UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE
MESTRADO ACADÊMICO EM BIODIVERSIDADE

Raul de Paula da Silva Fróis

Estrutura da assembleia de peixes em igarapés de pequena ordem de fragmentos florestais em uma matriz de savana, Amazônia oriental

Santarém - Pará
2019

RAUL DE PAULA DA SILVA FRÓIS

Estrutura da assembleia de peixes em igarapés de pequena ordem de fragmentos florestais em uma matriz de savana, Amazônia oriental

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade - Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como requisito para obtenção de grau de Mestre em Ciências Biológicas. Área de concentração: Ecologia.
Orientadora: Prof.ª Dra.: Amanda Frederico Mortati

Santarém - Pará

2019

ATA Nº 4

Em acordo com o Regimento do Programa de Pós Graduação em Biodiversidade da Universidade Federal do Oeste do Pará, a dissertação de mestrado é julgada por uma Banca Avaliadora não presencial, constituída por três avaliadores titulares, sendo um deles obrigatoriamente externo ao curso, com título de doutor ou equivalente (Artigo 57 do referido regimento), e dois suplentes. O acadêmico é considerado aprovado quando ao menos dois membros avaliadores emitirem pareceres Aprovado ou Aprovado com Correções. Alternativamente, o acadêmico que comprovar o aceite ou a publicação de pelo menos um artigo resultante da sua dissertação, como primeiro autor, em co-autoria com orientador (ou orientador e co-orientador quando for o caso) em periódico avaliado pela CAPES, no sistema Periódico Qualis, nível A2 ou superior na área de biodiversidade, será dispensado da avaliação da dissertação, cabendo ao discente apenas a apresentação pública do trabalho (Artigo 59). O acadêmico que tiver sua dissertação aprovada deverá apresentá-la em sessão pública com duração entre 40 e 50 minutos, no prazo máximo de vínculo com o curso, ou seja, 24 meses desde o ingresso, a que se refere essa ata, de acordo com o Artigo 65 do Regimento do PPGBEES.

Assim, aos trinta e um dias do mês de julho do ano de dois mil e dezenove, às 16h00min, no auditório da Pró-reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação Tecnológica, instalou-se a apresentação de seminário público da dissertação de mestrado do aluno RAUL DE PAULA DA SILVA FROIS. Deu-se início a abertura dos trabalhos, onde a Professora Dra. Amanda Frederico Mortati, após esclarecer as normativas de tramitação da defesa e seminário público, de imediato solicitou ao candidato que iniciasse a apresentação da dissertação, intitulada Estrutura da assembleia de peixes em igarapés de pequena ordem de fragmentos florestais em uma matriz de savana, Amazônia oriental. Concluída a exposição, a orientadora comunicou ao discente que a versão final da dissertação deverá ser entregue ao programa, no prazo de 30 dias; contendo as modificações sugeridas pela banca examinadora e constante nos formulários de avaliação da banca.

A banca examinadora foi composta pelos examinadores professores doutores listados abaixo. Os pareceres assinados seguem em sequência.

AMANDA FREDERICO MORTATI
Orientador(a)

RAUL DE PAULA DA SILVA FROIS
Discente

Dr. LUCIANO MONTAG, UFPA

Examinador Externo à Instituição

Dra. LILIAN CASATTI, UNESP

Examinadora Externa à Instituição

Dr. HELDER MATEUS VIANA ESPIRITO SANTO, UFPA

Examinador Externo à Instituição

RAUL DE PAULA DA SILVA FROIS

Mestrando

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

F929e Fróis, Raul de Paula da Silva
Estrutura da assembleia de peixes em igarapés de pequena ordem de fragmentos florestais em uma matriz de savana, Amazônia Oriental./ Raul de Paula da Silva Fróis. – Santarém, 2019.
78 p. : il.
Inclui bibliografias.

Orientadora: Amanda Frederico Mortati
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação Tecnológica, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade.

1. Peixes neotropicais. 2. Igarapés de cabeceira. 3. Resistência. I. Mortati, Amanda Frederico, *orient*. II. Título.

CDD: 23 ed. 577.8098115

Bibliotecária - Documentalista: Renata Ferreira – CRB/2 1440

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a minha família por todo o apoio e suporte em todos os aspectos, nem sei como expressar imensa gratidão.;

À minha orientadora Amanda Mortati pela confiança e por toda ajuda e suporte durante esse tempo e principalmente com a paciência e os ensinamentos valiosos compartilhados;

Aos professores do PPGBEES que contribuíram massivamente com a minha formação, e aos coordenadores Rodrigo Fadini e Thiago André por todas as instruções prestadas;

Aos membros da banca que pelas excelentes contribuições com a revisão da dissertação;

À primeira turma do programa de Biodiversidade a qual fiz parte, apesar dos pesares desenvolvemos discussões bem produtivas no decorrer das disciplinas, pelos corredores, e claro pelos momentos de descontração muito importante para não surtar;

Aos meus amigos Alejandra e Juan pelas trocas de ideias e compartilhamento de experiências culturais;

Aos meus valiosos amigos que conquistei aqui: Ellen Reis, Marise Oliveira e Daiane Rodrigues por representarem uma família em Santarém, foram muito importantes para mim;

Aos amigos que ajudaram bastante em boa parte das coletas, o Bruno Ribeiro por todo o esforço e parceria nas coletas dos peixes, as meninas Gerlane Sousa, Paula dos Anjos, Iara Brito, Acsa Silva por todo empenho nas coletas das variáveis abióticas. Aprendi bastante com todos vocês;

Aos técnicos dos laboratórios pelo suporte com o transporte nas coletas de campo;

À professora Leidiane Leão pela ajuda em diversos quesitos e principalmente com empréstimos de equipamentos para as coletas;

Ao professor José Max pelo empréstimo do medidor multiparamétrico;

Ao Jansen Zuanon pela curta, mas grandiosa orientação na etapa final e pela supervisão durante o estágio no INPA;

Ao Gabriel Borba do PPGeco/INPA pela estadia por alguns dias em Manaus e pela contribuição com análises temporais;

À Universidade Federal do Oeste do Pará e ao laboratório de Ecologia e Conservação/laboratório de Sementes Florestais por toda infraestrutura oferecida para desenvolver o trabalho;

Ao PPBio e ao POPA pela ajuda parcial com suporte logístico;

E claro, à todas as pessoas que tive contato durante esses dois anos, que independente da natureza da experiência vivida, ficaram grandes ensinamentos;

A todos que contribuíram para o amadurecimento dessa dissertação deixo o meu muito obrigado!

E finalmente à magnífica Amazônia e o mundo das águas com esses animais fantásticos.

“Ir para o mato é ir para casa”

John Muir

RESUMO

As savanas na Amazônia se restringem a apenas cerca de 3% da bacia, e o conhecimento sobre a diversidade de peixes dessas áreas ainda é incipiente, sendo este o grupo de organismos menos estudado. As alterações ambientais geram mudanças no habitat aquático, de modo que se espera mudança na comunidade de peixes ao longo do tempo, entretanto, quando não afetam profundamente a qualidade da água, espera-se uma certa resistência das comunidades. Para determinar a composição da ictiofauna foram realizadas três amostragens em 13 igarapés de primeira e segunda ordem inseridos em fragmentos florestais circundados por uma matriz de savana na margem esquerda do baixo rio Tapajós. A primeira coleta foi realizada em outubro de 2006. A segunda ocorreu entre março a maio, e a última em outubro de 2018. Para investigar os efeitos na mudança das características ambientais sobre a composição taxonômica dos peixes foi utilizado um conjunto de dez igarapés das amostragens de outubro de 2006 e 2018. Para as amostragens das variáveis ambientais e dos peixes foi utilizado um protocolo de esforço padronizado. Foi coletado um total de 6.094 indivíduos distribuídos em 43 espécies, pertencentes a 21 famílias e oito ordens, sendo Characiformes e Cichliformes as ordens mais representativas. A composição da comunidade destes igarapés é diferente de áreas próximas, correspondendo um conjunto importante para a diversidade regional. Foi analisada a intensidade e a direção da mudança temporal dos conjuntos de dados entre os anos de 2006 e 2018. Foram detectadas mudanças em algumas características estruturais e limnológicas dos igarapés entre os anos, apresentando diminuição da integridade ambiental. Não houve mudança na composição taxonômica da comunidade. Apesar dos peixes apresentarem uma capacidade de resistência ao atual nível de degradação ambiental sobre esses igarapés, existem variações na abundância total de algumas espécies relacionadas a perdas de micro-habitats específicos. É provável que mudanças no uso dos igarapés que intensifiquem a perda da qualidade da água possam acarretar perdas de diversidade. Sendo assim, são necessárias investigações que consigam quantificar esse tipo de efeito e monitorar suas mudanças.

Palavras-chave: Peixes neotropicais. Igarapés de Cabeceira. Resistência.

ABSTRACT

Savannas in the Amazon are restricted to only about 3% of the Amazon basin, and knowledge about fish diversity in these areas is still incipient, which is the least studied group of organisms. Environmental changes generate changes in aquatic habitat, so changes in the fish community are expected over time, but when they do not profoundly affect water quality, some resistance from communities is expected. To determine the composition of the ichthyofauna, three samplings were performed in 13 first and second order streams inserted in forest fragments surrounded by a savannah matrix on the left bank of the lower Tapajós River. May and the last in October 2018. To investigate the effects on the change of environmental characteristics on the taxonomic composition of fish, a set of ten streams from the October 2006 and 2018 samplings were used. A standardized effort protocol was used. A total of 6,094 individuals were collected distributed in 43 species, belonging to 21 families and eight orders, Characiformes and Cichliformes being the most representative orders. The community composition of these streams is different from nearby areas, corresponding to an important set for regional diversity. The intensity and direction of the temporal change of the datasets between 2006 and 2018 were analyzed. Changes in some structural and limnological characteristics of the streams between the years were detected, showing a decrease in the environmental integrity. There was no change in the taxonomic composition of the community. Although fish are able to withstand the current level of environmental degradation on these streams, there are variations in the total abundance of some species-related changes in specific microhabitats, it is likely that changes in the use of streams that intensify the loss of water quality. may lead to diversity losses. Therefore, investigations are needed to quantify this kind of effect and monitor its changes.

Keywords: Neotropical fishes. Headwaters streams. Resistance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo 1

Figure 1 - Study area map with 13 sample sites used for ichthyofauna collection along forest fragments in an Amazonian savanna matrix located at the lower Tapajós river basin (ADC is the code for Alter do Chão – district name)..... 33
Figure 2 - Stretches from stream samples located in forest fragments into an Amazonian savanna matrix, lower Tapajós river basin. 34
Figure 3 - Photo of some species of Characiformes, Gymnotiformes, Perciformes and Siluriformes collected in streams from forest fragments into an Amazonian savanna matrix, lower Tapajós river basin. Scale: 1 cm. (a) *Acestrorhynchus falcirostris*; (b) *Curimatopsis evelynae*; (c) *Copella nattereri*; (d) *Moenkhsausia copei*; (e) *Hypopygus neblinae*; (f) *Hemigrammus stictus*; (g) *Acarichthys heckelii*, (h) *Acaronia nassa*; (i) *Apistogramma gephyra*; (j) *Hypselacara coryphaenoides*; (k) *Monocirrhus polyacanthus*; (l) *Helogenes marmoratus*. Color in alcohol..... 35
Figure 4 - Species distribution using an abundance rank for 13 streams located in forest fragments into an Amazonian savanna matrix, lower Tapajós river basin. 36
Figure 5 - Similarity analysis for fish fauna sampled in streams located in forest fragments into an Amazonian savanna matrix, lower Tapajós river basin. (A) Study area hydrography and elevation map; (B) similarity based on Bray-Curtis distance (abundance); (C) based on Jaccard distance (presence/absence) (Cophen. corr. 0.92 and 0.96, UPGMA method) for all sampling periods and for all 13 stream samples..... 37

Capítulo 2

Figura 1 - Mapa da área de estudo com os 13 sítios de amostragem usados para a coleta dos dados nos igarapés de fragmentos florestais em uma matriz de savana amazônica localizada no baixo rio Tapajós (ADC é o código para Alter do Chão – nome do distrito). 62

Figura 2 - Ordenação da mudança na das características físico-químicas da água para as duas amostragens (2006, pontos azuis; 2018, pontos vermelhos)..... 63

Figura 3 - Ordenação da mudança na das características estruturais do canal para as duas amostragens (2006, pontos azuis; 2018, pontos vermelhos)..... 64

Figura 4 - Ordenação da mudança na composição do substrato para as duas amostragens (2006, pontos azuis; 2018, pontos vermelhos). 65

Figura 5 - Ordenação das trajetórias das mudanças na composição taxonômica da assembleia para as duas amostragens (2006, pontos azuis; 2018, pontos vermelhos)..... 66

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Table 1 - Fish species list of small order streams located in forest fragments into an Amazonian savanna matrix, lower Tapajós river basin. 37

Table 2 - Fish richness and total abundance from each order of the assemblage, streams located in forest fragments into an Amazonian savanna matrix, lower Tapajós river basin. 37

Table 3 - Fish richness and total abundance from each stream sampled, located in forest fragments into an Amazonian savanna matrix, lower Tapajós river basin. 39

Capítulo 2

Tabela 1 - Valores médios (amplitude) das características ambientais dos riachos para as duas amostragens. 67

Tabela 2 - Valores médios e desvio padrão (amplitude) dos atributos da fauna de peixes amostrados nos 10 riachos. 67

Tabela 3 - Resultado das análises de regressão linear entre a diferença na composição taxonômica em relação a diferença das características ambientais entre as amostragens. 68

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO GERAL 15

2- Capítulo 1. Small order streams fish fauna from forest fragments within a savanna matrix in the lower Tapajós river, Amazon **..... 19**

Introduction 22

Material and Methods..... 23

Results 24

Discussion..... 26

References..... 28

Figures and Tables 33

3 - Capítulo 2. Mudanças ambientais temporais e resistência da fauna de peixes de pequenos igarapés em matriz de savana do baixo rio Tapajós, Amazônia**. 41**

Introdução 44

Material e Métodos..... 46

Resultados 51

Discussão 53

Referências..... 57

Material Suplementar 69

Anexo..... 76

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 79

INTRODUÇÃO GERAL

Os pequenos igarapés de Alter do Chão

Qual é o problema da pesquisa?

Os igarapés de pequena ordem da Amazônia apresentam uma estreita relação com a floresta que os margeiam. A densa copa das árvores bloqueia a entrada de luz solar, e assim acaba limitando o crescimento de organismos produtores primários. Desse modo, esses ecossistemas não possuem autonomia trófica, tornando-se dependentes da entrada de matéria orgânica proveniente das plantas que compõem a vegetação adjacente.

A vegetação ripária é uma faixa de vegetação terrestre com características específicas que se estende além das margens do canal do igarapé e pode variar em extensão de acordo com a inclinação do terreno e com a extensão da saturação de água no solo em direção às áreas mais altas.

A retirada da vegetação ripária pode resultar num enfraquecimento dos barrancos dos igarapés, e além disso pode deixar o fundo dos igarapés muito mais simples, diminuindo a diversidade de abrigo para a fauna. A desestabilização das margens se dá através da entrada de sedimentos inorgânicos promovida pela desestruturação física do solo, que reduz a coluna d'água e o espaço disponível para a fauna. Associado a isso, a redução ou simplificação do tipo de material vegetal que entra no leito (material alóctone) e que funciona como mecanismo de retenção do fluxo da água ocasiona a perda de micro-habitats. A perda de material alóctone implica em número e diversidade menores de habitats para a fauna aquática, e isso significa perda de oportunidades de potenciais locais para abrigo, alimentação e reprodução.

Esses processos ainda são pouco conhecidos para os igarapés de terra-firme, que possuem uma densa copa das florestas sombreando as nascentes hidrográficas. Entretanto, a configuração das florestas circundadas por uma matriz de savana é naturalmente mais aberta e a influência relacionada a essa característica não é compreendida, sendo que os peixes são o grupo de organismos menos estudados nessas áreas.

Como a pesquisa foi realizada?

A pesquisa consiste primeiramente em um inventário para conhecer a fauna de peixes presentes nos pequenos igarapés de água clara dessa região de fragmentos florestais em matriz de savana, localizada na margem direita do baixo rio Tapajós, Amazônia.

Para compreender os efeitos da degradação ambiental sobre a fauna nesses igarapés partiu-se da premissa de que as mudanças ambientais causadas pelo homem na área de estudo foram capazes de alterar a integridade dos igarapés, e como consequência a fauna também seria afetada. Assim, foram levantadas duas hipóteses: a) há mudança na integridade ambiental dos igarapés e na composição da comunidade de peixes entre os anos de 2006 e 2018 b) as mudanças observadas na fauna estão relacionadas com as mudanças ambientais acumuladas entre os anos de 2006 e 2018.

Para isto foram selecionados 13 igarapés e amostrados nos meses de março a maio de 2018 e posteriormente em outubro deste mesmo ano. A primeira coleta realizada em outubro de 2006 considerou dez dos 13 igarapés, e para investigar as possíveis mudanças na composição da fauna foi considerado na comparação os mesmos dez igarapés amostrados em outubro de 2018. A coleta dos peixes foi feita em um trecho de 50 metros do igarapé, isolado por uma rede de bloqueio nas duas extremidades do trecho, para evitar a fuga dos peixes, e durante duas horas dois pesquisadores coletaram de forma intensiva com uso de peneiras e puçás.

Nestes mesmos trechos dos igarapés foram coletadas as características físicas e químicas da água, tais como: pH, condutividade elétrica, temperatura, oxigênio dissolvido, e condições estruturais e hidrológicas do canal: largura, profundidade, tipo de substrato, velocidade da água. Além disso, foi atribuído um valor de integridade do hábitat, calculado por avaliações visuais das condições do igarapé.

Qual a importância da sua pesquisa?

Em virtude das constantes ameaças para a área estudada, faz-se extremamente necessário descrever as comunidades biológicas destes ambientes, e conhecer

os efeitos das perturbações antrópicas a curto e longo prazo para propor políticas de manejo e monitoramento compatíveis com a realidade do local estudado.

Nascentes hidrográficas são fortemente influenciadas pelo entorno terrestre, sendo que modificações na estrutura da vegetação adjacente podem afetar direta e indiretamente os organismos aquáticos. Assim, é importante expandir a compreensão desses processos que atuam na interface aquático-terrestre para as diferentes formações vegetais na Amazônia, como é o caso das restritas formações de matrizes de savana.

Além disso, as nascentes hidrográficas apresentam características que variam localmente dentro de uma mesma bacia de drenagem, demonstrando que não são apenas uma parcela igualitária de um conjunto, mas que cada uma apresenta a estrutura de sua fauna mantendo intrínsecas relações com o meio. Isto evidencia a importância da expansão de estudos em nascentes hidrográficas em áreas mal amostradas na Amazônia para a construção de padrões da distribuição da fauna de peixes e para fomentar estratégias adequadas de conservação.

Finalmente, o presente estudo contribui com os Programas Ecológicos de Longa Duração (PELD) implementando unidades de amostragem em ecossistemas aquáticos de água doce na Amazônia.

Autores: Raul de Paula da Silva Fróis, Amanda Frederico Mortati

Instituição: Universidade Federal do Oeste do Pará

Sugestões de leitura:

Lowe-Mcconnell RH. 1999. Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais: Vazzoler AEAM, Agostinho AA, Cunningham PTM (trad.). Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Sioli, H. 1991. Amazônia. Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. Tradução de Johann Becker. 3ª edição. Petrópolis, Rio de Janeiro. Editora Vozes Ltda. 72 p.

Naiman RJ, Décamps H. 1997. The Ecology of interfaces: Riparian Zones. Annual Review of Ecology, *Evolution and Systematics*, 28: 621-658.

Walker I. 1990. Ecologia e biologia dos igapós e igarapés. *Ciência Hoje,* 11: 44-53.

Capítulo 1

Fróis, R. P. S., et al. 2019. Small order streams fish fauna from forest fragments within a savanna matrix in the lower Tapajós river, Amazon. Manuscrito submetido para o periódico *Biota Neotropica.*

Small order streams fish fauna from forest fragments within a savanna matrix in the lower Tapajós river, Amazon

Ictiofauna de igarapés de pequena ordem de fragmentos florestais em uma matriz de savana no baixo rio Tapajós, Amazônia

Raul de Paula da Silva Fróis[1], Bruno Oliveiro Ribeiro[2], Jansen Alfredo Sampaio Zuanon[3], Amanda Frederico Mortati[1]

[1] Universidade Federal do Oeste do Pará, Programa de Pós-graduação em Biodiversidade, CEP 68040-470, Santarém, PA, Brasil

[2] Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, CEP 68040-470, Santarém, PA, Brasil.

[3] Instituto de Pesquisa da Amazônia, Coordenação de Biodiversidade, CEP 69067-375, Manaus, AM, Brasil.

[4] Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituo de Biodiversidade e Florestas, CEP 68040-470, Santarém, PA, Brasil

Corresponding author: radulfrois@gmail.com

Abstract: This study accessed small streams in a landscape composed of forest fragments within a matrix of Amazonian savannah. We sampled fish fauna using the active capture method in two dry seasons, October 2006 and 2018 and in a rainy season from March to May 2018. Species richness was estimated from the first order *Jackknife* abundance matrix. Using qualitative and quantitative data, we present a cluster analysis, where each stream corresponds to a sampling unit. We collected 6094 individuals from 43 species distributed in eight orders. The sampling effort represented 73% of the estimated richness (58.69 ± 7.65). The most abundant species were *Copella nattereri*, *Iguanodectes variatus* and *Laimosemion dibaphus*, together representing almost half of the total sampled (48.7%). The most common species were *Aequidens epae*, *Helogenes marmoratus* and *L. dibaphus*, collected from 11 of the 13 sampled streams. Fish richness and the presence of many rare species advocate the contribution of small streams to the regional composition of fish fauna, even in dynamic landscapes.
Keywords: Neotropical fishes, Headwater streams, Riverscapes

Resumo: Este estudo acessou riachos de pequena ordem, em uma paisagem composta por fragmentos florestais dentro de uma matriz de savana amazônica. Amostramos a fauna de peixes com o método de captura ativa em duas estações secas, outubro de 2006 e 2018 e em uma estação chuvosa de março a maio de 2018. A riqueza de espécies foi estimada a partir da matriz de abundância com *Jackknife* de primeira ordem. Usando dados qualitativos e quantitativos, apresentamos uma análise de cluster, onde cada igarapé corresponde a uma unidade amostral. Coletamos 6094 indivíduos, de 43 espécies distribuídas em oito ordens. O esforço de amostragem representou 73% da riqueza estimada (58,69 ± 7,65). As espécies mais abundantes foram *Copella nattereri*, *Iguanodectes variatus* e *Laimosemion dibaphus*, representando em conjunto quase a

metade do total amostrado (48,7%). As espécies mais comuns foram *Aequidens epae*, *Helogenes marmoratus* e *L. dibaphus*, coletadas em 11 dos 13 riachos amostrados. A riqueza de peixes e a presença de muitas espécies raras advogam a contribuição de córregos de pequena ordem para a composição regional da fauna de peixes, mesmo em paisagens dinâmicas.

Palavras-chave: Peixes neotropicais, Riachos de cabeceira, Paisagens de rios

Introduction

Neotropical region keeps the most diverse freshwater fish fauna on the planet with 5160 described species for South America, and over 9100 estimated species (Reis et al. 2016). Amazon basin itself comprehends 2441 of neotropical freshwater fishes and near 1089 are endemic (Reis et al. 2016). More than half of its linear extension is composed by small order streams (Macedo and Castello 2015), which presents an extraordinary diverse fish fauna (Bührnheim & Cox-Fernandes 2003, Mendonça et al. 2005, de Oliveira et al. 2009, Barros et al. 2011, Silva-Oliveira et al. 2016, Leitão et al. 2017). Fish fauna studies in the Amazon basin are widespread on non-flooded rainforests streams, but still incipient on savanna landscapes. This vegetation has a restricted distribution representing only 3-4% of the basin area (Pires and Prance 1985), and as expected, many endemisms (Barbosa et al. 2003, Plotkin & Riding 2011, De Carvalho & Mustikin 2017). The savanna at the lower Tapajós river is drained by small streams that are used for recreation by its local populations, been threatened by the cluttered urban growth. Therefore, it is urgent to promote studies on these streams and its biota. Here we present the first fish fauna list of streams for an Amazonian savanna matrix, from a standardized and well tested active capture method for small Amazonian streams.

Material and Methods

1. Study area

Sampling sites were located in a landscape composed by isolated forest fragments lying within a savanna matrix connected to a continuum forest (Amaral et al. 2017), at the lower Tapajós river basin (Figure 1). Sampling sites represent a drainage area of 17847 ha. At the study area, drainage flows to the main lake, Lago Verde, and smaller streams flows to Tapajós river right margin. Streams have clear water, an important attraction for the local touristic context (Fróis pers. obs.) (Figure 1 and 2).

This region has the 1991 mm of mean annual rainfall and presents two seasons: dry period (precipitation <100 mm/month) between July and November and rainy period (precipitation >100 mm) between December and June. Mean annual temperature is 25.9ºC, with 1.8 °C of variation (Climate-data.org 2019).

Vegetation is a semidecidual forest (IBGE 2012) surrounded by savanna. This savanna is composed by two dominant grass species, a shrub vegetation dominated by Melastomataceae and Myrtaceae species, and sparse short to medium size trees (Magnusson et al. 2008).

2. Data collection

We sampled 13 first and second order streams to access the ichthyofauna in 50 meters stretch per stream, using a standardized active capture method described in Mendonça et al. (2005). We sampled first collection in October 2006 at the peak of the dry season. We sampled two more collections in 2018, one at the rainy season from March to May and the other at the dry season in October.

Fish were sampled into 50 m stretch was blocked with fine-mesh nets (5 mm stretched mesh size), with two-person /two hours effort using seine and hand nets. Specimens collected were first sedated with eugenol and fixed in 10% formalin solution,

transferred to 70% alcohol, and deposited in the INPA Fish Collection. We identified specimens collected species level using specific literature (Géry 1977, Vari 1982, Kullander 1986) and specialists' orientation. Taxonomic classification followed Fricke et al. (2018).

We evaluated the sampling effort from an abundance matrix with first-order *Jackknife* richness estimator (Krebs 1999) with 1000 randomizations, considering each stream stretch as an independent sample unit, in the software EstimateS version 9 (Cowell 2013). We calculated fauna dissimilarity among sample units using Jaccard distance for qualitative (presence/absence) and Bray-Curtis for quantitative data, presented in a dendrogram with the software PAST 3.20 (Hammer et al. 2001).

Results

Were sampled 6094 individuals, belonging to 43 species, eight orders and 22 families (Table 1). Characiformes was the most rich and abundant order with 19 species and 4094 individuals. Cichliformes was the second represented by 8 species and 542 individuals. Gymnotiformes had one more species than Siluriformes, but the second presented three times more individuals. Cyprinodontiformes contributed with two species and Gobiiformes, Perciformes and Synbranchiformes each with one species (Table 2). The most abundant species were *Copella nattereri* (1160 individuals, 19.2% do total), *Iguanodectes variatus* (1070, 17.4%) and *Laimosemion dibaphus* (728, 11.8%), contributing together with almost half of the total amount of individuals (2958, 48.7%) (Figures 3 and 4). The most common species were *Aequidens epae*, *Helogenes marmoratus* e *L. dibaphus*, collected in 11 of 13 sample streams.

At the first sampling, were registered 32 species (Dry season/2006), 29 species at the second (Rainy season/2018) and 30 species at the third (Dry/2018). Of the 43 species collected, 18 were registered in all sampling periods. Species abundance did not vary among periods, except *Copella callolepis* (Dry/2006 with 14 individuals; Rainy/2018

with 80; Dry/2018 with 476), *C. nattereri* (677; 282; 201), *Hyphessobrycon heterorabdus* (155; 11; 180) e *H. marmoratus* (164; 44; 99) (Table 1).

Some species had their distribution related to a specific sample site or to a set of samples hydrographically related. *Copella callolepis* was present in a set of streams that drains to Lago Verde south border (ADC05, 06, 07, 08, 11 e 13). Your congeneric *C. nattereri* was present in the other sites (ADC02, 03, 04, 09, 10), never occurring in the same sample site. *Elachocarax junki* e *Pygopristis denticulate* were only sampled at the ADC03 steam.

Species number varied among streams. Sample sites ADC02 and 10 had the greatest species number record (S = 19 e 28, respectively), and some of its species could be we could consider some of its species occasional given the variation among sample periods. In contrast, ADC12 had the lower species record (3) (Tables 1 and 3).

First-order *Jackknife* estimator showed that 73% of the expected species were sampled (58.69 ±7.65).

We compared the present inventory to another from 1st to 3rd order non-flooded rainforest small streams located in National Forest Tapajós (Silva-Oliveira et al. 2016) at the same margin of Tapajós river and one hundred km appart from our study area. We registered only 18 species in both study areas (23% of similarity – *Jaccard* distance), from 43 species collected here and 53 species collected by Silva-Oliveira et al. (2016).

Similarity faunistic analysis showed that stream ADC07 is the most divergent sample followed by ADC02 and 10, for both qualitative and quantitative data. A set of five streams formed a group with higher similarity (ADC05, 06, 07, 08, 11) for qualitative data suggesting a spatial arrangement for this fish assemblages (Figures 1 and 5).

Discussion

This inventory is the first for small streams in Amazonian savanna matrices and shows the importance of spatial heterogeneity for fish community composition. Our data shows low similarity with fish fauna from small streams that flows through the rainforest at the lower Tapajós river.

In the neotropics fish community composition is generally constituted in terms of dominance by Characiformes, Siluriformes, Perciformes and Gymnotiformes, and the last two can flip the order (Lowe-McConnell 1999). However, in the present inventory Characiformes and Cichliformes recorded higher richness, similar to the pattern observed for non-flooded rainforest small streams on the Tapajós river (Silva-Oliveira et al. 2016). Characidae and Cichlidae families were the most representative, and Loricariidae was absent.

Species richness from the savanna matrix and forest fragments streams are comparable to non-flooded rainforest streams throughout the Amazon basin (Araújo-Lima et al. 1999, Bührnheim & Cox-Fernandes 2001, Mendonça et al. 2005, Espirito-Santo et al. 2009). In addition, these fish assemblages present the same abundance distribution pattern observed for so many organisms in Amazonia, where common species are rare and rare species are common.

Considering the stretch sample size of 50 meters, our results reach 70% of the estimated. For stretches twice the size, Anjos et al. (2007) obtained 71.4 to 94.1% from the estimated species richness number in central Amazonia.

Species richness values observed in ADC02 and 10 streams could be related with lake proximity, been more affected by the river flood pulse and therefore presenting a distinct fish fauna (Walker 1990). At these same stretches were recorded *Acestrorhynchus falcirostris* and *Mesonauta festivus* juveniles, showing that theses

streams can function as the refuge and growth sites (Goulding 1980, Meyer et al. 2007). This result highlights small streams importance for maintaining fish fauna from adjacent aquatic habitats.

ADC12 stream low species number could be related to local features given its degradation status, creating long and shallow pools, covered by litter and low dissolved oxygen concentration (1.4 mg/L). At this site were collected juveniles of *Hoplias malabaricus, L. dibaphus* and *Synbranchus madeirae*, which are capable to survive in those conditions given their respiratory adaptations (Lowe-McConnell 1964, Val et al. 1998).

Data show a group of streams (ADC05, 06, 07, 08, 11 and 13) that are similar for fish composition qualitative information, which is hydrographically connected and at Lago Verde south border. These streams presented 43% similarity and their drainage is inserted out of the savanna matrix range. Among them, ADC05 is the less similar, which had one species *Nanostomus marginatus* exclusive to this sample site.

The presence of exclusive species, related to one single sample site, even after three sampling periods, shows relevance to draw riverscapes protection strategies which should consider the greater number of headwater streams to safeguard the local fauna and the regional diversity.

Acknowledgments

We thank to Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Brasil (CAPES) for the scholarship and to scientific literature free access from Portal de Periódicos CAPES/MEC. We also thank to Programa Nacional de Cooperação Acadêmica na Amazônia (PROCAD-AM/CAPES, edital Nº 21/2018, processo Nº 88887.200472/2018-00) for supporting INPA's fish collection technical visit, and to the

Conselho Nacional de Pesquisas do Brasil (CNPq, edital MCTI/CNPQ/Universal 14/2014 CNPq, Processo Nº 458297/2014-3) for logistic and material support.

Author Contributions

Each author's contributions were as follows: Raul Fróis: substantial contribution to conception and design, data acquisition, analysis and interpretation and drafting of the manuscript; Bruno Ribeiro: contribution to data acquisition; Jansen Zuanon: substantial contribution to conception and design, data acquisition and critical revision for important intellectual content; Amanda Mortati: substantial contribution to conception and design, data analysis and interpretation and drafting of the manuscript.

References

AMARAL, I.L., MAGNUSSON, W.E., MATOS, F.D.A., ALBERNAZ, A.N.K., FEITOSA, Y.O. & GUILLAUMENT, J.L. 2017. Disentangling structural patterns of natural forest fragments in a savanna matrix in the eastern Brazilian Amazon. Acta Amazonica 47(2): 111-122.

ANJOS, M. B. & J. ZUANON. 2007. Sampling effort and fish species richness in small terra firme forest streams of central Amazonia, Brazil. Neotropical Ichthyology 5:45–52.

ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M., L. F. JIMÉNEZ, R. S. OLIVEIRA, P. C. ETEROVICK, U. MENDONZA, AND A. JEROZOLIMKI. 1999. Relação entre o número de espécies de peixes, complexidade de hábitat e ordem do riacho nas cabeceiras de um tributário do rio Urubu, Amazônia Central. Acta Limnologica Brasiliensia 11(2): 127-135.

BARBOSA R.I., XAUD, M.R., SILVA G.N. & CATTÂNEO A.C. 2003. Forest fires in Roraima, Brazilian Amazonia. International Forest Fire News 28: 51-66.

BARROS D.F., ZUANON J, MENDONÇA F.P., ESPÍRITO-SANTO H.M.V., GALUCH A.V. & ALBERNAZ A.L.M. 2011. The fish fauna of streams in the Madeira-Purus. Check List 7: 768–773.

BÜHRNHEIM C.M. & COX-FERNANDES C. 2003. Structure of Fish Assemblages in Amazonian Rain-Forest Streams: Effects of Habitats and Locality. Copeia 2003(2): 255-262.

BÜHRNHEIM, C. M. AND C. COX-FERNANDES. 2001. Low seasonal variation of fish assemblages in Amazonian rain forest streams. Ichthyological Exploration of Freshwaters 12(1): 65-78.

CLIMATE DATA.ORG. Clima de Alter do Chão. http://climate-data.org/location/317494. Access 20 march 2019.

COLWELL R.K. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. User's guide and application. http://purl.oclc.org/estimates.

DE CARVALHO W.D. & MUSTIN K. 2017. The highly threatened and little known Amazonian savannahs. Nature Ecology & Evolution 1(4): 0100.

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(3): 536-548.

FRICKE, R., ESCHMEYER, W. N. & R. VAN DER LAAN. 2019. CATALOG OF FISHES: GENERA, SPECIES, REFERENCES. http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp (last access 3 January 2019).

GÉRY, J. 1977. Characoids of the world. T.F.H. Publications. Inc. Ltd. Neptune City, New Jersey, 672 pp.

GOULDING, M. 1980. The fishes and the forest: explorations in Amazonian natural history. Los Angeles, University of California Press, 280p.

HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T. & RYAN, P.D. 2001. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica 4(1): 1–9.

IBGE. 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira: Sistema fitogeográfico. Inventário das formações florestais e campestres Técnicas e manejo de coleções botânicas. Procedimentos para mapeamentos. Nº 1, 2ª Edição ampliada. Centro de Documentação e Disseminação de Informações, Rio de Janeiro, 271p.

JUNK W.J. 1983. As águas da Região Amazônica. In Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia (E. Salati, H.O.R. Schubart, W.J. Junk & A.E. Oliveira, eds). São Paulo, Brasiliense/CNPq 328p.

KREBS, C. J. 1999. Ecological Methodology. Addison Wesley Educational Publishers, Menlo Park.

KULLANDER, S. O. 1986. The cichlid fishes of the Amazon river drainage of Peru. Swedish Museum of Natural History, Stockholm, 431p.

LEITÃO, R.P., ZUANON J., MOUILLOT, D., LEAL, C.G., HUGHES, R.M., KAUFMANN, P.R., VILLÉGER, S., POMPEU, P.S., KASPER, D., de PAULA, F.R., FERRAZ, S.F.B. & GARDNER, T.A. 2017. Disentangling the pathways of land use impacts on the functional structure of fish assemblages in Amazon streams. Ecography 125:336–342.

LOWE-MCCONNELL, R. H. 1964. The fishes of Rupununi savanna district of British Guiana, South America. I. Ecological groupings of species and effects of the seasonal cycle on the fish. Journal of the Linnean Society 45(304):103-144.

MACEDO M. & CASTELLO L. 2015. State of the Amazon: Freshwater Connectivity and Ecosystem Health. (D. Oliveira, C.C. Maretti & S. Charity, eds). Brasília, Brazil, WWF Living Amazon Initiative. 136pp.

MAGNUSSON, W. E., LIMA, A. P., ALBERNAZ, A. L. K. M., SANAIOTTI, T. M. & J. L. GUILLAUMET, 2008. Composição florística e cobertura vegetal das savanas na região de Alter do Chão, Santarém - PA. Revista Brasileira de Botânica 31(1): 165-177.

MENDONÇA, F.P., MAGNUSSON, W.E. & ZUANON, J. 2005. Relationships Between Habitat Characteristics and Fish Assemblages in Small Streams of Central Amazônia. Copeia 4: 750–763.

MEYER, J. L., D. L. STRAYER, J. B. WALLACE, S. L. EGGERT, G. S. HELFMAN, AND N. E. LEONARD. 2007. The contribution of headwater streams to biodiversity in river networks. Journal of the American Water Resources Association 43(1): 86-103.

MIRANDA, I.S. 1993. Estrutura do estrato arbóreo do cerrado amazônico em Alter do Chão, Pará, Brasil. Revista Brasileira de Botânica, 16: 143-150.

PIRES, J.M. & PRANCE, G. T. 1985. The vegetation types of the Brazilian Amazon. In Key environments: Amazonia (G. T. Prance & T. E. Lovejoy, eds). Pergamon Press, Oxford, p. 109-145.

PLOTKIN R.L. & RIDING S. 2011. Biogeography of the Llanos de Moxos: natural and anthropogenic determinants. Geografica Helvetica 3: 183–192.

REIS, R.E., ALBERT, J.S., DI DARIO, F., MINCARONE, M.M., PETRY, P. &

ROCHA, L.A. 2016. Fish biodiversity and conservation in South America. J. Fish Biol. 89(1): 12-47.

SILVA-OLIVEIRA C., CANTO A.L.C. & RIBEIRO F.R.V. 2016. Stream ichthyofauna of the Tapajós National Forest, Pará, Brazil. ZooKeys 580: 125–144.

VAL, A.L., SILVA, M.N.P. & Almeida-Val, V.M.F. 1998. Hypoxia adaptation in fish of the Amazon: a never-ending task. South African Journal of Zoology 33:2.

VARI, R.P. 1982. Systematics of the neotropical characoid genus Curimatopsis (Pisces: Characoidei). Smithsonian Contributions to Zoology 373 (1-3): 1-28.

Figures and Tables

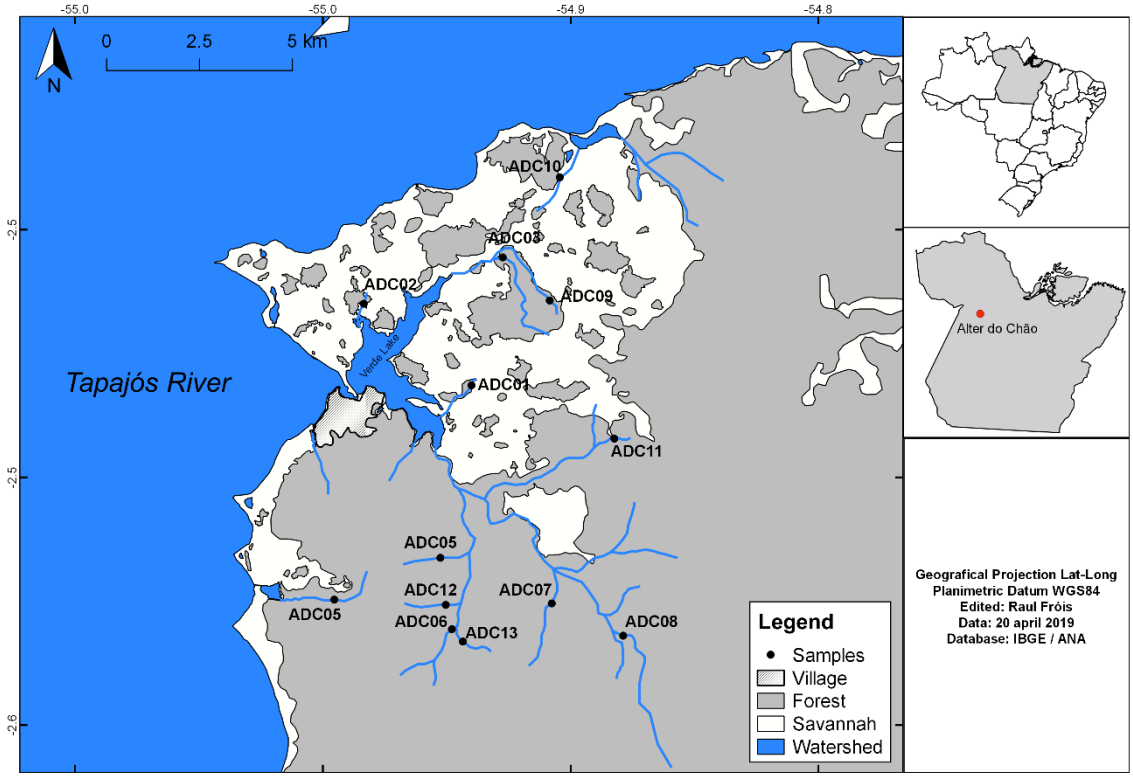

Figure 1. Study area map with 13 sample sites used for ichthyofauna collection along forest fragments in an Amazonian savanna matrix located at the lower Tapajós river basin (ADC is the code for Alter do Chão – district name).

Figure 2. Stretches from stream samples located in forest fragments into an Amazonian savanna matrix, lower Tapajós river basin.

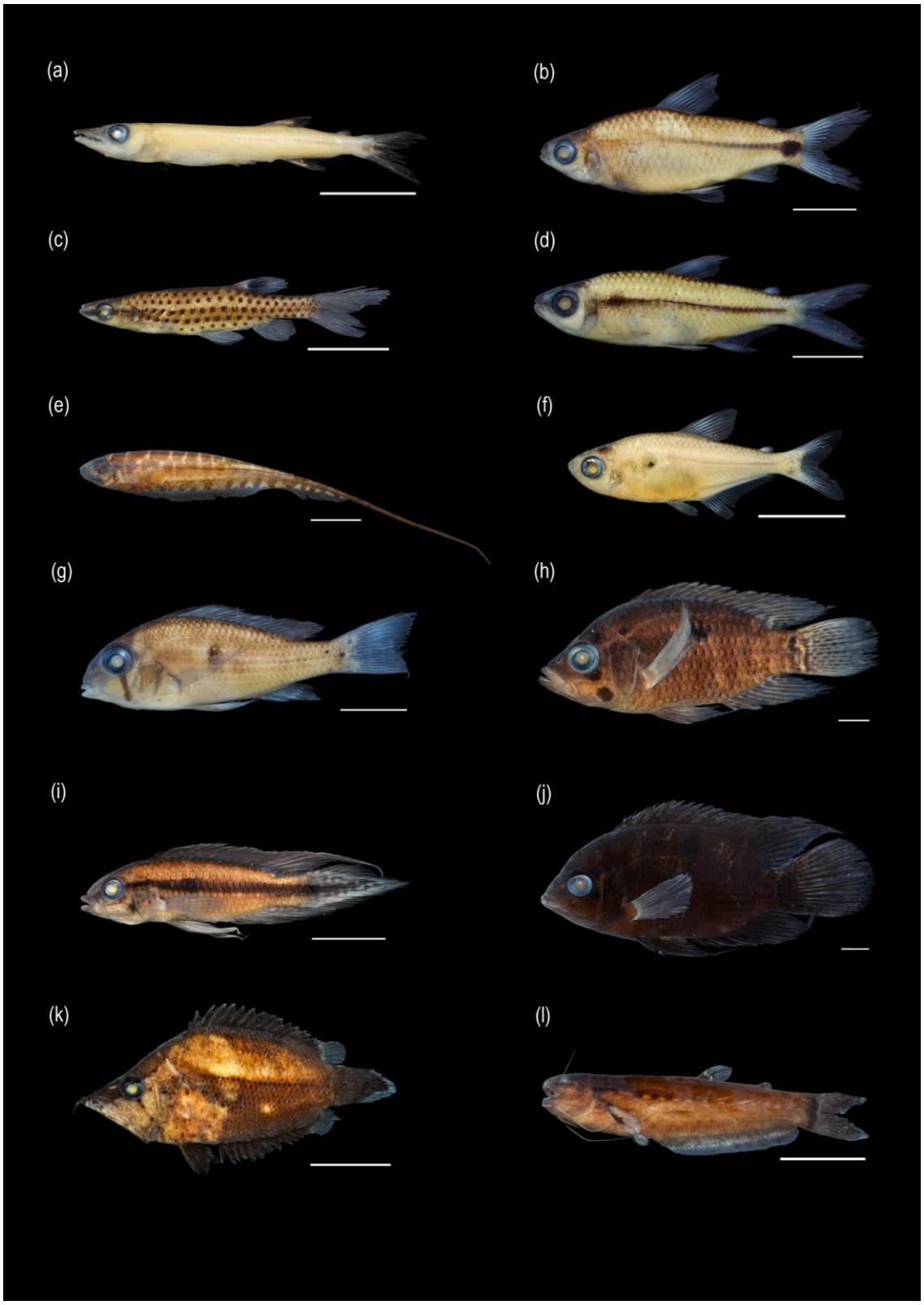

Figure 3. Photo of some species of Characiformes, Gymnotiformes, Perciformes and Siluriformes collected in streams from forest fragments into an Amazonian savanna matrix, lower Tapajós river basin. Scale: 1 cm. (a) *Acestrorhynchus falcirostris*; (b) *Curimatopsis evelynae*; (c) *Copella nattereri*; (d) *Moenkhsausia copei*; (e) *Hypopygus*

neblinae; (f) *Hemigrammus stictus*; (g) *Acarichthys heckelii*, (h) *Acaronia nassa*; (i) *Apistogramma gephyra*; (j) *Hypselacara coryphaenoides*; (k) *Monocirrhus polyacanthus*; (l) *Helogenes marmoratus*. Color in alcohol.

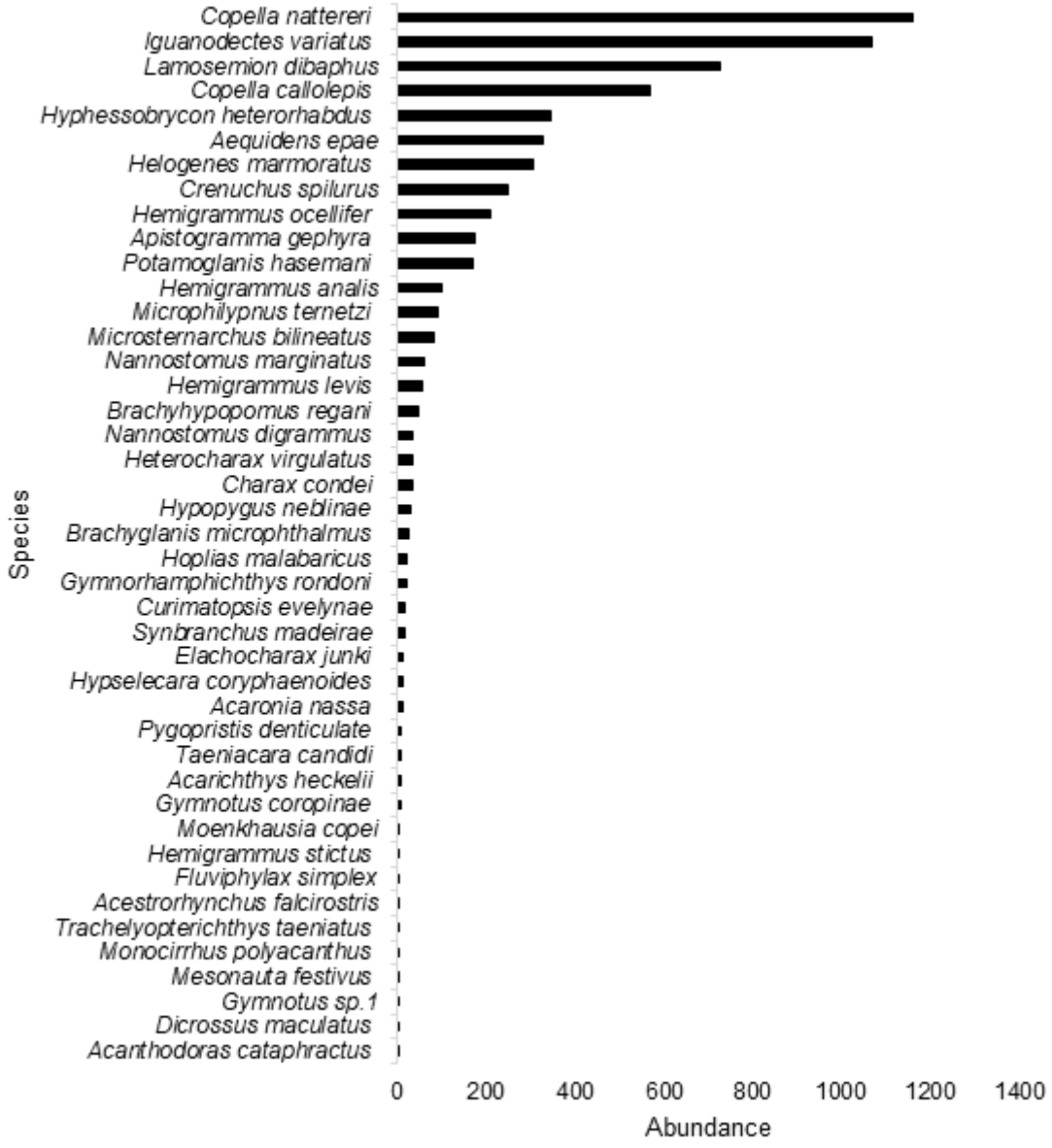

Figure 4. Species distribution using an abundance rank for 13 streams located in forest fragments into an Amazonian savanna matrix, lower Tapajós river basin.

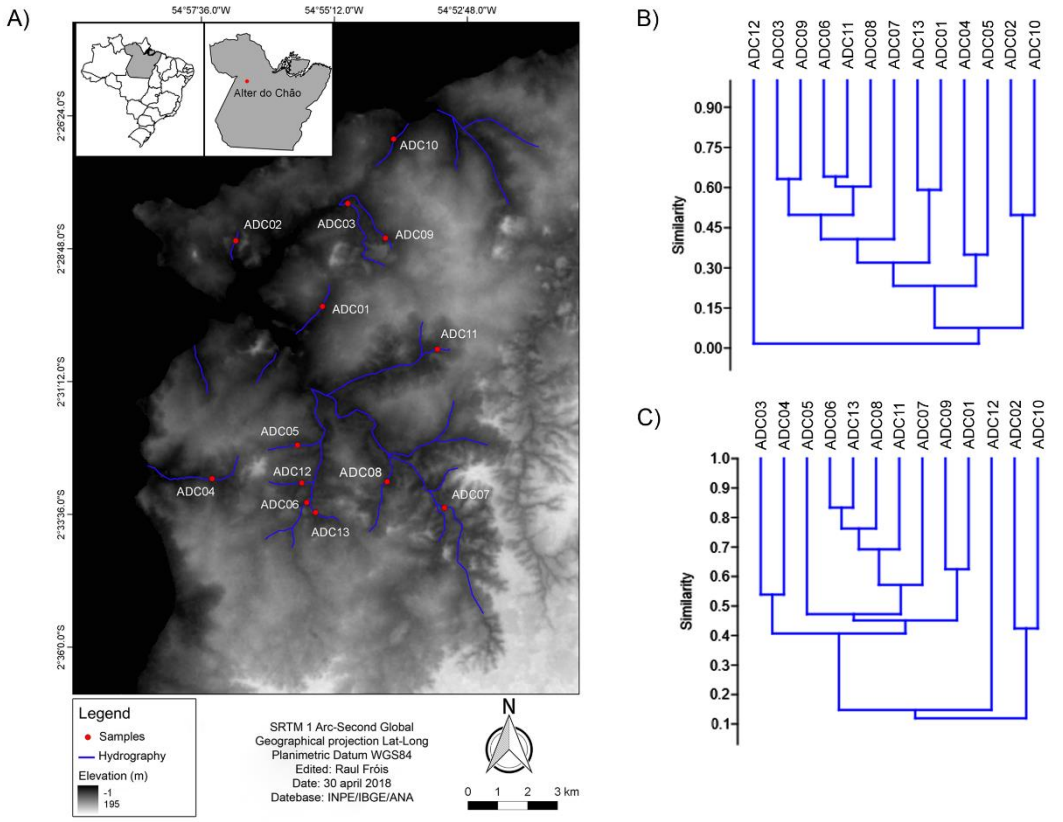

Figure 5. Similarity analysis for fish fauna sampled in streams located in forest fragments into an Amazonian savanna matrix, lower Tapajós river basin. (A) Study area hydrography and elevation map; (B) similarity based on *Bray-Curtis* distance (abundance); (C) based on *Jaccard* distance (presence/absence) (Cophen. corr. 0.92 and 0.96, UPGMA method) for all sampling periods and for all 13 stream samples.

Table 1. Fish species list of small order streams located in forest fragments into an Amazonian savanna matrix, lower Tapajós river basin.

	DATA		
TÁXON	**2006/dry**	**2018/rainy**	**2018/dry**
CHARACIFORMES			
Acestrorhynchidae			
Acestrorhynchus falcirostris (Cuvier 1819)	-	3	-
Heterocharax virgulatus Toledo-Piza 2000	34	-	-
Characidae			
Charax condei (Géry & Knöppel 1976)	34	-	-
Moenkhausia copei (Steidachner 1882)	-	3	
Hemigrammus levis Durbin 1908	-	55	-
Hemigrammus ocellifer (Steindachner 1882)	68	11	130

Hemigrammus stictus (Durbin, 1909)	-	-	3
Hyphessobrycon heterorhabdus (Ulrey 1894)	155	11	180
Hemigrmmus analis Durbin 1909	-	93	8
Crenuchidae			
Crenuchus spilurus Günther 1863	82	58	110
Elachocharax junki (Géry 1971)	8	-	5
Curimatide			
Curimatopsis evelynae Géry 1964	1	8	8
Erythrinidae			
Hoplias malabaricus (Bloch 1794)	4	14	5
Iguanodectidae			
Iguanodectes variatus Géry 1993	306	320	444
Lebiasinidae			
Copella nattereri (Steindachner 1876)	677	303	201
Copella callolepis (Regan 1912)	14	80	476
Nannostomus digrammus (Fowler 1913)	1	35	-
Nannostomus marginatus Eigenmann 1909	25	36	-
Serrasalmidae			
Pygopristis denticulate (Cuvier, 1819)	9	-	-
CICHLIFORMES			
Cichlidae			
Acarichthys heckelii (Müller & Troschel 1849)	-	8	-
Acaronia nassa (Heckel 1840)	-	3	7
Aequidens epae Kullander 1995	63	81	186
Apistogramma gephyra Kullander 1980	35	44	94
Dicrossus maculatus Steindachner 1875	-	-	1
Hypselecara coryphaenoides (Heckel 1840)	4	-	6
Mesonauta festivus (Heckel 1840)	-	2	-
Taeniacara candidi Myers 1935	6	-	2
CYPRINODONTIFORMES			
Cynolebiidae			
Lamosemion dibaphus (Myers 1927)	218	216	294
Poeciliidae			
Fluviphylax simplex Costa 1996	-	3	-
GOBIIFORMES			
Eleotridae			
Microphilypnus ternetzi Myers, 1927	60	-	32
GYMNOTIFORMES			
Gymnotidae			
Gymnotus coropinae Hoedeman 1962	3	2	2
Gymnotus sp.1	1	-	-
Hypopomidae			
Microsternarchus bilineatus Fernández-Yépez 1968	22	30	29
Brachyhypopomus regani Crampton *et al.* 2017	8	10	30
Rhamphichthyidae			
Gymnorhamphichthys rondoni (Miranda Ribeiro 1920)	11	1	10
Hypopygus neblinae Mago-Leccia 1994	11	-	17
PERCIFORMES			
Polycentridae			
Monocirrhus polyacanthus Heckel 1840	-	1	1
SILURIFORMES			

Auchenipteridae			
Trachelyopterichthys taeniatus (Kner, 1858)	2	-	-
Cetopsidae			
Helogenes marmoratus Günther 1863	164	44	99
Doradidae			
Acanthodoras cataphractus (Linnaeus 1858)	1	-	-
Heptapteridae			
Brachyglanis microphthalmus Bizerril 1991	18	-	7
Trichomycteridae			
Potamoglanis hasemani (Eigenmann 1914)	109	6	56
SYNBRANCHIFORMES			
Synbranchidae			
Synbranchus madeirae Rosen & Rumney 1972	2	13	1
TOTAL	2156	1494	2444

Table 2. Fish richness and total abundance from each order of the assemblage, streams located in forest fragments into an Amazonian savanna matrix, lower Tapajós river basin.

Order	Species (%)	Individuals (%)
Characiformes	19 (44.2%)	4018 (65.9%)
Cichliformes	8 (18.6%)	542 (8.9%)
Gymnotiformes	6 (13.6%)	187 (3.1%)
Siluriformes	5 (11.4%)	506 (8.3%)
Cyprinodontiformes	2 (4.5%)	731 (11.9%)
Gobiiformes	1 (2.3%)	92 (1.5%)
Perciformes	1 (2.3%)	2 (0.03%)
Synbranchiformes	1 (2.3%)	16 (0.3%)

Table 3. Fish richness and total abundance from each stream sampled, located in forest fragments into an Amazonian savanna matrix, lower Tapajós river basin.

Station	Remarks	Elevation	Coordinates	Richness (Abundance)
ADC01	Camarão stream flows to the part midewest of LaagoVerde	26 m	2°29'51.79"S 54°55'26.51"W	5 (74)
ADC02	Miritiapena stream flows to the part northern of Lago Verde	36 m	2°28'40.62"S 54°57'0.40"W	19 (768)
ADC03	Macaco stream flows the extremity north of Lago Verde	26 m	2°28'0.23"S 54°54'59.22"W	13 (344)
ADC04	São Luíz estream flow to Lago Pindobal	30 m	2°32'58.63"S 54°57'26.10"W	7 (264)
ADC05	Heitor stream is affluent of the Sonrisal flowing to extremity south of Lago Verde	35 m	2°32'22.20"S 54°55'53.62"W	9 (813)
ADC06	Eugênia stream is affluent of the Sonrisal flowing to extremity south of Lago Verde	35 m	2°33'24.41"S 54°55'43.57"W	11 (616)
ADC07	São Pedro stream is afluente of the Jatuarana flowing to extremity south of Lago Verde	48 m	2°33'30.10"S 54°53'14.24"W	11 (439)
ADC08	São Raimundo stream is aflfuent of the Jatuarana flowing to extremity south of Lago Verde	32 m	2°33'1.94"S 54°54'16.49"W	11 (540)
ADC09	Aurélio stream flows to extremity north of Lago Verde	31 m	2°28'37.74"S 54°54'18.29"W	8 (428)
ADC10	Taparí stream flow to Lago Taparí	18 m	2°26'50.39"S 54°54'9.47"W	29 (888)
ADC11	Areia Branca stream flows to extremity south of Lago Verde	41 m	2°30'38.23"S 54°53'21.98"W	11 (317)
ADC12	Baroca stream is affluent of the Sonrisal flowing to extremity south of Lago Verde	36 m	2°33'3.24"S 54°55'48.94"W	3 (23)
ADC13	Laranjal stream is affluent of the Sonrisal flowing to extremity south of Lago Verde	44 m	2°33'35.17"S 54°55'34.00"W	11 (173)

Capítulo 2

Fróis, R. P. S., et al. 2019. Mudanças ambientais temporais e resistência da fauna de peixes de pequenos igarapés em matriz de savana do baixo rio Tapajós, Amazônia. Manuscrito a ser submetido para o periódico *Hydrobiologia.*

Mudanças ambientais temporais e resistência da fauna de peixes de pequenos igarapés em matriz de savana do baixo rio Tapajós, Amazônia

Raul P. S. Fróis[1], Jansen Zuanon[2], Amanda F. Mortati[1]

[1] Programa de Pós-graduação em Biodiversidade, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém – PA, Brasil.

[2] Coordenação de Biodiversidade, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus - AM, Brasil.

Autor para correspondência: radulfrois@gmail.com

Abstract: We present the results of two samplings in ten first and second order streams conducted during the 2006 and 2018 drought periods to investigate the effects of changing environmental characteristics on the fish taxonomic composition of forest fragments in an Amazonian savanna matrix. on the left bank of the lower Tapajós river. Samples of environmental and fish variables were collected using the standardized effort protocol. The intensity and direction of the temporal change of data sets between 2006 and 2018 were analyzed. Changes in some structural and limnological characteristics of streams between years were detected, showing a decrease in environmental integrity. There was no change in taxonomic composition. Although fish are able to withstand the current environmental degradation level of these streams, there are variations in the total abundance of some species-related changes in specific microhabitats, and changes in the use of streams that intensify water quality loss are likely. entail loss of diversity. Therefore, investigations are needed to quantify this kind of effect and monitor its changes.

Keywords: Neotropical fishes, Resistance, Habitat integrity, Disturbance

Resumo: Apresentamos os resultados de duas amostragens em dez igarapés de primeira e segunda ordem realizadas nos períodos de seca dos anos de 2006 e 2018, para investigar os efeitos na mudança das características ambientais sobre a composição taxonômica dos peixes de fragmentos florestais em uma matriz de savana amazônica na margem esquerda do baixo rio Tapajós. As amostragens das variáveis ambientais e dos peixes foram coletadas utilizando o protocolo de esforço padronizado. Foi analisado a intensidade e a direção da mudança temporal dos conjuntos de dados entre os anos de 2006 e 2018. Foi detectada mudanças em algumas características estruturais e limnológicas dos igarapés entre os anos, apresentando diminuição da integridade

ambiental. Não houve mudança na composição taxonômica. Apesar dos peixes apresentarem uma capacidade de resistência ao atual nível degradação ambiental sobre esses igarapés, existem variações na abundância total de algumas espécies relacionadas alterações de micro-habitats específicos, e é provável mudanças no uso dos igarapés que intensifiquem a perda da qualidade da água podem acarretar perdas de diversidade. Sendo assim, são necessárias investigações que consigam quantificar esse tipo de efeito e monitorar suas mudanças.

Palavras-chave: Peixes neotropicais, Resistência, Integridade do habitat, Perturbação

Introdução

Os peixes são organismos amplamente distribuídos no planeta e compreendem aproximadamente 10% dos vertebrados da Terra (Lundberg et al. 2000). A maior parte dessa diversidade encontra-se sobre a floresta tropical da América. Essa região apresenta uma elevada diversidade alfa, com muitas espécies coexistindo em uma mesma área, e alta diversidade beta com muita substituição de espécies ao longo do sistema (Albert et al. 2011). Os igarapés Amazônicos apresentam uma fauna de peixes altamente especializada e com elevada proporção de espécies raras (Leitão et al. 2016). Essas espécies são sensíveis aos impactos antrópicos, de modo que são observadas respostas aos menores níveis de remoção da floresta ripária, principalmente as espécies com características funcionais ligadas a estruturas alóctones e liteira (Brejão et al. 2018).

A vegetação ripária tem fundamental importância para proteção dos sistemas fluviais, pois impede a erosão e mantem a estabilidade das margens, evita a perda de nutrientes, a entrada de sedimentos e de poluentes, além de manter a qualidade da água (efeito-tampão) e o equilíbrio térmico (Lowrance et al. 1983, Sparovek et al. 2002, Neil et al.

2006). Esta vegetação ainda contribui com entrada de matéria orgânica no sistema, que constituí a base da cadeia trófica aquática (Walker 1995). A entrada de matéria orgânica via vegetação ripária finalmente aumenta a heterogeneidade ambiental ao fornecer mecanismos de retenção do fluxo da água e de sedimentos como troncos, folhas e raízes que inclusive servem como abrigo para a fauna local (Sabino & Zuanon 1998). A remoção da vegetação riparia é descrita como o principal fator de perda da diversidade aquática em igarapés, sendo um importante filtro ambiental que favorece espécies generalistas em função das espécies funcionalmente únicas, podendo prejudicar a integridade de processos ecológicos e por fim causar homogeneização da fauna (Bordignon et al. 2015, Leitão et al. 2017, Brejão et al. 2018).

Apesar disso, a fauna de peixes de igarapés amazônicos demonstra uma capacidade de resiliência a perturbações, apresentando uma tendência a retornar a condições pré-perturbação (Espírito-Santo et al. 2009). Desse modo espera-se que perturbações de curto prazo enfrentadas pela fauna de peixes possam ser equivalentes às alterações nas condições causadas por tempestades diárias (Dias et al. 2010). A escala de tempo da perturbação é um importante fator, considerando que as perturbações discretas e pontuais afetam as abundâncias, entretanto não causam alterações a longo prazo nas características ambientais (Connell & Sousa 1983). Quanto à escala espacial, é importante considerar o tamanho da área para evitar o viés da resposta da persistência das populações ou comunidades às perturbações. Se é usada uma área pequena para avaliar o efeito da perturbação, é improvável que a assembleia seja estável ou persistente, sendo que as extinções locais podem ser frequentes, no entanto, se incorporar esse conjunto a uma área muito maior no tratamento que esteja avaliando a dinâmica na variação de subpopulações a assembleia expressa persistência e possivelmente estabilidade (Connell & Sousa 1983).

A resiliência é um importante atributo das comunidades biológicas para persistir as perturbações naturais e de atividades humanas, sendo assim compreender a magnitude e duração do efeito dessas atividades é extremamente importante para conciliar o manejo e conservação da biodiversidade.

Analisamos as mudanças nas características ambientais e da fauna de peixes de igarapés ao longo de 12 anos (2006-2018) e testamos se as mudanças observadas podem gerar mudanças na composição taxonômica de peixes de igarapés de pequena ordem inseridos nos fragmentos florestais em uma matriz de savana do baixo rio Tapajós. Perguntamos se (a) a composição taxonômica teve mudança entre os anos de 2006 para 2018? (b) as mudanças na assembleia de peixes tiveram relação com a mudança ambiental acumulada? Hipostenizamos que as mudanças nas características ambientais acumuladas entre os anos estejam causando simplificação na fauna (i.e. redução da diversidade beta).

Material e Métodos

1. Área de estudo

Este estudo foi desenvolvido na margem direita do baixo rio Tapajós, em uma área formada por fragmentos florestais isolados em uma matriz de savana amazônica e floresta contínua (Amaral et al. 2017), situada entre a cidade de Santarém, no distrito de Alter do Chão, estado do Pará, Brasil (Figura 1). A topografia é pouco variável e os sistemas de drenagem fluem para o Lago Verde e outros pequenos lagos ao longo do baixo rio Tapajós. As nascentes estão situadas tanto na floresta contínua como no sistema de fragmentos florestais em matriz de savana. A fitofisionomia de floresta semidecidual (IBGE 2012) apresenta duas famílias mais diversas: Fabaceae e Myrtaceae, contribuindo com pouco mais da metade das 475 espécies registradas para

região (Amaral et al. 2017). A matriz de savana é dominada por duas espécies de gramíneas e a vegetação arbustiva é constituída principalmente por Myrtaceae e Melastomatacea (Magnusson et al. 2008) com estrato arbóreo formado principalmente por árvores de pequeno a médio porte, com troncos tortuosos, casca grossa e folhas coriáceas (Miranda et al 1993). O clima é do tipo Am, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por ser quente e úmido com duas estações climáticas, um período com baixa pluviosidade (<100 mm) que se estende de junho a novembro, e uma com maior precipitação (>100 mm) se estendendo do mês de dezembro até junho (amplitude 125-346 mm), precipitação anual de 1991 mm, e temperatura de média de 25,9 ºC (variando 1,8 °C) (Climate-data.org 2019).

Após a pavimentação da rodovia (PA-457) o acesso a estes igarapés foi facilitado e seu uso intensificado com o adensamento populacional. Os moradores locais construíram diversas piscinas artificiais ao longo de um mesmo igarapé. Esse procedimento é feito com a remoção da vegetação ciliar da área delimitada e feita a obstrução a jusante que causam alargamento do canal e consequentemente se transformam em condições lênticas nesses trechos, em que constantemente tem seu fundo limpo pelos moradores que removem as folhas e galhos que se acumulam e depositam a jusante. Essas piscinas até o presente apresentam apenas uso restrito aos proprietários, o uso comercial é feito nos igarapés de ordens maiores da mesma microbacia.

2. Delineamento amostral

Foram amostrados dez riachos de primeira e segunda ordens, distribuídos tanto na área de floresta contínua como em fragmentos florestais em matriz de savana. A coleta de dados foi realizada em dois períodos: outubro de 2006 (precipitação mensal de 49,9

mm) e outubro de 2018 (precipitação mensal de 0 mm). A área de estudo apresenta uma drenagem pobre em termos de ramificações primárias (Figura S1).

Cada unidade amostral é constituída por um trecho de 50 metros do canal do riacho. Todas as amostragens foram realizadas nos mesmos trechos dos dez riachos em 2006 e 2018 de forma padronizada, seguindo o protocolo de esforço padronizado descrito por Mendonça et al. (2005). A delimitação do início do trecho de 50 metros foi distante dez metros acima da presença de estradas e pontes, e não foram conduzidas coletas quando choveu no dia anterior, devido ao efeito das alterações nas condições dos riachos. As características físico-químicas da água e estruturais dos igarapés foram coletadas antes da coleta de peixes, com a finalidade de não interferir na amostragem de substrato e das características do canal.

Em 2006, as piscinas artificiais eram inexistentes nos dez igarapés utilizados na amostragem, e caso alguma existisse não foi possível serem detectados, provavelmente por estarem distantes do trecho (comunicação pessoal Zuanon, J.). Dos dez igarapés amostrados, apenas um ainda não tem presença de piscinas, devido provavelmente à dificuldade de acesso (ADC 02). A presença das piscinas ocorre tanto a montante, quanto dentro do trecho e a jusante, quase sempre em um mesmo igarapé.

Para podermos testar se as mudanças ambientais em diferentes escalas espaciais da zona ripária causam alterações na comunidade de peixes dos riachos amostrados, foram acessadas variáveis da vegetação ripária, do canal e do substrato.

2.1. Zona Ripária

No mesmo trecho avaliamos as características globais do habitat na escala da zona ripária, que compreende toda a interface aquático-terrestre, através de um Índice de Integridade do Hábitat - IIH (Nessimian et al. 2008). O IIH consiste em 12 questões para serem respondidas em campo, para as quais se atribui uma pontuação conforme as

condições observadas, onde valores mais altos indicam condições mais preservadas. Estas características reúnem informações do canal e além da zona ripária, como largura da zona ripária, padrões de uso da terra, mecanismos de retenção e vegetação aquática, por exemplo (Anexo 1).

2.2. Canal

As características estruturais foram coletadas em quatro transecções transversais espaçadas a cada 16 metros no trecho de 50 m. Na coluna d'água foi estimada a velocidade da corrente com um fluxômetro mecânico (LUNUS; modelo: 2030BR) posicionado no centro do canal por 1 minuto. A largura foi medida nas quatro transecções bem como a profundidade em nove sondagens equidistantes, registrando o tipo de substrato que esteve presente em cada uma, que foram classificados nas categorias: liteira (folhas e pequenos galhos), liteira fina (matéria orgânica particulada fina), tronco (madeira com diâmetro > 10 cm), raiz (raízes da vegetação ripária), areia, argila, seixo, rocha, algas filamentosas, macrófitas e sedimento ferruginoso. A vazão foi calculada a partir do produto entre a velocidade média da corrente e a área transeccional média do canal (média da área para as quatro transecções), conforme proposto por Mendonça et al. (2005).

2.3. Variáveis físico-químicas

As características físico-químicas foram coletadas em dois pontos, no início (jusante) e no fim (montante) do trecho de 50 m, no centro do canal e na camada subsuperficial da água. Usamos um medidor multiparamétrico (AKSO modelo: AK87) para medir o teor de oxigênio dissolvido, temperatura, pH e condutividade elétrica.

2.4. Amostragem da fauna

Para a coleta dos peixes, os trechos de 50 metros foram isolados com redes de bloqueio (malha de dimensões de 5 mm entre nós) para evitar a fuga dos peixes. Duas pessoas

coletaram os peixes dentro da área buscando acessar todos os micro-habitats possíveis com a utilização de puçás e redes de fundo, por um total de 120 minutos ou até não ser mais possível detectar movimentação dos peixes dentro do trecho. Os espécimes coletados foram eutanasiados com Eugenol, fixados em formalina a 10%, levados ao laboratório para triagem, preservação em etanol a 70% e a identificação foi feita com uso de chaves taxonômicas (Géry 1977, Vari 1982, Kullander 1986) e ajuda de especialistas. Os espécimes testemunho foram depositados na coleção ictiológica do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Brasil.

3. Análise dos dados

Para reduzir a dimensionalidade das características ambientais dos riachos foi usada uma Análise de Componentes Principais (PCA). Foram feitas ordenações considerando os dados de 2006 e 2018 juntos, no entanto, avaliando três conjuntos de dados separadamente: composição de substrato, características físico-químicas e variáveis estruturais do canal. Para verificar se houve diferença entre os conjuntos de dados referentes às características ambientais de cada ano amostrado, foram usados testes t pareados para o primeiro e o segundo componentes de cada ordenação.

Para reduzir a dimensionalidade da estrutura das assembleias de peixes foi usada uma Análise de Coordenadas Principais (PCoA). A partir dos dados de abundâncias padronizadas foi gerada uma matriz de similaridade transformada pela função *vegdist* do pacote *Vegan* (Oksanen et al. 2017), adotando o índice de similaridade de *Bray-Curtis*. Para testar se houve mudança na estrutura das assembleias entre os dois períodos amostrados foi usado o teste t pareado para o primeiro e o segundo eixos da ordenação.

Para testar a relação entre a estrutura das assembleias de peixes em função das características ambientais foram utilizados modelos lineares. Como variáveis explicativas foram utilizados os mesmos conjuntos das PCAs: qualidade da água,

estrutura do canal e composição do substrato. Cada variável inserida nos modelos lineares é a diferença entre os dois anos amostrados (2006 e 2018), calculada a partir da distância euclidiana no espaço multidimensional entre os *scores* dos dois primeiros eixos de cada ordenação.

Nas relações significativas dos testes inferenciais, os *loadings* foram conferidos para selecionar as variáveis que mais contribuíram para a formação do eixo (cargas maiores ou iguais a 0,5), e os dados originais foram usados para interpretações mais acuradas dos resultados. Todas as análises foram desenvolvidas no software livre estatístico R Core Team (2018).

Resultados

Características gerais dos locais de coleta

Os igarapés amostrados apresentaram-se geralmente estreitos e rasos. A maior parte do substrato de fundo na primeira amostragem foi constituída por areia (27,96%), liteira (25,83%) e raiz (23,70%), já na segunda amostragem houve maior predominância de liteira (31,94%), liteira fina (23,06%) e areia (17,22%) (Tabela 1). As águas são ácidas, com baixa concentração de íons, moderados teores de oxigênio dissolvido e vazão baixa, exceto em um sítio (ADC 07). A temperatura oscilou entre 25,2 e 29,4 °C. A apenas quatro igarapés foram identificados como íntegros através do IIH, outros seis igarapés apresentaram valores menores que 75% (Tabela 1).

Características físico-químicas da água

Houve mudança nas características da água entre 2006 e 2018, relacionada principalmente a com o aumento na temperatura na maior parte dos sítios, assim como para o oxigênio dissolvido. Os dois primeiros componentes principais da PCA capturaram 63,9% da variação dos dados originais. Não houve alterações entre as condições físico-químicas da água relacionadas ao PC1 (t-pareado = 1,19; gl = 9; p =

0,26), mas sim ao PC2 (t-pareado = 3,77; gl = 9; p < 0,01), sendo as variáveis que mais contribuíram para formação desse eixo foram temperatura e oxigênio dissolvido (Figura 2 e Tabela S2).

Características estruturais do canal

Houve alteração na estrutura dos canais entre os anos decorrente principalmente do aumento na largura e da perda da velocidade da água (Figura 3). Os dois primeiros componentes principais da PCA capturaram 83,7% da variação dos dados originais. As características da estrutura dos riachos não apresentaram mudanças relacionadas ao PC1 (t-pareado = - 0,81; gl = 9; p = 0,44), mas sim ao PC2 (t-pareado = - 0,86; gl = 9; p < 0.001) (Figura 3 e Tabela S3).

Composição do substrato

A composição do substrato de fundo dos igarapés sofreu mudanças de 2006 para 2018, apresentando diminuição na proporção de areia. Os dois primeiros componentes principais da PCA capturaram 36,9% da variação dos dados originais. A composição do substrato apresentou mudança entre os anos de 2006 e para 2018 relacionadas ao PC1 (t-pareado = 3,60; gl = 9; p < 0,01), mas não ao PC2 (t-pareado = - 1,76; gl= 9; p = 0,11) (Figura 4 e Tabela S4).

Composição da ictiofauna

Foi coletado um total de 4127 espécimes distribuídos em a 37 espécies, oito ordens e 21 famílias. Na primeira amostragem em 2006, foram registradas 32 espécies, e na segunda amostragem um total de 28 espécies, sendo que 23 espécies foram registradas em ambas as amostragens (Tabelas S5 e S6).

Os valores de riqueza e abundância de espécies nos igarapés entre os anos de 2006 e 2018 não apresentaram diferenças (t-pareado = - 0,69; gl = 9; p = 0,50 e t-pareado = - 0,16; gl = 9; p = 0,87, respectivamente). Não houve diferença na abundância das

espécies entre as amostragens, exceto para *Aequidens epae*, *Copella callolepis* e *Apistogramma gephyra* que demonstraram aumento no número de indivíduos, e *Helogenes marmoratus, C. nattereri* que apresentaram diminuição.

Não houve mudança na composição da ictiofauna (Tabela S5). Os dois primeiros eixos da ordenação (PCoA) capturaram 33% da variação para dados de abundância. Todos os igarapés apresentaram baixa intensidade de mudanças não direcionais e sem um padrão claro (Figura 5). A composição da ictiofauna não diferiu entre os anos, tanto em relação ao primeiro eixo (t-pareado = - 0,61; gl = 9; p = 0,55) quanto ao segundo eixo (t-pareado = - 0,67; gl = 9; p = 0,52).

As espécies que foram relacionadas positivamente e mais contribuíram para a formação do primeiro eixo foram *Copella nattereri*, *Microphilypnus ternetzi*, *Hypopygus neblinae*, *Hypselacara coryphaenioides, Potamoglanis hasemani*, *Taeniacara candidi* e *Apistograma gephyra*. As espécies que mais contribuíram para a formação do segundo eixo, sendo a que esteve positivamente relacionada foi *Hyphessobrycon heterorabdus*, e as relacionadas negativamente com o eixo foram *Laimosemion dibaphus* e *Helogenes marmoratus* (Tabela S7).

Características ambientais e composição taxonômica

A composição da ictiofauna não varia de acordo com as mudanças ambientais observadas nos igarapés entre os anos de 2006 e 2018 (Tabela 3).

Discussão

Os igarapés localizados na drenagem do baixo rio Tapajós e que percorrem uma paisagem complexa formada por fragmentos florestais em uma matriz de savana mudaram ao longo do tempo. Houve perda na qualidade da água e mudanças na estrutura dos canais que apontam para uma redução na integridade ambiental desses ecossistemas aquáticos. Contudo, a composição taxonômica da fauna se manteve entre

os anos de 2006 e 2018, indicando que este componente biológico apresenta resistência na escala da comunidade para as mudanças registradas.

A ação antrópica gera mudanças na paisagem ripária que são capazes de promover alterações internas ao componente aquático (Bleich et al. 2014). A tendência ao aumento na temperatura da água observada nos igarapés aqui acessados pode estar relacionada com a intensidade da atividade humana no local, causando remoção da vegetação ripária natural em trechos ao longo dos igarapés e próximos às margens, diminuindo a proteção do canal e afetando o equilíbrio térmico.

Além da temperatura, o oxigênio dissolvido também sofreu alterações entre os anos. Há um padrão discreto de aumento do OD (~0,67 mg/L) em oito sítios amostrados, e diminuição nos outros dois (<0,25 mg/L). O aumento na concentração de OD na água não é esperado visto que o processo de degradação ambiental através da remoção da vegetação ripária causa redução na concentração deste gás (Bleich et al. 2014). Entretanto, este padrão pode estar associado à presença das piscinas artificiais construídas ao longo do canal dos igarapés estudados. A construção das piscinas artificiais cria em uma de suas extremidades um estreitamento das margens formando um vertedouro, que causa aeração da água que sai da piscina. O resultado deste processo repetidas vezes ao longo do canal pode estar compensando as perdas de OD que deveriam ocorrer em função do processo de assoreamento dos canais. Outro fator que pode explicar o aumento de OD é o aumento da produtividade primária de algas a partir do aumento da incidência solar sobre o canal (Bleich et al. 2015), acarretando maior produção de oxigênio fotossintético e produzindo uma exportação líquida capaz de aumentar a concentração na água (Marzolf et al. 1994). Igarapés com incisões na drenagem também podem apresentar aumento nas concentrações de clorofila e oxigênio

dissolvido relacionados aos processos de fotossíntese em função da maior entrada de luz (Shields Jr. et al. 2010).

A construção de piscinas artificiais detectadas entre os anos de 2006 e 2018 causaram alterações na morfologia dos canais, e são provavelmente os maiores responsáveis pelo aumento na largura dos igarapés e diminuição na velocidade da água. Tais alterações podem causar a perda da capacidade de carrear os detritos grosseiros (principalmente folhas e galhos) para jusante, sendo estes depositados no fundo do canal, e finalmente provocar mudanças direcionais na composição dos substratos de fundo (Leitão et al. 2017, Leal et al. 2018), como a diminuição na proporção de areia registrada entre os anos estudados. A alteração na complexidade do fundo dos igarapés é relatada como promotora de fortes efeitos sobre as assembleias de peixes de igarapés tropicais (Leitão et al. 2017, Brejão et al. 2018). O bagre *Helogenes marmoratus* demonstrou expressiva diminuição na abundância nos igarapés. Essa espécie é especializada em uso de micro-habitat com alta corrente e oxigenação formado por bancos de folhas que utilizam como abrigo e local de forageamento (Carvalho et al. 2013). Apesar da proporção de liteira ter aumentado entre os anos, o aumento da largura do canal e diminuição da velocidade da corrente dos igarapés causam deposição de sedimento orgânico particulado fino e afetam a estrutura dos bancos de folhas e consequentemente levam a perda do habitat para esta espécie, já apontada anteriormente como vulnerável ao desmatamento (Ilha et al. 2019).

O conjunto da fauna de peixes acessado aqui apresenta resistência frente a intensidade das perturbações registradas, não sendo observadas mudanças significativas para a composição taxonômica. A comunidade de peixes de igarapés de floretas terra-firme também apresenta esta capacidade de resiliência, inclusive para efeitos temporais de sazonalidade (Espírito-Santo et al. 2009), e é resistente a perturbações a curto prazo

(Dias et al. 2010). Contudo, algumas alterações sutis nas assembleias foram perceptíveis, sendo relacionadas com a abundância total de algumas espécies entre os anos e em função de especificidades na estrutura dos canais. Os igarapés que percorrem fragmentos florestais circundados pela matriz de savana podem ser mais suscetíveis a processos de assoreamento do canal em decorrência da entrada de areia. A estrutura das margens desses igarapés é instável sendo facilmente perturbadas, e em alguns sítios degradados, os canais são corrigidos. Para esse conjunto de igarapés foi registrada uma espécie de peixe lápis (*C. nattereri*) que era dominante em 2006 (47,5%) e apresentou decréscimo na abundância total (28,1%) em 2018.

Nesses ambientes que apresentam diminuição da profundidade do canal em decorrência do processo de assoreamento, tem um redução na capacidade de ocupação da coluna d'água e a estratificação vertical é perdida, bem como o aumento quantidade da entrada de sedimentos finos causam estresse fisiológico, sufocamento dos ovos e larvas, e mudanças e restrições de atividades alimentares dos peixes (Berkmen & Rabeni 1987, Rabeni & Smale 1995, Casatti 2004). Assim, grupos de espécies mais sensíveis e com características funcionais específicas, associadas a estruturas alóctones e liteira podem ser afetados negativamente mesmo para baixos níveis de desmatamento (<20%), com resposta logo após o impacto para igarapés de floresta de terra firme na Amazônia central (Brejão et al. 2018).

Em contraste, algumas espécies tiveram aumento na abundância. *Copella callolepis* passou de ausente em 2006 para dominante em 2018, e *Aequidens epae* e *Apistogramma gephyra* duplicaram a abundância em 2018. Essas duas últimas espécies são omnívoras e de ambientes lênticos, usando geralmente as áreas marginais do canal. É provável que algumas espécies estejam experimentando o limiar da resistência às perturbações, enquanto outras sejam favorecidas com a presença das piscinas artificiais nos igarapés

estudados (Calderon & An 2016). No entanto, essa hipótese permanece para ser avaliada experimentalmente em estudos futuros sobre a dinâmica dessas populações.

Apesar dos peixes apresentarem uma capacidade de resistência ao atual nível de degradação ambiental sobre esses igarapés, existem variações na abundância total de algumas espécies relacionadas alterações de micro-habitats específicos, e é provável mudanças no uso dos igarapés que intensifiquem a perda da qualidade da água é provável que podem acarretar perdas de diversidade. Sendo assim, são necessárias investigações que consigam quantificar esse tipo de efeito e monitorar suas mudanças.

Agradecimentos

Agradecemos ao Portal de Periódicos CAPES/MEC pelo acesso grátis a literatura. A Equipe do Projeto Igarapés e aos alunos de iniciação científica do projeto Igarapés Urbanos de Santarém pela ajuda nas coletas de campo.

Financiamentos

Essa pesquisa teve financiamento individual de bolsa de estudo fornecido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Brasil (CAPES) e Programa Nacional de Cooperação Acadêmica na Amazônia (PROCAD-AM/CAPES, edital Nº 21/2018, processo Nº 88887.200472/2018-00) para visita técnica na coleção de peixes do INPA, e para o suporte com material e logística o Conselho Nacional de Pesquisas do Brasil (CNPq, edital MCTI/CNPQ/Universal 14/2014 CNPq, Processo Nº 458297/2014-3).

Referências

Albert, J. S., T. Carvalho, P. Petry, M. A. Holder, E. Maxime, J. Espino, I. Corahua, R. Quispe, B. Rengifo, H. Ortega & R. E. Reis. 2011. Aquatic biodiversity in the Amazon: habitat specialization and geographic isolation promote species richness. Animals 1: 205-241.

Amaral, I. L., W. E. Magnusson, F. D. A. Matos, A. N. K. Albernaz, Y. O. Feitosa & J. L. Guillaument, 2017. Disentangling structural patterns of natural forest fragments in a savanna matrix in the eastern Brazilian Amazon. Acta Amazonica 47(2): 111-122.

Bleich M. E., A. F. Mortati, T. André & M. T. F. Piedade, 2014. Riparian deforestation affects the structural dynamics of headwater streams in Southern Brazilian Amazonia. Tropical Conservation Science 7(4): 657-676.

Bleich, M. E., M. T. F. Piedade, A. F. Mortati & T. André, 2015. Autochthonous primary production in southern Amazon headwater streams: novel indicators of altered environmental integrity. Ecol. Indic. 53: 154-161.

Bordignon, C. R., L. Casatti, M. A. Pérez-Mayorga, F. B. Teresa & G. L. Brejão, 2015. Fish complementarity is associated to forests in Amazonian streams. Neotrop. Ichthyol. 13: 579–590.

Brejão, G. L., D. J. Hoeinghaus, M. A. Pérez-Mayorga, S. F. B. Ferraz & L. Casatti, 2018. Threshold responses of Amazonian stream fishes to timing and extent of deforestation. Conserv. Biol. 32(4):860-71.

Calderon, M. S. & K. G. An, 2016. An influence of mesohabitat structures (pool, riffle, and run) and land-use pattern on the index of biological integrity in the Geum River watershed. Journal of Ecology and Environment 40(1): 13.

Carvalho, L. N., L. Fidélis, R. Arruda, A. Galuch & J. Zuanon, 2013. Second floor, please: the fish fauna of floating litter banks in Amazonian streams and rivers. Neotropical Ichthyology 11(1): 85-94.

Casatti, L., 2004. Ichthyofauna of two streams (silted and reference) in the upper Paraná River basin, Southeastern Brazil. Braz. J. Biol. 64(4): 757-765.

CLIMATE DATA.ORG. Clima de Alter do Chão. http://climate-data.org/location/317494. Acessado: 20 de maço de 2019.

Connell, J. H. & W. P. Sousa, 1983. On the evidence needed to judge ecological stability or persistence. Am. Nat. 121: 789–824.

Dias, M. S., W. E. Magnusson & J. Zuanon, 2010. Effects of reduced-impact logging on fish assemblages in Central Amazonia. Conserv Biol 24:278–286.

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.

Géry, J., 1977. Characoids of the world. T.F.H. Publications. Inc. Ltd. Neptune City, New Jersey, 672 pp.

Ilha, P., S. Rosso & L. Schiesari, 2018. Effects of deforestation on headwater stream fish assemblages in the Upper Xingu River Basin, Southeastern Amazonia. Neotrop. ichthyol. 17(1): e180099.

Jones, E. B. D., G. S. Helfman, J. O. Harper & P. V. Bolstad, 1999. Effects of riparian forest removal on fish assemblages in southern Appalachian streams. Conservation Biology 13:1454– 1465.

Kullander, S. O., 1986. The cichlid fishes of the Amazon river drainage of Peru. Swedish Museum of Natural History, Stockholm, 431p.

Leal, C. G., J. Barlow, T. A. Gardner, R. M. Hughes, R. P. Leitão, R. M. Nally, P. R. Kaufmann, S. F. B. Ferraz, J. Zuanon, F. R. de Paula, J. Ferreira, J. R. Thomson, G. D. Lennox, E. P. Dary, C. P. Röpke & P. S. Pompeu, 2018. Is environmental legislation conserving tropical stream faunas? A large-scale assessment of local, riparian and catchment-scale influences on Amazonian. fish. J Appl Ecol. 55(3): 1312-26.

Leitão, R. P., J. Zuanon, D. Kasper, P. R. Kaufmann, T. A. Gardner, S. Villéger, P. S. Pompeu, D. Kasper, F. R. de Paula, S. F. B. Ferraz & T. A. Gardner, 2017. Disentangling the pathways of land use impacts on the functional structure of fish assemblages in Amazon streams. Ecography 41: 219–232.

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.

Lowrance, R. R., R. L. Todd & L. E. Asmussen, 1983. Waterborne nutrient budgets for the riparian zone of an agricultural watershed. Agriculture Ecosystems and Environment 10: 371-384.

Lundberg, J. G., M. Kottelat, G. R. Smith, M. L. J. Stiassny, & A. C. Gill, 2000. So many fishes, so little time: An overview of recent ichthyological discovery in continental waters. Ann. Mo. Bot. Gard. 87: 26-62.

Magnusson, W. E., A. P. Lima, A. L. K. M. Albernaz, T. M. Sanaiotti & J. L. Guillaument, 2008. Composição florística e cobertura vegetal das savanas na região de Alter do Chão, Santarém - PA. Revista Brasileira de Botânica 31(1): 165-177.

Marzolf, E. R., P. J. Mulholland & A. D. Steinman, 1994. Improvements to the Diurnal Upstream–Downstream Dissolved Oxygen Change Technique for Determining Whole-Stream Metabolism in Small Streams. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 51(7): 1591-1599.

Mendonça, F. P., W. E. Magnusson & J. Zuanon, 2005. Relationships Between Habitat Characteristics and Fish Assemblages in Small Streams of Central Amazônia. Copeia 4: 750–763.

Miranda, I. S., 1993. Estrutura do estrato arbóreo do cerrado amazônico em Alter do Chão, Pará, Brasil. Revista Brasileira de Botânica 16: 143-150.

Neill, C., H. Elsenbeer, A. V. Krusche, J. Lehmann, D. Markewitz & R. O. Figueiredo, 2006. Hydrological and biogeochemical processes in a changing Amazon: results from small watershed studies and the large-scale biosphere-atmosphere experiment. Hydrological Processes 20: 2467-2476.

Nessimian, J. L., E. M. Venticinque, J. Zuanon, P. De Marco-Jr., M. Gordo, L. Fidelis, J. D. Batista & L. Juen, 2008. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. Hydrobiologia 614(1):117-131.

Oksanen, J., R. Kindt, P. Legendre, R. B. O'Hara & M. H. H. Stevens, 2011. Vegan: Community Ecology Package. R Package Version 2.5–2. http://cran.r-project.org.

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Rabeni, C. F. & M. A. Smale, 1987. Effect of siltation on stream fish communities. Environmental Biology of Fishes 18(4): 285-294.

Rabeni, C. F. & M. A. Smale, 1995, Effects on siltation on stream fishes and the potential mitigating role of the buffering riparian zone. Hydrobiol. 303: 211-219.

Sabino, J. & J Zuanon, 1998. A stream fish assemblage in Central Amazonia: distribution, activity patterns and feeding behavior. Ichthyological Exploration of Freshwaters 83: 201210.

Shields Jr., F. D., R. E. Lizotte Jr., S. S. Knight, C. M. Cooper & D. Wilcox, 2010. The stream channel incision syndrome and water quality. Ecol. Eng. 36: 78-90

Sparovek, G., S. B. L. Ranieri, A. Gassner, I. C. De Maria, E. Schnug, R. F. Santos & A Joubert, 2002. A conceptual framework for definition of the optimal width of riparian forests. Agriculture Ecosystems and Environment 90: 169–175.

Vari, R. P., 1982. Systematics of the neotropical characoid genus Curimatopsis (Pisces: Characoidei). Smithsonian Contributions to Zoology 373 (1-3): 1-28.

Walker, I., 1995. Amazonian streams and small rivers. In: Tundisi, J. G., C. E. M. Bicudo & T. M. Tundisi (eds) Limnology in Brazil. Rio de Janeiro: Brazilian Academy of Sciences. Pp. 167–193.

Figuras

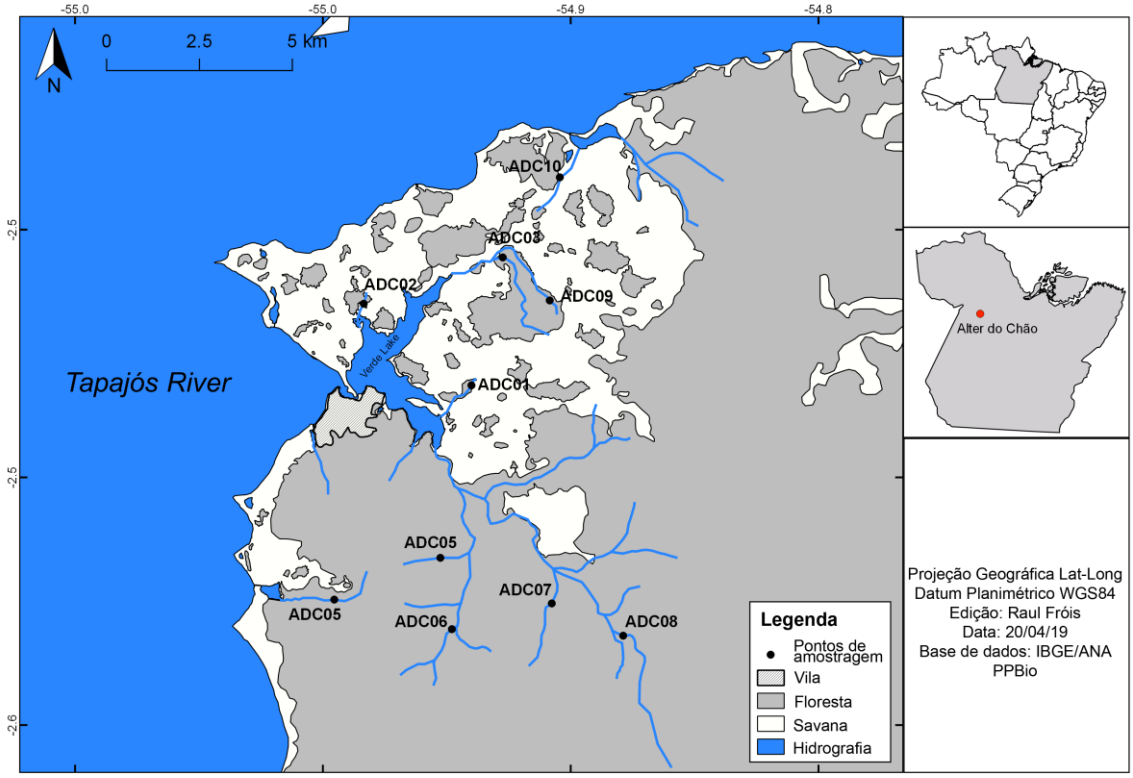

Figura 1. Mapa da área de estudo com os 10 sítios de amostragem usados para a coleta dos dados nos igarapés de fragmentos florestais em uma matriz de savana amazônica localizada no baixo rio Tapajós (ADC é o código para Alter do Chão – nome do distrito).

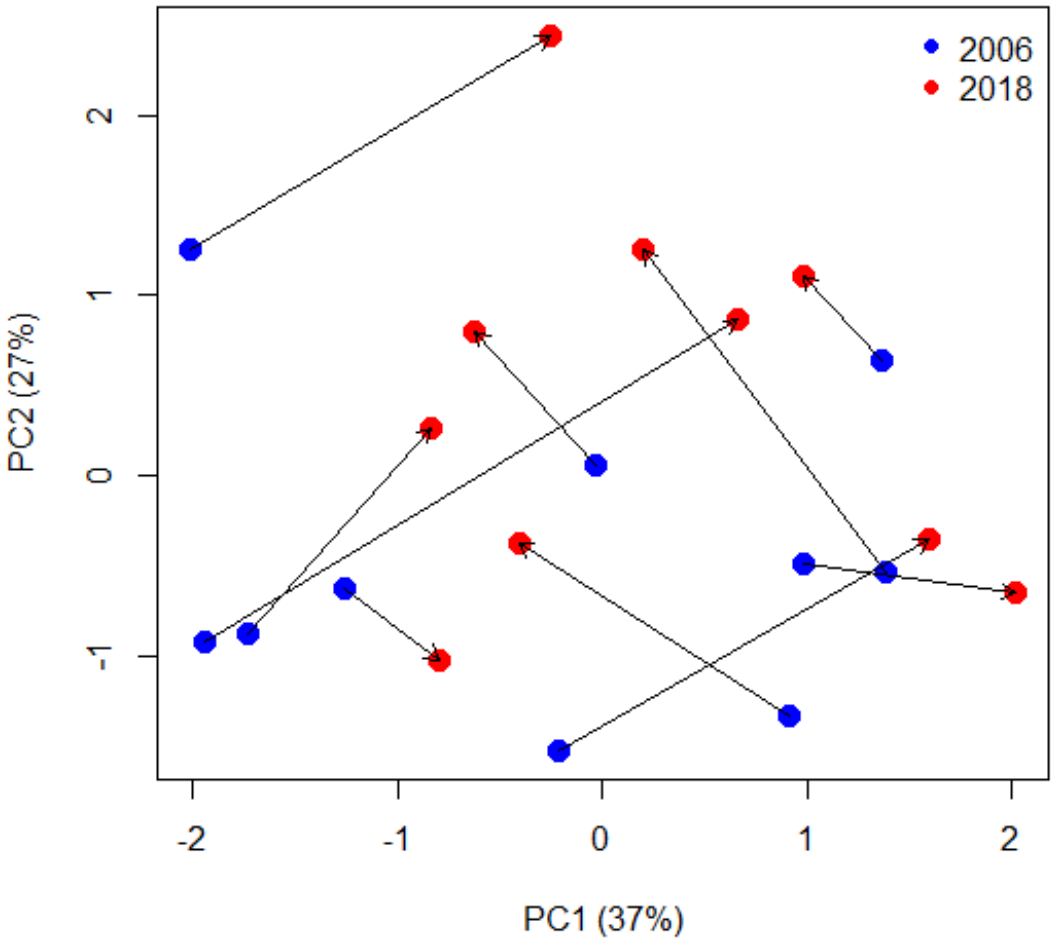

Figura 2. Ordenação da mudança na das características físico-químicas da água para as duas amostragens (2006, pontos azuis; 2018, pontos vermelhos).

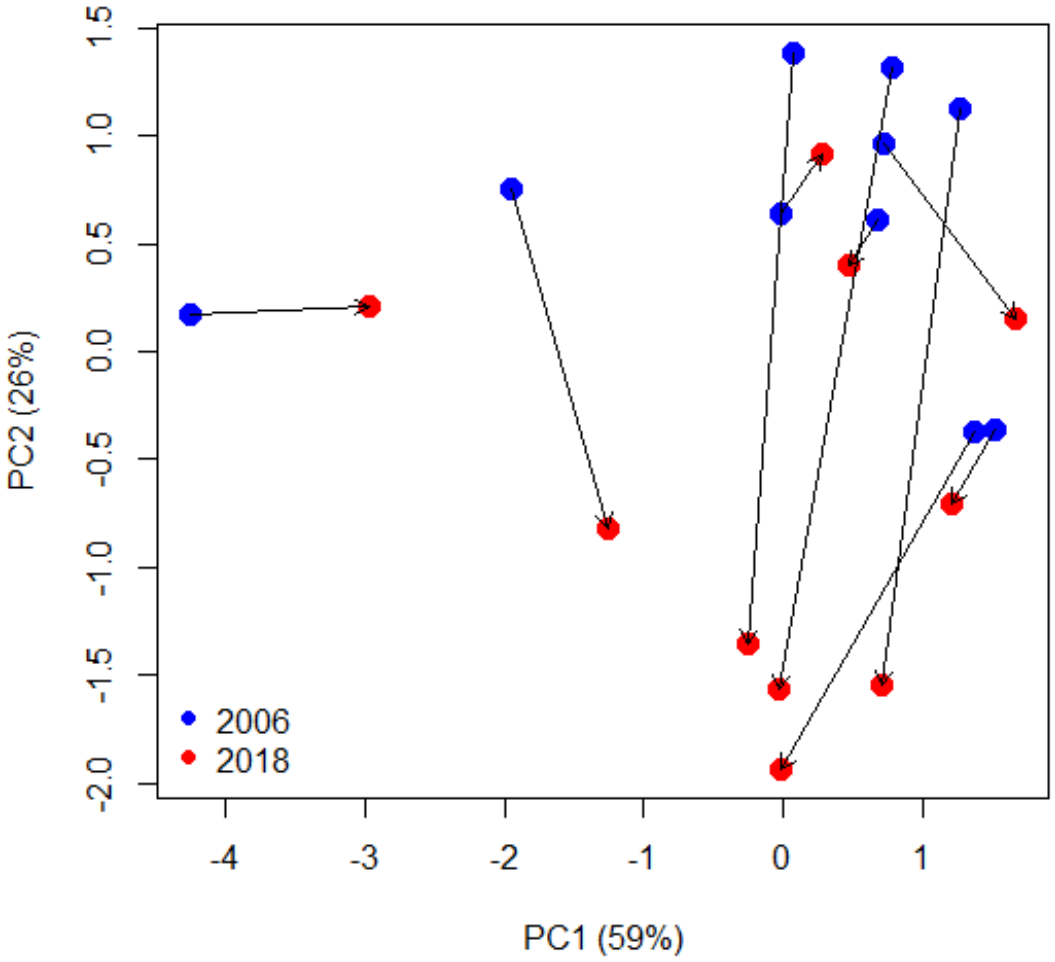

Figura 3. Ordenação da mudança na das características estruturais do canal para as duas amostragens (2006, pontos azuis; 2018, pontos vermelhos).

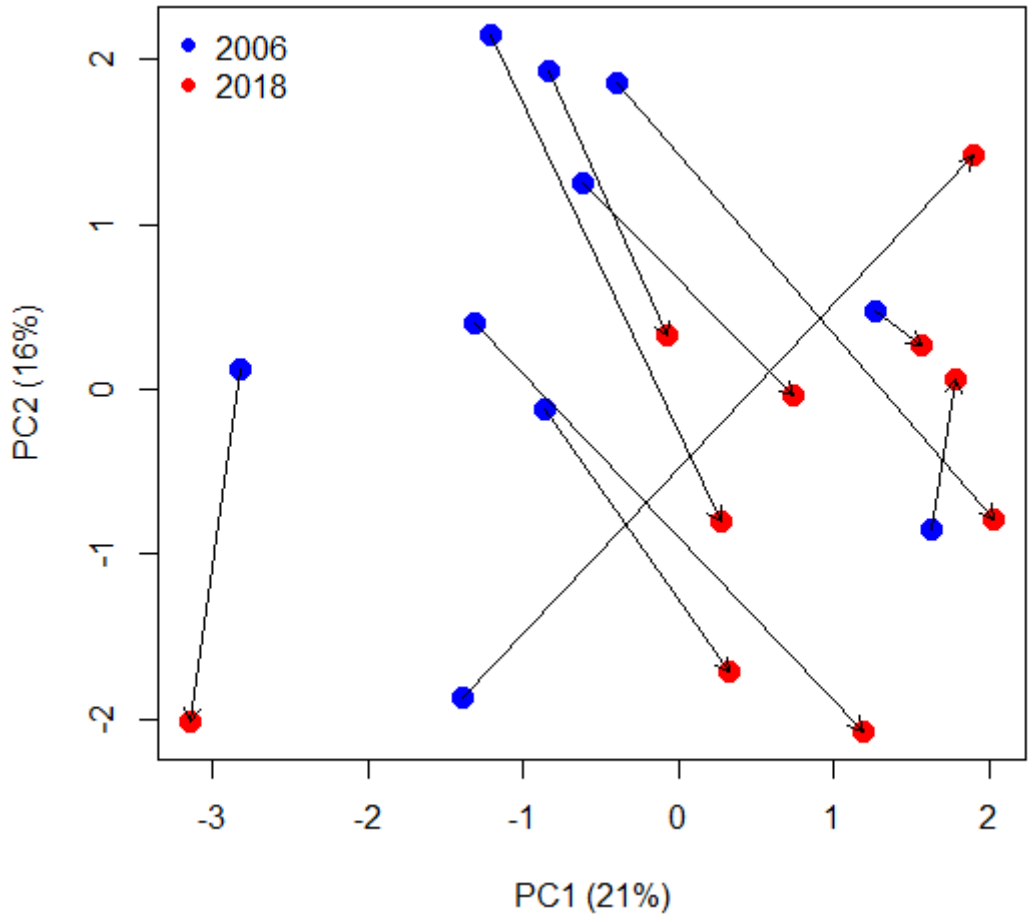

Figura 4. Ordenação da mudança na composição do substrato para as duas amostragens (2006, pontos azuis; 2018, pontos vermelhos).

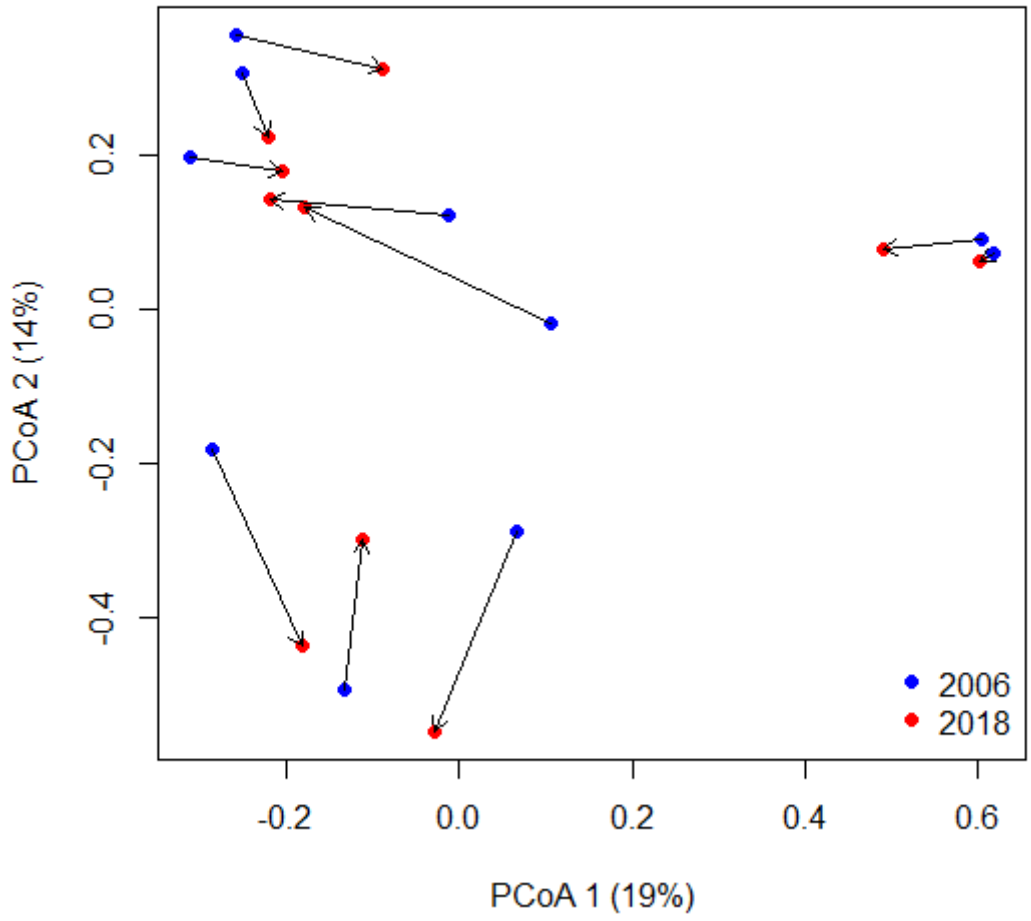

Figura 5. Ordenação das trajetórias das mudanças na composição taxonômica da assembleia para as duas amostragens (2006, pontos azuis; 2018, pontos vermelhos).

Tabelas

Tabela 1. Valores médios (amplitude) das características ambientais dos riachos para as duas amostragens.

Variáveis ambientais	Média (amplitude)	
	Dados 2006	Dados 2018
Físico-químico		
pH	4,53 (3,91-5,24)	4,42 (3,5-5,3)
Temperatura (°C)	27,38 (26,1-29,4)	27,73 (25,2-29,4)
Oxigênio dissolvido (mg/L)	4,01 (2,94-5,53)	4,52 (3-6,5)
Condutividade elétrica (µS/cm-^{1})	21,65 (10,4-46,4)	11,48 (6,4-19,2)
Estrutural		
Largura (m)	2,25 (1,28-4,28)	2,72 (1,53-4,08)
Profundidade (m)	0,29 (0,15-0,58)	0,37 (0,14-0,79)
Velocidade da corrente (m/s)	0,37 (0,13-0,53)	0,21 (0,06-0,43)
Vazão (m^3/s)	0,27 (0,04-1,17)	0,19 (0,03-0,74)
Substrato		
Liteira	0,26 (0,11-0,53)	0,32 (0,0-0,81)
Liteira fina	0,06 (0,0-0,25)	0,23 (0,0-0,89)
Areia	0,28 (0,0-0,47)	0,17 (0,0-0,47)
Troncos	0,06 (0,0-0,11)	0,02 (0,0-0,06)
Raízes	0,24 (0,11-0,50)	0,10 (0,0-0,28)
Outros substratos	0,10 (0,0-0,14)	0,16 (0,0-0,27)
Índice de Integridade do Hábitat	0,84 (0,60-0,94)	0,77 (0,53-0,98)

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão (amplitude) dos atributos da fauna de peixes amostrados nos 10 riachos.

Atributos da fauna de peixes	**Média ± SD (Amplitude)**	
	2006	**2018**
Nº de espécies	8,9 ± 3,6 (4-17)	8,4 ± 3,3 (3-13)

Nº de peixes coletados	215,6 ± 176,8 (29-608)	206,1 ± 135,6 (17-365)

Tabela 3. Resultado das análises de regressão linear entre a diferença na composição taxonômica em relação a diferença das características ambientais entre as amostragens.

Conjunto de variáveis	**r^2**	**p**
Características físico-químicas	-0.008	0.323
Características estruturais	0.194	0.113
Composição do substrato	-0.103	0.701
Índice de Integridade do Habitat	-0.037	0.435

Material Suplementar

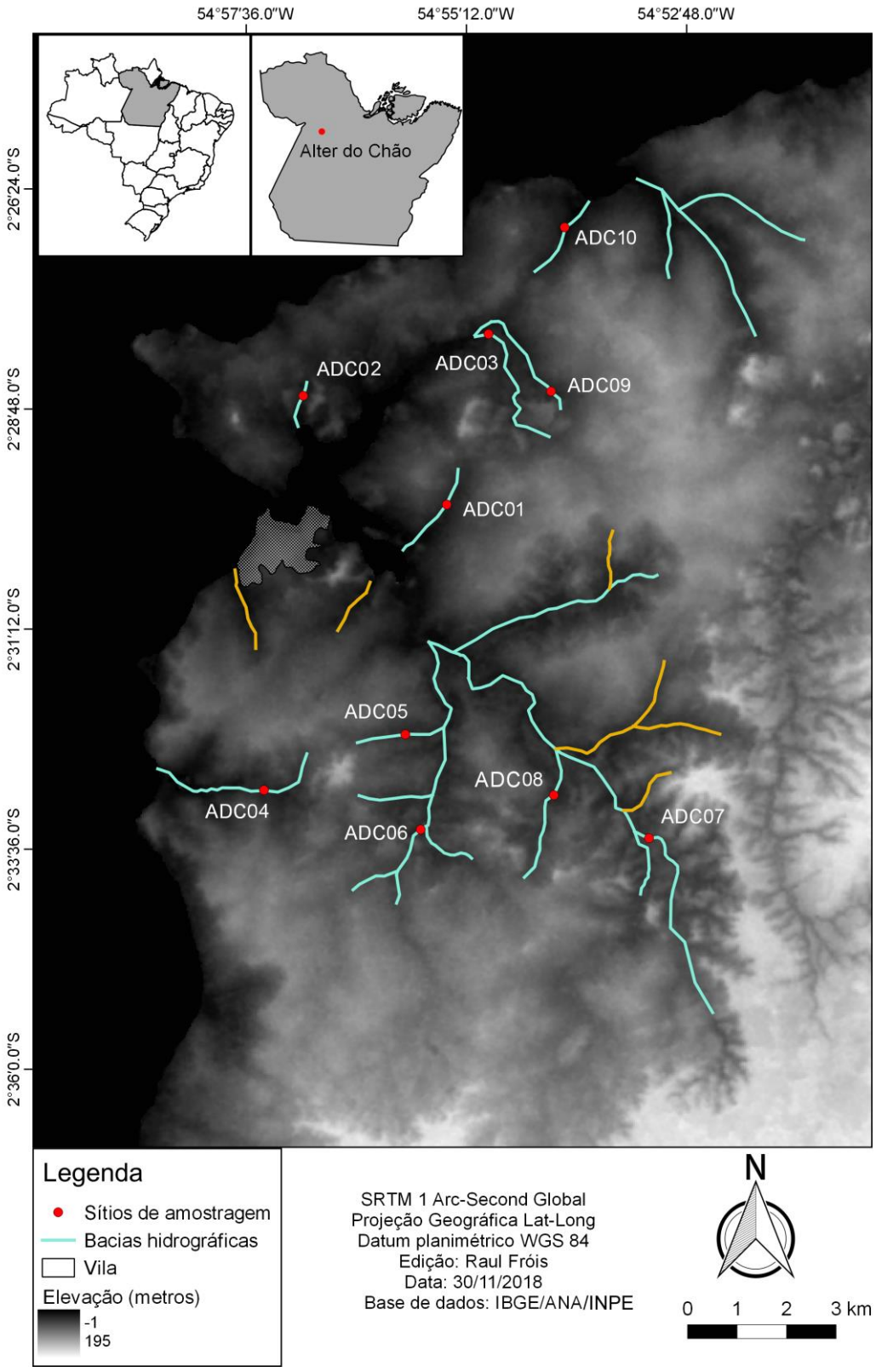

Figura S1. Mapa da área da drenagem e elevação do terreno, trecho em laranja representa proporção da drenagem totalmente degradados.

Tabela S2. Valores dos *Loadings* das características físico-químicas para os quatro componentes principais.

Variáveis	PC1	PC2	PC3	PC4
pH	-0.69832	0.043779	0.056459	0.712209
Temperatura	0.043984	**0.742818**	0.665753	-0.05531
Condutividade	-0.56366	-0.40816	0.445878	-0.56293
O_2 dissolvido	-0.43898	**0.528876**	-0.59563	-0.41571

Tabela S3. Valores dos *Loadings* das características estruturais do canal para os quatro componentes principais.

Variáveis	PC1	PC2	PC3	PC4
Velocidade da corrente	-0.33882	**0.798763**	-0.273	-0.41551
Largura	-0.44282	**-0.54862**	-0.65977	-0.26006
Vazão	-0.6263	0.13544	0.005132	0.767707
Profundidade	-0.54484	-0.20653	0.700106	-0.41273

Tabela S4. Valores dos *Loadings* da proporção de substrato para os quatro componentes principais.

Variáveis	PC1	PC2	PC3	PC4
Areia	**-0.54384**	0.010369	-0.25095	-0.04402
Argila	-0.32437	-0.38967	0.239086	-0.31726
Liteira	0.311315	-0.01358	0.516792	-0.27429
Liteira fina	0.361358	-0.08314	0.123775	0.544633
Troncos	-0.33443	0.285412	0.34901	0.384183
Macrófitas	0.181886	0.200857	-0.20954	-0.40904
Raízes	-0.09227	0.62598	0.031052	-0.33529
Seixos	-0.43432	-0.18809	0.092979	0.110876
Rochas	-0.12116	0.293262	-0.09597	0.238537
Algas filamentosas	-0.0397	-0.36756	0.215832	-0.16656

Sedimento ferruginoso	0.114853	-0.26612	-0.60527	0.035857

Tabela S5. Lista das espécies de peixes registrados para as duas amostragens nos igarapés de fragmentos florestais em uma matriz de savana, baixo rio Tapajós.

TÁXON	**Período da amostragem**	
	2006	**2018**
CHARACIFORMES		
Acestrorhynchidae		
Heterocharax virgulatus Toledo-Piza 2000	34	-
Characidae		
Charax condei (Géry & Knöppel 1976)	34	-
Hemigrammus ocellifer (Steindachner 1882)	68	130
Hemigrammus stictus (Durbin, 1909)	-	3
Hyphessobrycon heterorhabdus (Ulrey 1894)	155	178
Hemigrammus analis Durbin 1909	-	8
Crenuchidae		
Crenuchus spilurus Günther 1863	82	109
Elachocharax junki (Géry 1971)	8	5
Curimatide		
Curimatopsis evelynae Géry 1964	1	8
Erythrinidae		
Hoplias malabaricus (Bloch 1794)	4	4
Iguanodectidae		
Iguanodectes variatus Géry 1993	306	285
Lebiasinidae		
Copella nattereri (Steindachner 1876)	677	199
Copella callolepis (Regan 1912)	14	368
Nannostomus digrammus (Fowler 1913)	1	-

Nannostomus marginatus Eigenmann 1909	25	-
Serrasalmidae		
Pygopristis denticulate (Cuvier, 1819)	9	-
CICHLIFORMES		
Cichlidae		
Acaronia nassa (Heckel 1840)	-	7
Aequidens epae Kullander 1995	63	176
Apistogramma gephyra Kullander 1980	35	92
Dicrossus maculatus Steindachner 1875	-	1
Hypselecara coryphaenoides (Heckel 1840)	4	6
Taeniacara candidi Myers 1935	6	2
CYPRINODONTIFORMES		
Cynolebiidae		
Laimosemion dibaphus (Myers 1927)	218	242
GOBIIFORMES		
Eleotridae		
Microphilypnus ternetzi Myers, 1927	60	32
GYMNOTIFORMES		
Gymnotidae		
Gymnotus coropinae Hoedeman 1962	3	2
Gymnotus sp.1	1	-
Hypopomidae		
Microsternarchus bilineatus Fernández-Yépez 1968	22	23
Brachyhypopomus regani Crampton *et al*. 2017	8	30
Rhamphichthyidae		
Gymnorhamphichthys rondoni (Miranda Ribeiro 1920)	11	5
Hypopygus neblinae Mago-Leccia 1994	11	17

PERCIFORMES		
Polycentridae		
Monocirrhus polyacanthus Heckel 1840	-	1
SILURIFORMES		
Auchenipteridae		
Trachelyopterichthys taeniatus (Kner, 1858)	2	-
Cetopsidae		
Helogenes marmoratus Günther 1863	164	73
Doradidae		
Acanthodoras cataphractus (Linnaeus 1858)	1	-
Heptapteridae		
Brachyglanis microphthalmus Bizerril 1991	18	6
Trichomycteridae		
Potamoglanis hasemani (Eigenmann 1914)	109	56
SYNBRANCHIFORMES		
Synbranchidae		
Synbranchus madeirae Rosen & Rumney 1972	2	-
Total da abundância	2156	2068
Total de espécies registradas	32	28

Tabela S6. Riqueza e abundância total de peixes de cada igarapé amostrado, localizados em fragmentos florestais em uma matriz de savana amazônica, baixo rio Tapajós.

Ponto de amostragem	**Descrição**	**Altitude**	**Coordenadas**	**Riqueza (Abundância)**	
				2006	**2018**
ADC01	Riacho do Camarão flui para a extremidade norte do lago Verde	26 m	2°29'51.79"S 54°55'26.51"W	5 (29)	3 (17)

ADC02	Riacho Miritiapena flui para extremidade noroeste do lago Verde	36 m	2°28'40.62"S 54°57'0.40"W	9 (365)	12 (235)
ADC03	Riacho do Macaco flui para a extremidade centro-leste do lago Verde	26 m	2°28'0.23"S 54°54'59.22"W	11 (84)	11 (87)
ADC04	Riacho São Luíz flui para o lago Pindobal	30 m	2°32'58.63"S 54°57'26.10"W	4 (69)	5 (79)
ADC05	Riacho do Heitor afluente do Sonrisal flui para extremidade sul do lago verde	35 m	2°32'22.20"S 54°55'53.62"W	7 (283)	6 (395)
ADC06	Riacho da Eugênia afluente do Sonrisal flui para extremidade sul do lago verde	35 m	2°33'24.41"S 54°55'43.57"W	11 (180)	8 (364)
ADC07	Riacho do São Pedro afluente do Jatuarana flui para extremidade sul do lago verde	48 m	2°33'30.10"S 54°53'14.24"W	8 (103)	9 (275)
ADC08	Riacho do São Raimundo afluente do Jatuarana flui para extremidade sul do lago verde	32 m	2°33'1.94"S 54°54'16.49"W	9 (137)	11 (301)
ADC09	Riacho do Aurélio flui para a extremidade norte do Lago Verde	31 m	2°28'37.74"S 54°54'18.29"W	8 (298)	6 (57)
ADC10	Riacho do Taparí flui para o lago Taparí	18 m	2°26'50.39"S 54°54'9.47"W	17 (608)	13 (251)

Tabela S7. Valores dos *Loadings* das espécies para os dois primeiros eixos principais da PCoA.

Espécies	**Eixo 1**	**Eixo 2**
Acanthodoras cataphractus	0.457982	0.060588
Acaronia nassa	0.363672	0.066216
Aequidens epae	-0.32259	0.03296
Apistogramma gephyra	**0.538891**	0.139712
Brachyglanis microphthalmus	-0.2328	0.311724
Brachyhypopomus regani	0.472851	0.085089
Charax condei	0.457982	0.060588
Copella callolepis	-0.23094	0.000977
Copella nattereri	**0.826411**	0.130122
Crenuchus spilurus	0.200714	0.09623
Curimatopsis evelynae	0.420402	0.073698
Dicrossus maculatus	0.446405	0.052371
Elachocharax junki	-0.00389	0.046786
Gymnorhamphichthys rondoni	-0.20946	0.264479
Gymnotus coropinae	-0.3265	0.373238
Gymnotus sp.1	-0.19138	0.302002
Helogenes marmoratus	-0.19707	**-0.52911**
Hemigrammus analis	0.446405	0.052371
Hemigrammus ocellifer	0.092991	0.198167
Hemigrammus stictus	0.446405	0.052371
Heterocharax virgulatus	0.457982	0.060588
Hoplias malabaricus	0.472894	0.215535
Hyphessobrycon heterorhabdus	-0.30109	**0.543907**
Hypopygus neblinae	**0.708702**	0.117536
Hypselecara coryphaenoides	**0.641245**	0.07913

Iguanodectes variatus	-0.39859	0.469208
Laimosemion dibaphus	-0.18226	**-0.59054**
Microphilypnus ternetzi	**0.813717**	0.115884
Microsternarchus bilineatus	-0.33262	0.151302
Monocirrhus polyachanthus	0.363672	0.066216
Nannostomus digrammus	0.457982	0.060588
Nannostomus marginatus	-0.01054	-0.40638
Potamoglanis hasemani	**0.628487**	0.080414
Pygopristis denticulata	0.078201	-0.01605
Synbranchus madeirae	0.253774	-0.24964
Taeniacara candidi	**0.584956**	0.075237
Trachelyopterichthys taeniatus	0.457982	0.060588

Anexo

Anexo 1. Índice de Integridade do Habitat, modificado por Nessimian et al. 2008.

Characteristics	**Condition**	**Score**
F1 Land use pattern beyond the riparian zone	**Primary continue forest/100 ha fragment/10 ha fragment**	**6**
	***Cecropia* secondary forest/mixed secondary forest**	**5**
	***Vismia* secondary forest**	**4**
	Pasture	**3**
	Perennial crops	**2**
	Short-cycle crops/exposed soil	**1**
F2 Width of riparian forest	**Continuous forest**	**6**
	Forest width between 30 and 100 m	**5**
	Forest width between 5 and 30 m	**4**
	Forest width between 1 and 5 m	**3**
	Riparian forest absent, but some shrub species and pioneer trees	**2**
	Riparian forest and shrub vegetation absent	**1**

F3 Completeness of riparian forest	**Riparian forest intact without breaks in vegetation**	**4**
	Breaks occurring at intervals of 50 m	**3**
	Breaks frequent with gullies and scars at every 50 m	**2**
	Deeply scarred with gullies all along its length	**1**
F4 Vegetation of riparian zone within 10 m of channel	**More than 90% plant density by non-pioneer trees or shrubs**	**4**
	Mixed pioneer species and mature trees	**3**
	Mixed grasses and sparse pioneer trees and shrubs	**2**
	Grasses and few tree shrubs	**1**
F5 Retention devices	**Channel with rocks and/or old logs firmly set in place**	**4**
	Rocks and/or logs present but backfilled with sediment	**3**
	Retention devices loose, moving with floods	**2**
	Channel of loose sandy silt, few channel obstructions	**1**
F6 Channel sediments	**Little or no channel enlargement resulting from sediment accumulation**	**4**
	Some gravel bars of coarse stones and little silt	**3**
	Sediment bars of rocks, sand and silt common	**2**
	Channel divided into braids or stream channel corrected	**1**
F7 Bank structure	**Banks inconspicuous**	**5**
	Banks stable, with rock and soil held firmly by grasses, shrubs, or tree roots	**4**
	Banks firm but loosely held by grasses and shrubs	**3**
	Banks of loose soil held by a sparse layer of grass and shrubs	**2**
	Banks unstable, easily disturbed, with loose soil or sand	**1**
F8 Bank undercutting	**Little, not evident or restricted to areas with tree root support**	**4**
	Cutting only on curves and at constrictions	**3**
	Cutting frequent, undercutting of banks and roots	**2**
	Severe cutting along channel, banks falling in	**1**
F9 Stream bottom	**Stone bottom of several sizes packed together, interstices obvious**	**4**
	Stone bottom easily moved, with little silt	**3**
	Bottom of silt, gravel, and sand, stable in some places	**2**

	Uniform bottom of sand and silt loosely held together, stony substrate absent	**1**
F10 Riffles and pools, or meanders	**Distinct, occurring at intervals of 5–7 the stream width**	**4**
	Irregularly spaced	**3**
	Long pools separating short riffles, meanders absent	**2**
	Meanders and riffle/pools absent or stream corrected	**1**
F11 Aquatic vegetation	**When present, consists of moss and patches of algae**	**4**
	Algae dominant in pools, vascular plants along edge	**3**
	Algal mats present, some vascular plants, few mosses	**2**
	Algal mats cover bottom, vascular plants dominate channel	**1**
F12 Detritus	**Mainly consisting of leaves and wood, without sediment**	**5**
	Mainly consisting of leaves and wood, with sediment	**4**
	Few leaves and wood, fine organic debris, with sediment	**3**
	No leaves or woody debris, coarse and fine organic matter, with sediment	**2**
	Fine anaerobic sediment, no coarse debris	**1**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fauna de peixes dos igarapés de fragmentos florestais em uma matriz de savana tem uma composição singular, apresentando baixa similaridade faunística com igarapés de terra-firme de áreas próximas ao longo do baixo rio Tapajós, sendo que esse grupo de organismos ainda permanecem entre os menos conhecidos em áreas de savana na Amazônia.

Os igarapés apresentaram mudanças direcionais em algumas características estruturais e limnológicas, demonstrando perda da integridade desses habitats.

O estado atual de integridade registrada nos igarapés de fragmentos florestais em matriz de savana amazônica da região de Alter do Chão, baixo Tapajós, não gera mudanças significativas nas assembleias de peixes.

Existem mudanças na composição das assembleias, mas não são direcionais e tampouco apresentam um padrão claro. A intensidade da mudança está relacionada a um grupo de populações específicas que estão relacionadas a micro-habitats específicos, algumas são favorecidas com aumento da relação do perímetro de áreas marginais, promovido pelo alargamento do canal em função da construção de piscinas, e outras mais sensíveis são desfavorecidas com as alterações na complexidade do substrato causando perdas do micro-habitat.

Apesar dos peixes serem um componente resiliente à degradação ambiental da fauna aquática de água doce, mudanças no uso dos balneários que intensifiquem a perda da qualidade da água podem acarretar perdas de diversidade. De modo que são necessárias investigações que consigam quantificar esse tipo de efeito e monitorar suas mudanças.

FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
Programa de Pós Graduação em Biodiversidade (PPGBEES)
http://posgraduacao.ufopa.edu.br/ppgbees

Identificação da Dissertação

Título	Estrutura da assembleia de peixes em igarapés de pequena ordem de fragmentos florestais em uma matriz de savana, Amazônia oriental

Informações ao revisor

- **A dissertação de mestrado é apresentada pelos alunos em até 24 meses de curso e já apresenta-se no formato exigido pelo programa.**
- **O prazo para avaliação é de 30 dias a partir do recebimento da dissertação em formato digital.**
- **Comentários, correções e sugestões podem ser feitas diretamente no arquivo do projeto ou em arquivo separado, a sua preferência. No caso dos arquivos PDF, podem ser adicionados comentários em trechos selecionados, por exemplo. O arquivo da dissertação comentada será enviado ao candidato e ao orientador. Este parecer não é enviado ao candidato e orientador.**

DA AVALIAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Art. 57 - A Dissertação será julgada por uma Banca Avaliadora não presencial, que será sugerida pelo orientador e homologada pelo Colegiado, sendo constituída por 3 (três) avaliadores, sendo um deles obrigatoriamente externo ao curso, com título de doutor ou equivalente.

Parágrafo Único – O orientador e o discente encaminharão documento assinado sugerindo 5 (cinco) nomes de possíveis avaliadores pré-contactados, com seus respectivos endereço eletrônico e telefone.

Art. 58 - A avaliação da dissertação será requerida pelo candidato, com o aval do seu orientador, ao Colegiado do Programa, com um mínimo de trinta (30) dias de antecedência da data de defesa pretendida.

§ 1º – Para requerer avaliação da dissertação, o aluno deve apresentar comprovação de submissão de ao menos um artigo como primeiro autor, em co-autoria com orientador (ou orientador e co-orientador quando for o caso) em periódico avaliado pela CAPES, no sistema Periódico Qualis, nível B3 ou superior, na área do Programa.

§ 2º – O aluno deverá entregar ao Colegiado junto ao requerimento de avaliação, um arquivo digital da dissertação, para que seja encaminhada aos membros da Banca Examinadora.

Art. 59 - O Acadêmico que comprovar o aceite ou publicação de pelo menos um artigo resultante da sua dissertação, como primeiro autor, em co-autoria com orientador (ou orientador e co-orientador quando for o caso) em periódico avaliado pela CAPES, no sistema Periódico Qualis, nível A2 ou superior, na área do Programa, será dispensado da avaliação da dissertação, cabendo ao discente apenas a apresentação pública do trabalho conforme Art. 65 desse regimento.

DA APROVAÇÃO OU REPROVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Art. 62 - Cada avaliador emitirá um parecer e indicará se a dissertação está Aprovada (A), Aprovada com Correções (AC), Necessita Revisão (NR) ou Reprovada (R).

I - Aprovado: indica que o revisor aprova a dissertaçãos em correções ou com correções mínimas;

II - Aprovado com Correções: indica que o avaliador aprova o projeto com correções extensas,mas que a dissertação não precisa retornar ao avaliador para reavaliação;

III - Necessita Revisão: indica que há necessidade de reformulação do trabalho e que o avaliadorquer reavaliar a nova versão da dissertação antes de emitir uma decisão final;

IV - Reprovado: indica que a dissertaçãonão é adequada, nem com modificações substanciais.

§ 1o - O Programa preservará o anonimato dos avaliadores da dissertação, exceto se o avaliadoroptar por se identificar na ficha de avaliação encaminhada ao discente e seu orientador.

Art. 63 – O Acadêmico será considerado aprovado caso ao menos dois membros avaliadores emitirem parecer pareceres A ou AC.

Art. 64 – Em caso de reprovação poderá ser concedida, por recomendação dos avaliadores, uma segunda oportunidade ao candidato que, num período máximo de 30 (trinta) dias, a contar da data da avaliação, deverá submeter ao Colegiado a nova versão da dissertação para avaliação.

Parágrafo único – Em caso da não entrega da nova versão da dissertação à Secretaria do Programa no prazo estabelecido ou em caso de reprovação nesta segunda chance, o estudante será automaticamente desligado do curso.

Art. 65 - O Acadêmico que teve sua dissertação aprovada deverá apresenta-la em sessão pública com duração de 40-50 minutos, no prazo máximo de vínculo com o curso, ou seja, 24 meses desde o ingresso."

Comentários à coordenação do PPGBEES:

Prezada coordenação do PPGBEES,

Primeiramente gostaria de agradecer o convite para avaliar a dissertação intitulada, 'Estrutura da assembleia de peixes em igarapés de pequena ordem de fragmentos florestais em uma matriz de savana, Amazônia oriental', e aproveito para parabenizar o estudante e orientadora pelo belo trabalho. Tenho certeza que está dissertação irá gerar importantes artigos em revistas científicas. As minhas considerações estão destacadas no documento em anexo e estou disponível ao estudante para qualquer dúvida quanto a minhas considerações.

At.te

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado

I - Aprovado ( )

indica que o revisor aprova a dissertação sem correções ou com correções mínimas

II - Aprovado com Correções (x)

indica que o avaliador aprova o projeto com correções extensas, mas que a dissertação não precisa retornar ao avaliador para reavaliação

III - Necessita Revisão ( )

indica que há necessidade de reformulação do trabalho e que avaliador quer reavaliar a nova versão da dissertação antes de emitir uma decisão final

IV - Reprovado ( )

indica que a dissertação não é adequada, nem com modificações substanciais

Identificação do membro da banca: Luciano Fogaça de Assis Montag

Deseja identificar-se ao candidato e orientador(es): (x) Sim ( ) Não

Data: 7 de julho de 2019

Assinatura:

Comentários à coordenação do PPGBEES:

A dissertação em questão inova ao propor a descrição e análise da ictiofauna de riachos inseridos em uma matriz savânica na Amazônia. A dissertação está estruturada em dois capítulos. O primeiro traz o inventário resultante de amostragens em dois períodos (2006 e 2018), foi elaborado em inglês e submetido ao periódico Biota Neotropica. No meu entendimento, é necessária uma ampla revisão do texto, para fundamentar com mais propriedade o problema abordado, explicitar os métodos, apresentar de forma mais completa os resultados e discuti-los. Da mesma maneira, faz-se necessária uma criteriosa revisão da linguagem.

No segundo capítulo, foram avaliadas as mudanças nas características dos riachos e da ictiofauna no período de 12 anos. Neste capítulo, a apresentação do problema está mais detalhada do que no anterior, bem como a apresentação dos métodos e dos resultados. Acrescentei no próprio documento em pdf algumas sugestões para incrementar a discussão.

Desta forma, entendo que a pesquisa foi conduzida de maneira apropriada, porém, são necessárias correções no texto, particularmente no primeiro capítulo. Tais correções não implicam em alteração dos rumos do trabalho, por isso não vejo necessidade de reavaliar a dissertação. Congratulo os autores e agradeço a esta Comissão pela oportunidade de colaborar e, assim, conhecer um pouco mais sobre os peixes Amazônicos.

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado

I - Aprovado ( )

indica que o revisor aprova a dissertação os em correções ou com correções mínimas

II - Aprovado com Correções (x)

indica que o avaliador aprova o projeto com correção extensas,mas que a dissertação não precisa retornar ao avaliador para reavaliação

III - Necessita Revisão ( )

indica que há necessidade de reformulação do trabalho e que avaliadorquer reavaliar a nova versão da dissertação antes de emitir uma decisão final

IV - Reprovado ( )

indica que a dissertação não é adequada, nem com modificações substanciais

Identificação do membro da banca: Lilian Casatti

Deseja identificar-se ao candidato e orientador(es): (x) Sim ( ) Não

Data: 16/07/2019

Assinatura:

Comentários à coordenação do PPGBEES:
A dissertação do Raul Frois versa sobre dinâmica de comunidades de peixes de igarapés em uma área de Savana próximo a Alter do Chão, no Pará. O conteúdo da tese é adequado para o nível de formação do aluno e resultará em duas publicações. Uma delas, referente ao primeiro capítulo, está bem escrita em ingês e já foi submetida na forma de uma lsita de espécies para a Biota Neotropica. A outra contribuição é o artigo central da dissertação. Ela versa sobre dinâmica de comunidades de peixes sob possíveis impactos de construções de piscinas artificiais nos igarapés. O artigo já está completo, com uma revisão de literatura razoável e pretende-se submeter para a Hydrobiologia, revista de alto impacto dentro da área de Biodiversidade. Este artigo, embora já bem estruturado, merece maior aprofundamento analítico, mas o que foi feito até agora é bastante suficiente para o nível de formação de mestrado. Creio que com algum investimento de tempo em análises complementares e a tradução para o inglês o aluno e seus orientadores terão o artigo pronto para submissão num tempo relativamente curto. Envio ao aluno e seus orientadores as minhas sugestões na forma de dois arquivos, a dissertação comentada e um arquivo extra em pdf com sugestões mais detalhadas.

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado

I - Aprovado ( )

indica que o revisor aprova a dissertaçãos em correções ou com correções mínimas

II - Aprovado com Correções (X)

indica que o avaliador aprova o projeto com correçõe extensas, mas que a dissertação não precisa retornar ao avaliador para reavaliação

III - Necessita Revisão ( )

indica que há necessidade de reformulação do trabalho e que avaliadorquer reavaliar a

nova versão da dissertação antes de emitir uma decisão final

IV - Reprovado ( )

indica que a dissertação não é adequada, nem com modificações substanciais

Identificação do membro da banca: Helder Mateus Viana Espírito Santo

Deseja identificar-se ao candidato e orientador(es): (X) Sim ( ) Não

Data: 30/07/2019

Assinatura: