensation (non-financial interests) that may be important to readers should be disclosed. These may include but are not limited to personal relationships or competing interests directly or indirectly tied to this research, or professional interests or personal beliefs that may influence your research.

The corresponding author collects the conflict of interest disclosure forms from all authors. In author collaborations where formal agreements for representation allow it, it is sufficient for the corresponding author to sign the disclosure form on behalf of all authors. Examples of forms can be found

here:

The corresponding author will include a summary statement in the text of the manuscript in a separate section before the reference list, that reflects what is recorded in the potential conflict of interest disclosure form(s).

See below examples of disclosures:

Funding: This study was funded by X (grant number X).

Conflict of Interest: Author A has received research grants from Company A. Author B has received a speaker honorarium from Company X and owns stock in Company Y. Author C is a member of committee Z.

If no conflict exists, the authors should state:

Conflict of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

ENGLISH LANGUAGE EDITING

For editors and reviewers to accurately assess the work presented in your manuscript you need to ensure the English language is of sufficient quality to be understood. If you need help with writing in English you should consider:

- Asking a colleague who is a native English speaker to review your manuscript for clarity.
- Visiting the English language tutorial which covers the common mistakes when writing in English.
- Using a professional language editing service where editors will improve the English to ensure that your meaning is clear and identify problems that require your review. Two such services are provided by our affiliates Nature Research Editing Service and American Journal Experts. Springer authors are entitled to a 10% discount on their first submission to either of these services, simply follow the links below.

English language tutorial

Nature Research Editing Service

American Journal Experts

Please note that the use of a language editing service is not a requirement for publication in this journal and does not imply or guarantee that the article will be selected for peer review or accepted.

If your manuscript is accepted it will be checked by our copyeditors for spelling and formal style before publication.

REFERÊNCIAS (MATERIAL SUPLEMENTAR)

Cacho, M.D.S.R., M.E. Yamamoto & S. Chellappa, 1999. Comportamento reprodutivo do acará bandeira, *Pterophyllum scalare* Cuvier & Valenciennes (Osteichthyes, Cichlidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 16: 653–664.

Callisto, M., C.B.M. Alves, J.M. Lopes & M.A. Castro, 2014. Condições ecológicas em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos. CEMIG, Belo Horizonte.

Carvalho, R.A. & F.L. Tejerina-Garro, 2015. The influence of environmental variables on the functional structure of headwater stream fish assemblages: a study of two tropical basins in Central Brazil. *Neotropical Ichthyology* 13: 349–360.

Casatti, L. & R.M.C. Castro, 2006. Testing the ecomorphological hypothesis in a headwater riffles fish assemblage of the rio São Francisco, southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology* 4: 203–214.

Colloca, F., P. Carpentieri, E. Balestri & G. Ardizzone, 2010. Food resource partitioning in a Mediterranean demersal fish assemblage: The effect of body size and niche width. *Marine Biology* 157: 565–574.

Gatz-Jr, A.R., 1979. Ecological morphology of freshwater stream fishes. *Tulane studies in zoology and botany* 21: 91–124.

Hammer, O., 2002. Morphometrics – brief notes. Paläontologisches Institut und Museum, Zürich.

Hora, S.L. 1930. Ecology, Bionomics and Evolution of the Torrential Fauna, with Special Reference to the Organs of Attachment. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 218: 171–282.

Ohlberger, J., G. Staaks & F. Hölker, 2006. Swimming efficiency and the influence of morphology on swimming costs in fishes. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic and Environmental Physiology* 176: 17–25.

Peck, D.V., J.M. Lazorchak & D.J. Klemm, 2006. Environmental monitoring and assessment program – surface waters western pilot study: field operations manual for wadeable streams. EPA 600/R-06/003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington

Sala, E. & E. Ballesteros, 1997. Partitioning of space and food resources by three fish of the genus *Diplodus* (Sparidae) in a Mediterranean rocky infralittoral ecosystem. *Marine Ecology Progress Series* 152: 273–283.

Watson, D.J. & E.K. Balon, 1984. Ecomorphological analysis of fish taxocenes in rainforest streams of northern Borneo. *Journal of Fish Biology* 25: 371–384.

Winemiller, K.O., 1991. Ecomorphological Diversification in Lowland Freshwater Fish Assemblages from Five Biotic Regions. *Ecological Monographs* 61: 343–365.