



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA

HÍNGARA LEÃO SOUSA

EFEITO DA ALTERAÇÃO DO HÁBITAT SOBRE ASSEMBLEIAS DE PEIXES
EM IGARAPÉS AFOGADOS DA AMAZÔNIA ORIENTAL

Belém - PA

2014

HÍNGARA LEÃO SOUSA

**EFEITO DA ALTERAÇÃO DO HÁBITAT SOBRE ASSEMBLEIAS DE PEIXES
EM IGARAPÉS AFOGADOS DA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia Aquática e Pesca.

Orientador: Dr. Luciano Fogaça de Assis Montag

Co-orientadora: Dr^a. Cristiane de Paula Ferreira

Belém - PA

2014

HÍNGARA LEÃO SOUSA

**EFEITO DA ALTERAÇÃO DO HÁBITAT SOBRE ASSEMBLEIAS DE PEIXES
EM IGARAPÉS AFOGADOS DA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia Aquática e Pesca.

Aprovada em 26 / 02 / 2014

Prof. Dr. Luciano Fogaça de Assis Montag (Orientador)
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Leandro Juen (Membro interno)
Universidade Federal do Pará

Dr. Pedro Gerhard (Membro externo)
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Prof^a. Dr^a. Mônica Ceneviva Bastos (Membro externo)
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

**Aos meus pais, Solange e Valdemir,
pelo amor, simplesmente.**

AGRADECIMENTOS

Essa dissertação representa a finalização de um sonho e início de outros. E aqui deixo os meus agradecimentos àqueles que de alguma forma contribuíram para sua realização:

Aos meus pais **Solange** e **Valdemir**, que são os maiores responsáveis por hoje eu estar aqui aonde cheguei. Obrigada por tudo o que me ensinaram. Minhas irmãs **Ana Karina**, **Monalice**, **Allanne** e **Verlange**, que sempre vibraram comigo desde a aprovação do mestrado e minha mãe-irmã **Raimunda**, que há anos acompanha nossa família e já fez muito por nós. Meus sobrinhos lindos, **Verlane** e **Victor Neto**, que são minhas gotinhas de inspiração e meu cunhado **Dr. Victor Mouchrek**, uma das pessoas em quem me espelho como profissional. Obrigada FAMÍLIA!

Ao meu orientador **Dr. Luciano Montag** “Miúdo”. Obrigada pelo conhecimento, pela oportunidade e por sempre me perguntar “Tu tá feliz?”. Tenho certeza que fiz a escolha certa entre tantos nomes naquele edital.

À minha co-orientadora **Dr^a. Cristiane Ferreira** (Cris), pelas explicações e todo conhecimento que também adquiri ao longo desses dois anos. Obrigada também pela amizade.

À **Zafira Almeida**, a quem ainda me refiro como “orientadora”. Você foi essencial na minha chegada ao mestrado.

Aos professores **Dr. Leandro Juen** e **Dr. Bruno Spacek** pelas contribuições no exame de qualificação e aos professores **Dr. Pedro Gerhard** e **Dr^a Mônica Ceneviva-Bastos** que juntamente com **Dr. Leandro Juen** deram contribuições valiosíssimas na defesa deste trabalho.

Aos **professores do PPGEAP**, cada um contribuiu com um pouquinho de todo o conhecimento que adquiri na pós-graduação.

Aos funcionários da **Estação Científica Ferreira Penna**, pelo auxílio e logística em campo, em especial ao **Raimundo** (Jeju) e **Cleidimar** (Pelado) pela ajuda na coleta, tornando o campo até mais divertido.

Ao seu **Nico**, seu **Roberto**, **Dina-Mara**, **Vítor**, **Márcio**, **Cláudio**, **Ana Paula** e **Diogo**, cada um também contribuiu de maneira valiosa em campo.

Ao **Dr. André Ferreira** e ao **MSc. Luiz Peixoto**, pelo auxílio na identificação dos exemplares.

Aos amigos do **Laboratório de Ecologia e Conservação** (LABECO), por todos os momentos de risadas e brincadeiras que fizeram meus dias serem prazerosos acima de qualquer coisa, em especial: ao meu amigo **Erlane**, pelo companheirismo, pelas risadas, pela ajuda na confecção do mapa, pelas explicações de estatística e por tirar minhas dúvidas sempre, mesmo quando também estava ocupado escrevendo sua dissertação. Você contribuiu muito Erlane, meu caloroso MUITO OBRIGADA. À minha “frô” **Yulie**, que também me ajudou muito nas análises e por diversas vezes me levar para “espairecer”. Ao **Fernando**, **Gilberto** (chegou ontem), **Max**, **Ana Luíza**, **Lenize**, **Ana Paula**, **Mylena**, **Cláudio** e **Thiago**. O laboratório sem vocês seria simplesmente um laboratório. Obrigado por fazerem dele também uma família. À **Nara**, **Prudente**, **Márcio**, **Baborsa**, **Cléo**, **Jaque**, **Dani**, **Val**, **Begot**, **Eleres**, **Lucas** e **Laís**, amigos da icção com quem tenho o prazer de trabalhar e que também já me ajudaram muito.

Ao **Guilherme**, **Ana Emília**, **Paulo Vitor** e **Lucas** pelo auxílio na triagem do material.

Aos **colegas da turma do mestrado**, em nome de **Priscila**, **Adauto** e **Carlos**, agradeço à amizade, às experiências, trabalhos em grupo e receptividade em Belém. Que possamos ainda manter contato independente do que virá daqui pra frente.

À minha eterna companheira de apê, **Priscila Gozzi**.

Ao **Programa de Pesquisa em Biodiversidade** (PPBio) e à **Fundação Amazônia Paraense de Amparo à Pesquisa** (FAPESPA), pelo financiamento das coletas.

Ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico** (CNPq) pela bolsa concedida.

À **Universidade Federal do Pará** pela minha formação acadêmica.

MUITO OBRIGADA!

O que eu faço é uma gota no meio de um oceano. Mas sem ela, o oceano será menor.

(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

Os ecossistemas aquáticos de água doce constituem sistemas complexos que estão sendo expostos a uma variedade de perturbações. Na região Amazônica, o uso dos recursos e ocupação da terra tem alterado a estrutura física do hábitat desses ambientes, especialmente os de pequeno porte (conhecidos como igarapés), influenciando a estrutura e composição de suas comunidades. Vários estudos e programas de avaliação têm sido desenvolvidos a fim de verificar como essas alterações afetam as comunidades bióticas, através de características do hábitat que se mostram mais sensíveis às perturbações. Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi mensurar e descrever atributos do hábitat de igarapés afogados e verificar como as assembleias de peixes respondem aos diferentes níveis de integridade física apresentados por esses igarapés. Para isso, testamos a hipótese de que ambientes estruturalmente mais íntegros suportam uma ictiofauna mais diversa do que ambientes impactados, em virtude destes apresentarem uma diminuição na complexidade ambiental. O estudo foi realizado em 34 igarapés, sendo 17 situados dentro do território da Floresta Nacional de Caxiuanã, e 17 em seu entorno, localizados próximos aos centros urbanos dos municípios de Portel e Melgaço (PA). O processo de urbanização encontra-se em expansão na região, alcançando áreas de florestas e corpos hídricos que ainda permanecem preservados. Também há uma intensa atividade extrativista madeireira, pois a área está inserida no principal pólo madeireiro da zona do estuário no estado do Pará. O hábitat físico dos igarapés foi avaliado seguindo um protocolo padronizado de avaliação. Para a coleta dos peixes foram utilizadas redes de mão em um trecho de 150 metros por igarapé durante seis horas (divididas entre os segmentos e entre os coletores). Apesar de detectarmos um conjunto de métricas que responderam ao gradiente de alteração local, estas não se mostraram suficientes na redução ou aumento do número de espécies ao longo dos níveis de preservação, mantendo praticamente constante a riqueza e abundância para os três grupos (alterado, intermediário e íntegro). Porém, a diferença foi significativa para a composição, com onze espécies exclusivas de ambientes alterados e oito exclusivas de ambientes íntegros. A degradação do ambiente físico, mesmo que em escalas menores favorece a ocorrência e maior abundância de espécies tolerantes e com grande plasticidade fenotípica, além do aumento populacional de espécies oportunistas. Diferentes efeitos podem ser exercidos sobre os grupos de espécies que compõem uma comunidade, pois elas apresentam diferentes atributos biológicos e ecológicos que incluem também suas respostas para as mesmas variáveis ecológicas. Portanto, a possível desconstrução da comunidade em grupos de espécies (sejam taxonômicos, funcionais, etc) pode mostrar respostas diferenciadas frente às alterações do hábitat, sendo uma estratégia promissora para associar características ambientais aos padrões de riqueza apresentado por essas comunidades. A avaliação da integridade biótica também é uma alternativa para identificar efeitos da alteração do hábitat sobre as espécies, principalmente considerando a peculiaridade da região e a falta de informações acerca da ictiofauna local.

Palavras-chave: índice de integridade física, ictiofauna, riqueza de espécies, igarapés amazônicos, Caxiuanã.

ABSTRACT

The natural aquatic ecosystems are complex systems that are exposed to a variety of disturbances. In the Amazon region, for instance, land use and occupation have altered the physical structure of aquatic environments, especially regarding the small streams, influencing their community structure and composition. This has led to research development and evaluation programs to see how the changes that are occurring in these environments affect biotic communities, through habitat characteristics that are more sensitive to disturbance. Thus, this study aimed to describe and measure physical attributes of dewatered streams and evaluate how fish assemblages respond to different levels of streams physical integrity. Our hypothesis is that structurally intact environments endure a more diverse ichthyofauna than altered environments, since their decreased environmental complexity limits the potential ecosystem, because they presented a decrease in environmental complexity. The study was conducted in 34 streams, 17 located within the territory of Caxiuanã National Forest, and 17 in its surroundings, located close to Portel and Melgaço cities (PA). The process of urbanization is expanding in the region, reaching areas of forests and streams that are still preserved. There is also an intense logging, because the area is included in the main timber pole of the estuary in the state of Pará. The physical habitat was evaluated according to a standardized protocol of stream environmental assessment. The samplings were conducted with hand nets passed along 150 meter long reaches during six hours (divided among segments and collectors). Although a set of metrics which responded to the local impact gradient has been detected these were not sufficient to reduce or increase the number of species across different levels of preservation, maintaining substantially constant the wealth and abundance for all three groups (altered, intermediate and preserved). However, the difference was significant for the composition, with eleven exclusive species of altered habitats and eight preserved environments. The degradation of the physical environment, even at smaller scales favors the occurrence and abundance of most tolerant species and phenotypic plasticity, in addition to the population increase of opportunistic species. Different effects can be exerted on the groups of species that make up a community, since they have different biological and ecological attributes that include your answers to the same ecological variables. Therefore, the possible deconstruction of community groups of species (taxonomic, functional, etc.) may show different responses to the changes of habitat, being a promising strategy for linking environmental standards of richness characteristics displayed by these communities. Assessment of biotic integrity is also an alternative to identify effects of habitat alteration on species, especially considering the region's peculiarity and the lack of information about the local ichthyofauna.

Keywords: index of physical integrity, ichthyofauna, species richness, amazon streams, Caxiuanã.

LISTA DE FIGURAS

Introdução Geral

Figura 1. Localização dos 34 igarapés amostrados no período de estiagem nos anos de 2012 e 2013 dentro da FLONA de Caxiuanã e no seu entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil. Um ponto pode representar mais de um local no mapa (Círculos representam igarapés íntegros, quadrados representam igarapés intermediários e triângulos, igarapés alterados).

Figura 2. Esquema da segmentação dos trechos de igarapés utilizados para coleta de peixes dentro da FLONA e no seu entorno. Em cada trecho de 150 metros foi utilizado um esforço de seis horas (36 minutos para cada segmento).

Figura 3. Esquema utilizado na avaliação da sensibilidade das métricas de acordo com Barbour *et al.* (1996). Caixas menores representam as medianas e as maiores representam os intervalos inter-quartis (25-75%). Números 1 e 2 representam métricas com forte discriminação entre os ambientes; número 3 indica baixa discriminação; e números 4 e 5 não discriminam.

Figura 4. Critério utilizado na determinação dos escores das métricas para formulação do índice de avaliação do hábitat físico. Caixas menores representam as medianas e as maiores representam os intervalos inter-quartis (25-75%). A condição “a” mostra o critério de pontuação de uma métrica que diminui o valor conforme a degradação aumenta e a condição “b” para uma métrica que aumenta o valor conforme a degradação também aumenta. Redesenhado a partir de Baptista *et al.* (2007).

Artigo

Fig. 1 - Localização dos 34 igarapés amostrados no período de estiagem nos anos de 2012 e 2013 dentro da FLONA de Caxiuanã e no seu entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil. Um ponto pode representar mais de um local no mapa (Círculos representam igarapés íntegros, quadrados representam igarapés intermediários e triângulos, igarapés alterados).

Fig. 2. *Box-and-whiskers plots* das sete métricas sensíveis que discriminaram sítios referências e testes. Os quadrados pequenos representam as medianas, as caixas representam os intervalos inter-quartis (25-75%), as barras mostram os intervalos de valores máximos e mínimos, os círculos representam *outliers* e os asteriscos representam os extremos.

Fig. 3. Ordenação das variáveis físicas e químicas e ambientais através da Análise de Componentes Principais (PCA) para as diferentes condições ambientais dos igarapés amostrados no período de estiagem nos anos de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, PA, Brasil (PIHT = proporção de impacto humano total)

Fig. 4. Ordenação resultante da análise de Escalonamento Multidimensional Não-métrico (NMDS) dos igarapés por nível de integridade física do hábitat amostrados durante o período de estiagem de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil.

Fig. 5. Abundância relativa das espécies que apresentaram mais que sete exemplares por igarapé, ordenada pelos valores de integridade física do hábitat para os igarapés amostrados durante o período de estiagem de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil.

Fig. 6. Pontos de mudança das espécies ao longo do gradiente de distúrbio e sua relação com os níveis de integridade física do hábitat em igarapés amostrados no período de estiagem de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil. Os círculos pretos e brancos representam os pontos de mudança das espécies associadas com baixa e alta integridade, respectivamente, e os tamanhos são proporcionais à magnitude da resposta. Espécies indicadoras estão marcadas com um asterisco.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Métricas selecionadas, resposta prevista conforme o aumento de degradação e escores utilizados para pontuação (x = valor da métrica).

Tabela 2. Localização dos pontos de coleta com respectivas classificações e valores do índice de integridade física (IIF) amostrados no período de estiagem nos anos de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil.

Tabela 3. Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão dos fatores abióticos amostrados no período de estiagem nos anos de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil (DP = desvio padrão; Temp = temperatura; pH = potencial hidrogeniônico; Cond = condutividade; Prof = profundidade).

Tabela 4. Variáveis físicas e químicas e ambientais mensuradas em igarapés sob diferentes níveis de integridade nos anos de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil, suas correlações com os Eixos 1 e 2 da Análise de Componentes Principais (PCA), autovalores, porcentagem de explicação e valores de Broken-stick dos eixos. Valores com asterisco indicam variáveis que mais se correlacionaram com os ambientes íntegros.

Tabela 5. Espécies de peixes coligidas em 34 igarapés afogados amostrados durante o período de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil, com seus respectivos valores de abundância absoluta para os diferentes níveis de integridade física do hábitat (táxons listados em ordem alfabética).

Tabela 6. Resultado da análise par a par da PERMANOVA entre os níveis de integridade física do hábitat dos igarapés amostrados durante o período de estiagem de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil. Valores significativos ($p < 0,05$) estão marcados com asteriscos.

Tabela 7. Limites da comunidade ao gradiente de integridade física do hábitat e seus percentis associados.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
1. INTRODUÇÃO GERAL	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo Geral	17
2.2. Objetivos específicos	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Área de estudo	17
3.2. Coleta dos dados em campo	18
3.3. Protocolo de amostragem do hábitat físico	19
3.4. Cálculo e pontuação do índice de integridade física (IIF)	21
4. REFERÊNCIAS	23
EFEITO DA ALTERAÇÃO DO HÁBITAT FÍSICO SOBRE ASSEMBLEIAS DE PEIXES EM IGARAPÉS AFOGADOS DA AMAZÔNIA ORIENTAL	27
RESUMO	27
INTRODUÇÃO	28
MATERIAL E MÉTODOS	30
Área de estudo	30
Escolha dos locais de referências	31
Coleta dos dados em campo	32
Protocolo de amostragem do hábitat físico	32
Cálculo e pontuação do índice de integridade física (IIF)	33
Relação entre o hábitat físico e a ictiofauna	33
RESULTADOS	34
Hábitat físico	35
Ictiofauna	40
Relação entre hábitat físico e ictiofauna	45
DISCUSSÃO	49
AGRADECIMENTOS	53
REFERÊNCIAS	53

Normas para publicação na Revista Hydrobiologia 59

1. INTRODUÇÃO GERAL

A expansão das atividades humanas tem provocado diversas alterações nos ecossistemas aquáticos e uma das preocupações da comunidade científica tem sido verificar como essas atividades afetam a biota desses ambientes (Wang *et al.*, 2012; Rosenvald *et al.*, 2014). No Brasil, as ameaças a esses ecossistemas variam consideravelmente em número e importância de acordo com as diferentes regiões do país (Agostinho *et al.*, 2005). Entretanto, as principais causas da degradação de habitats e perda de biodiversidade referem-se à poluição, eutrofização, assoreamento, construção de barragens, pesca e introdução de espécies exóticas (Agostinho *et al.*, 2005). Em geral, a importância de cada um dos processos e efeitos descritos acima depende do tipo de uso do solo predominante. Na região amazônica, em virtude do baixo adensamento populacional quando comparado com outras regiões do país, as políticas de desenvolvimento ainda são voltadas para questões primárias, principalmente monocultura, resultando no avanço do desmatamento, crescimento desordenado dos centros urbanos e aumento da pecuária e agricultura familiar (Laurance *et al.*, 2004).

Na Amazônia, os ecossistemas aquáticos lóticos de pequeno porte, conhecidos como igarapés, são bastante numerosos e considerados os ambientes mais frágeis do sistema hídrico às atividades antrópicas, devido, principalmente, à sua dependência da vegetação ripária (Bojsen & Barriga, 2002). Esta desempenha a importante função de proteger e tamponar esses ambientes (Vogel *et al.*, 2009), influenciando a estrutura e composição de suas comunidades. A diversidade de microhabitat e recursos para a biota aquática pode diminuir gradativamente com a remoção ou alteração da vegetação ripária (Pusey & Arthington, 2003), que acaba sendo um fator limitante para a sobrevivência de muitas espécies de peixes. Além disso, outros elementos estruturais do habitat físico, como correnteza, profundidade, substrato e nutrientes acabam determinando o sucesso ou fracasso da comunidade dentro de seus limites de distribuição espacial (Gowns *et al.*, 2003), visto que as espécies possuem diferentes amplitudes de nicho, gerando padrões de distribuições de acordo com as condições ambientais (Ricklefs, 2009).

O estudo da qualidade do habitat em pequenos cursos d'água é essencial em pesquisas ecológicas que avaliam o efeito de alterações ambientais sobre comunidades. Considerando que a fauna aquática apresenta frequentemente exigências específicas de habitats, muitos esforços têm sido realizados a fim de avaliar o efeito da estrutura física

dos habitats de igarapés sobre sua biota (Bozzetti & Schulz, 2004; Raburu & Masese, 2012). Por muito tempo, apenas variáveis físico-químicas da água foram utilizadas para mensurar os danos causados aos ambientes aquáticos (Karr, 1981). Mas, por resultarem, geralmente, apenas em valores de potabilidade voltados ao consumo humano, sem necessariamente diagnosticar a condição da biota aquática, passaram a não representar uma avaliação abrangente do ecossistema (Karr & Chu, 1999). Além disso, essas variáveis podem representar condições momentâneas do ambiente, muito influenciadas por fatores como precipitação.

Estudos de avaliação do habitat têm sido amplamente utilizados em rios e riachos da América do Norte e Europa como parte de programas de monitoramento e avaliação ambiental (EMAP - *Environmental Monitoring and Assessment Program*). Esses estudos permitem aos pesquisadores mensurar inúmeras características do habitat físico e verificar como essas características podem ser influenciadas por perturbações resultantes de atividades antrópicas (Kauffman *et al.*, 1999), revelando possíveis alterações nas comunidades biológicas. Para isso são bastante utilizados índices multimétricos (Hering *et al.*, 2006; Terra *et al.*, 2013), uma ferramenta capaz de considerar os efeitos de múltiplos impactos e agregar medidas individuais em um único valor que pode ser usado para avaliar a condição geral de um local (Hering *et al.*, 2006).

As características do habitat utilizadas para avaliação, comumente chamadas de métricas, são atributos ou processos mensuráveis do sistema biológico capazes de fornecer sinais relevantes sobre os efeitos da influência humana no ecossistema ao longo de um gradiente de perturbação (Oliveira *et al.*, 2008). Essa avaliação deve ser baseada na comparação de áreas isentas de influência humana (ou minimamente perturbadas) e áreas sujeitas a impactos antrópicos. A primeira situação, chamada de área de referência, é o passo fundamental para estimar a condição biológica de uma área na ausência de interferências humanas sendo, portanto, utilizada para descrever o padrão contra o qual a condição a ser avaliada será comparada (Oliveira *et al.*, 2008).

A conservação da biodiversidade requer a compreensão dos processos envolvidos na estrutura e funcionamento das comunidades biológicas. Os peixes têm sido constantemente utilizados em programas de monitoramento biológicos (Ferreira & Casatti, 2006), visando determinar a qualidade de ecossistemas naturais. Eles são considerados excelentes indicadores das condições encontradas em ambientes aquáticos devido à relativa facilidade em obterem-se as informações sobre aspectos da sua biologia, além de incluírem representantes de vários níveis tróficos fornecendo uma

visão integrada do ambiente aquático (Lyons *et al.*, 1995). A maioria das espécies de peixes que habitam esses ambientes atua como reguladora de populações de insetos aquáticos e algas, sendo, ainda, participantes do processamento da matéria orgânica e presas para peixes maiores, muitos destes utilizados como alimento pelo homem (Casatti, 2010). Além disso, as comunidades de peixes são sensíveis ao desmatamento das matas ripárias, pois estas são as principais responsáveis pela disponibilidade de microhabitats para reprodução, abrigo e alimento aos peixes, influenciando a estrutura e composição dessas comunidades (Casatti *et al.*, 2009).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o efeito da alteração do hábitat físico, resultante de atividades antrópicas, sobre a riqueza, abundância e composição de assembleias de peixes em igarapés afogados da Amazônia Oriental.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Avaliar a integridade física de igarapés localizados em uma unidade de conservação e no seu entorno na Amazônia Oriental.
- ✓ Classificar os igarapés quanto ao nível de preservação utilizando um índice multimétrico.
- ✓ Mensurar riqueza, abundância e composição da ictiofauna de igarapés em uma unidade de conservação e no seu entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará.
- ✓ Verificar a relação dos descritores físicos do hábitat com a estruturação da ictiofauna.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A área de estudo corresponde aos igarapés localizados dentro da Floresta Nacional de Caxiuanã (FLONA de Caxiuanã) e no seu entorno, englobando os

municípios de Portel e Melgaço, ambos situados no estado do Pará (Figura 1) e inseridos em regiões com ativos polos madeireiros. A FLONA está situada na porção inferior do rio Anapu, entre os rios Tocantins e Xingu, constituindo uma unidade de conservação federal onde ainda existem extensas áreas de floresta preservada, garantindo condições ideais à ocorrência de áreas prístinas.

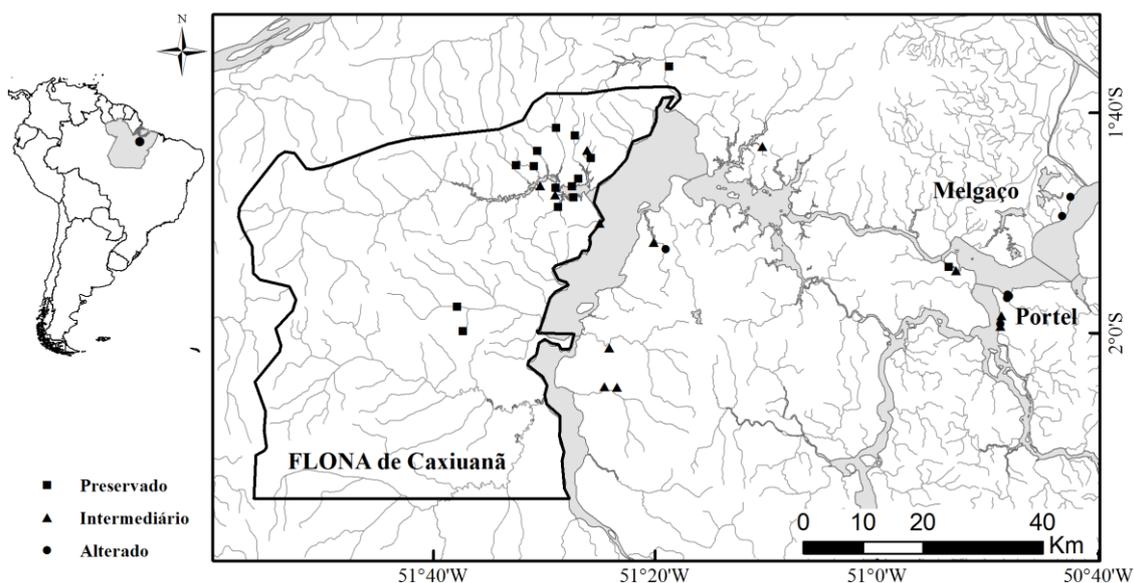


Figura 1. Localização dos 34 igarapés amostrados no período de estiagem nos anos de 2012 e 2013 dentro da FLONA de Caxiuanã e no seu entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil. Um ponto pode representar mais de um local no mapa (Círculos representam igarapés íntegros, quadrados representam igarapés intermediários e triângulos, igarapés alterados).

3.2. Coleta dos dados em campo

A coleta de dados foi realizada nos meses de outubro e novembro de 2012 e outubro de 2013, no período de seca, onde foram amostrados 17 igarapés dentro da FLONA e 17 no entorno, totalizando 34 igarapés. Para cada igarapé foi traçado um trecho de 150 metros subdivididos em dez segmentos de quinze metros (Figura 2). Os segmentos foram separados por onze transecções nomeadas de “A” a “K” (sendo a transecção A sempre a jusante e K sempre a montante). Em cada trecho, foram mensurados os fatores abióticos tomados em três pontos equidistantes (antes da coleta dos peixes) para posterior obtenção da média dos valores.

Os peixes foram amostrados com redes de mão com malha metálica de 5 mm entre nós opostos. Para posterior comparação dos trechos de igarapés foi estabelecido um esforço amostral de seis horas por trecho, sendo o tempo subdividido entre os segmentos (36 minutos por segmento) e entre os coletores (três). Os peixes coligidos

foram sacrificados com doses letais de anestésico (Eugenol, óleo de cravo, cf. American Veterinary Medical Association, 2001), fixados em solução de formalina 10% e após 48h transferidos para álcool 70% para posterior identificação no Laboratório de Ecologia e Conservação do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pará, campus Guamá. A identificação dos indivíduos foi realizada ao menor nível taxonômico possível usando chaves de identificação (p. ex. Gery, 1977; Kullander, 1986; Britski *et al.*, 2007) e auxílio de especialistas. Todo o material foi depositado na Coleção Ictiológica do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), Belém, Pará.

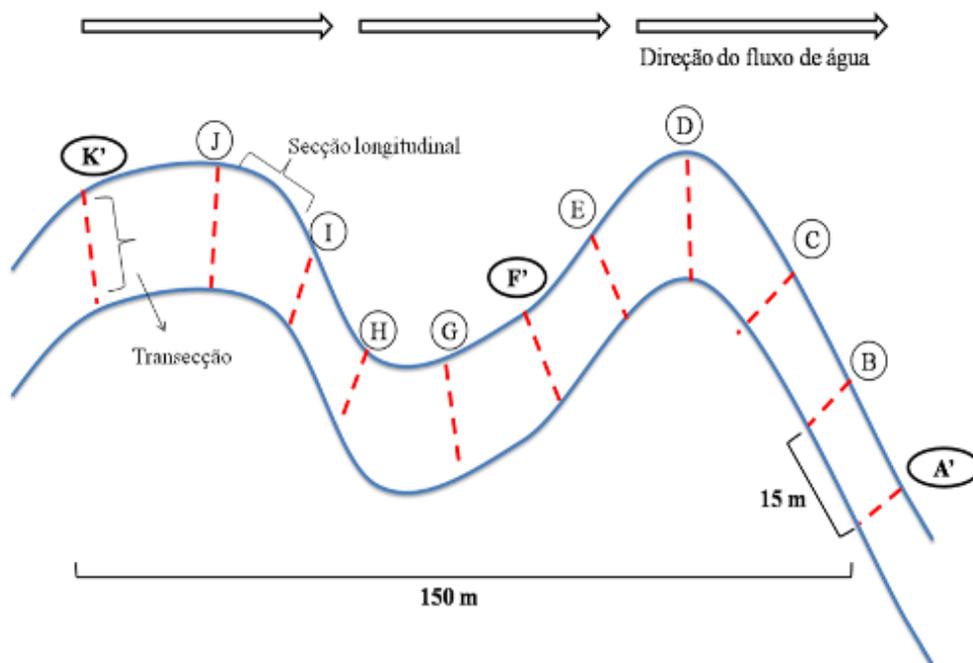


Figura 2. Esquema da segmentação dos trechos de igarapés utilizados para coleta de peixes dentro da FLONA e no seu entorno. Em cada trecho de 150 metros foi utilizado um esforço de seis horas (36 minutos para cada segmento).

3.3. Protocolo de amostragem do hábitat físico

O hábitat físico de cada igarapé foi avaliado ao longo de cada segmento e em cada transecção seguindo a metodologia de avaliação de riachos de Peck *et al.* (2006). A caracterização de cada segmento incluiu: 15 medidas longitudinalmente equidistantes da profundidade do talvegue (região com profundidade mais acentuada) associada à presença de sedimentos finos, barras de canal, canais laterais, remansos e tipo de canal (piscina, fluxo suave, corredeira, rápido, cascata, queda ou canal seco); declividade (medida com um cano de plástico flexível) e sinuosidade do canal. Além disso, foi

registrado continuamente presença de peças de madeira grande, submersas ou acima do canal principal, ambas com diâmetro da maior extremidade incluído nas classes de 0,1- <0,3m; 0,3-0,6m; 0,6-0,8m ou >0,8m e comprimento incluído nas classes de 1,5-5m; 5-15m ou >15m.

A caracterização de cada transecção incluiu: largura molhada (comprimento transversal do igarapé abrangendo os limites de tangência da água nas margens, em metros), largura das barras de canal (se houver, em metros), largura e profundidade do leito sazonal (limite de inundação no período da cheia, em metros), altura da incisão (m) e ângulo de inclinação das margens. Foram mensuradas ainda cinco medidas equidistantes de profundidade associadas ao tipo de substrato, classificados de acordo com o tamanho (rocha lisa ou rugosa, concreto/asfalto, matacão ou matacão largo, seixo, cascalho grosso, cascalho fino, areia, silte/argila/lama, argila consolidada, banco de folhas, matéria orgânica particulada, madeira, raízes, macrófitas e/ou algas). A essas informações foi acrescentada a fração em que cada substrato estava incorporado em sedimentos finos. Substratos de areia fina e lama foram definidos como 100% submersos. Esses descritores (tipo e tamanho do substrato) avaliam a estabilidade para a adesão da biota e indícios de ações antrópicas, como aumento da erosão e entrada de sedimento.

A quantidade de abrigo para peixe foi avaliada em cada transecção ao longo de 10 metros de comprimento no canal principal (cinco metros a montante e cinco a jusante) usando estimativas visuais semiquantitativas da área coberta por: algas filamentosas, macrófitas aquáticas, pedaços grandes de madeira (diâmetro acima de 0,3 m), pedaço pequenos de madeira ou arbustos (diâmetro abaixo de 0,3 m), banco de folhas, árvores vivas ou raízes, vegetação pendurada (a menos de 1 m da superfície da água), margens escavadas, matacão e estruturas artificiais. Todas as ocorrências foram incluídas em uma das seguintes categorias: 0 = ausente (0%); 1 = esparso (< 10%); 2 = médio (10-40%); 3 = denso (40-75%); 4 = muito denso (> 75%).

Para avaliar a estrutura e a densidade da vegetação ripária, estimativas visuais foram realizadas nas duas margens em uma parcela de 10 x 10 metros cada margem, em quatro estratos: dossel (>5 m altura), sub-bosque (0,5 até 5m de altura), vegetação rasteira (<0,5 m de altura) e solo exposto. Esses estratos também foram incluídos em uma das categorias de porcentagem citadas anteriormente. A abertura de dossel foi medida com um densiômetro, mais ou menos 30 cm acima do canal principal no centro de cada transecção, totalizando seis medidas: centro a montante, centro a esquerda,

centro a jusante, centro a direita, esquerda e direita. Esses descritores indicam o quanto de vegetação está recobrando o leito, possibilitando abrigo para alimentação, reprodução, predação e outras interações bióticas entre os organismos.

A presença de atividades humanas foi avaliada visualmente em ambas as margens através da quantificação de presença ou ausência de muro, dique, canalização, gabião, barramento, construções, estrada calçada ou cascalhada, rodovia ou ferrovia, canos para captação ou descarga, entulho, lixo, parques, gramados, plantações de grãos, pastagem, silvicultura, desmatamento e mineração. Os impactos foram incluídos em uma das seguintes categorias: 0 = ausente; P = >10m; C = < 10m; B = na margem. Além dessas, outras informações relevantes foram obtidas como: vazão (m³/s); feição de encaixamento do canal; uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica; nome do local; coordenadas geográficas dos pontos; altitude a montante e a jusante (m) dos trechos e equipe coletora.

No total foram calculadas 224 métricas de hábitat físico em cada igarapé baseados em Kaufmann *et al.* (1999), incluindo 90 métricas de morfologia do canal, 28 de substrato, 30 de abrigo para peixe, 60 de madeira, quatro de cobertura do dossel, 33 de vegetação ripária e 29 de impacto humano. A partir dos dados obtidos, cada igarapé será classificado como referência ou como modificado no que se refere à sua integridade física.

3.4. Cálculo e pontuação do índice de integridade física (IIF)

Inicialmente foi realizada uma pré-seleção das métricas potenciais, onde foram desconsideradas aquelas com amplitude de variação igual a zero. Posteriormente foram realizadas análises exploratórias através de gráficos do tipo *Box-and-whiskers plots* para verificar métricas sem sobreposição dos quartis (Figura 3). Aquelas que não apresentarem nenhuma ou mesmo mínima sobreposição foram consideradas sensíveis na discriminação entre os diferentes graus de integridade. Para confirmar se as análises gráficas eram estatisticamente diferentes, posteriormente foi realizado um Teste *t*-Student ($p < 0,05$), após serem testados os pressupostos de normalidade e homocedasticidade. Quando os pressupostos não foram cumpridos, foi realizado um Teste *t* para variâncias separadas ($p < 0,05$). As métricas que passaram por estes testes foram submetidas a uma análise de redundância através de uma correlação de *Spearman* entre pares de métricas. Quando uma ou mais métricas se mostraram redundantes ($rS >$

0,75 e $p < 0,05$) apenas uma foi escolhida para representar a informação no índice (Baptista *et al.*, 2007).

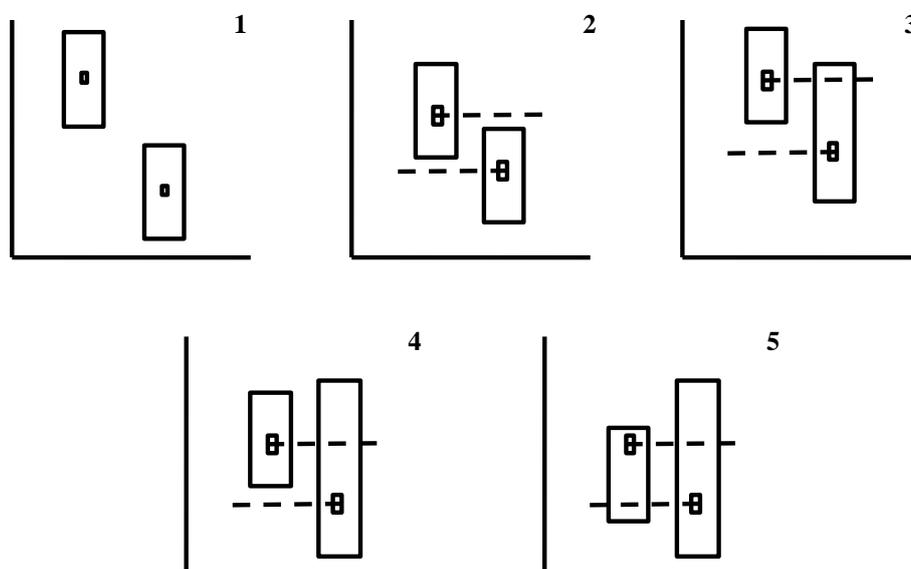


Figura 3. Esquema utilizado na avaliação da sensibilidade das métricas de acordo com Barbour *et al.* (1996). Caixas menores representam as medianas e as maiores representam os intervalos inter-quartis (25-75%). Números 1 e 2 representam métricas com forte discriminação entre os ambientes; número 3 indica baixa discriminação; e números 4 e 5 não discriminam.

Os critérios para pontuação foram baseados nos escores superior e inferior de cada *Box-and-Whisker plot*. Nesta etapa é importante ressaltar que as métricas podem responder positiva ou negativamente ao gradiente de impacto. Sendo assim, os critérios de pontuação para as duas situações irão funcionar de maneira inversa, onde métricas que decrescem com o aumento do impacto terão pontuação positiva, com o percentil 25 utilizado como limite superior para maior pontuação (Figura 3a) e, métricas que crescem com o aumento do impacto terão pontuação negativa, sendo o percentil 75 o divisor da categoria de maior pontuação (Figura 3b). O escore superior representa 75% ou mais da condição encontrada nas referências e o escore inferior corresponde aos valores que não entram na distribuição dessas áreas. Ao primeiro caso é dada a nota 5; ao segundo caso, nota 1; condições intermediárias, ou seja, valores correspondentes a 25% da condição encontrada nas referências, recebem nota 3. O índice foi expresso numericamente a partir do cálculo da média dos escores das métricas restantes para cada igarapé, sendo por fim subdividido em um número de classes de pontuações desejadas. A primeira classe inclui valores mais próximos de um, representando ambientes com

níveis mais baixos de integridade. Aqueles com valores próximos a cinco indicam ambientes com maiores níveis de integridade e os que mostrarem valores próximos de três representam ambientes intermediários. Assim, os valores obtidos formaram três categorias de conservação: alterado, intermediário e preservado (adaptado de Baptista *et al.*, 2007).

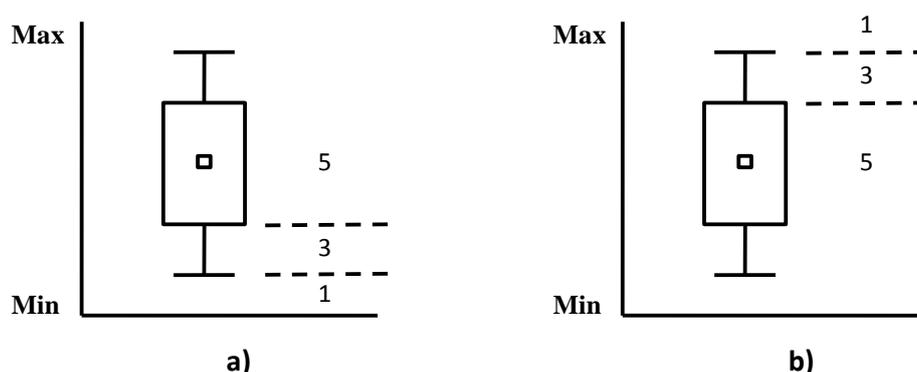


Figura 4. Critério utilizado na determinação dos escores das métricas para formulação do índice de avaliação do habitat físico. Caixas menores representam as medianas e as maiores representam os intervalos inter-quartis (25-75%). A condição “a” mostra o critério de pontuação de uma métrica que diminui o valor conforme a degradação aumenta e a condição “b” para uma métrica que aumenta o valor conforme a degradação também aumenta. Redesenhado a partir de Baptista *et al.* (2007).

4. REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. A.; THOMAZ, S. M. & GOMES, L. C. 2005. Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil. **Megadiversidade**, 1(1): 70-78.

BOJSEN, B. H. & BARRIGA, R. 2002. Effects of deforestation on fish community structure in Ecuadorian Amazon streams. **Freshwater Biology**, 47: 2246-2260.

BOZZETTI, M. & SCHULZ, U. H. 2004. An index of biotic integrity based on fish assemblages for subtropical streams in southern Brazil. **Hydrobiologia**, 529: 133-144.

CASATTI, L.; FERREIRA, C. P. & CARVALHO, F. R. 2009. Grass-dominated stream sites exhibit low fish species diversity and dominance by guppies: an assessment of two tropical pasture river basins. **Hydrobiologia**, 632: 273-283.

CASATTI, L. 2010. Alterações no Código Florestal Brasileiro: impactos potenciais sobre a ictiofauna. **Biota Neotropica**, 10(4): 31-34.

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

GROWNS, I.; GEHRKE, P. C.; ASTLES, K. L. & POLLARD, D. A. 2003. A comparison of fish assemblages associated with different riparian vegetation types in the Hawkesbury–Nepean River system. **Fisheries Management and Ecology**, 10: 209–220.

HERING, D.; FELD, C. K.; MOOG, O. & OFENBÖCK, T. 2006. Cook book for the development of a Multimetric Index for biological condition of aquatic ecosystems: experiences from the European AQEM and STAR projects and related initiatives. **Hydrobiologia**, 566: 311–324.

KARR, J. R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. **Fisheries**, 6(6): 21-27.

KARR, J. R. & CHU, E.W. 1999. **Restoring life in running waters: better biological monitoring**. Island Press, Washington DC.

KAUFMANN, P. R.; LEVINE, P.; ROBISON, E. G.; SEELIGER, C. & PECK, D. V. 1999. **Quantifying physical habitat in wadeable streams**. U.S. Environmental Protection.

LAURANCE, W. L.; ALBERNAZ, A. K. M.; FEARNSIDE, P. M.; VASCONCELOS, H & FERREIRA, L. V. 2004. Deforestation in Amazonia. **Science**, 304: 1109-1111.

LYONS, J.; NAVARRO-PÉREZ, S.; COCHRAN, P. A.; SANTANA, E. C. & GUZMÁN-ARROYO, M. 1995. Index of Biotic Integrity Based on Fish Assemblages for the Conservation of Streams and Rivers in West-Central Mexico. **Conservation Biology**, 9: 569–584.

OLIVEIRA, R. B. S.; CASTRO, C. M. & BAPTISTA, D. F. 2008. Desenvolvimento de índices multimétricos para utilização em programas de monitoramento biológico da integridade de ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, 12: 487-505.

PUSEY, B. J. & ARTHINGTON, A. H. 2003. Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: a review. **Marine and Freshwater Research**, 54: 1-16.

RABURU, P. O. & MASESE, F. O. 2012. Development of a fish-based index of biotic integrity (FIBI) for monitoring riverine ecosystems in the lake Victoria Drainage Basin, Kenya. **River Research and Applications**, 28: 23–38.

RICKLEFS, R. E. 2009. **A Economia da Natureza**. 6ª ed. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 620 p.

ROSENVALD, R.; JÄRVEKÜLG, R. & LÕHMUS, A. 2014. Fish assemblages in forest drainage ditches: Degraded small streams or novel habitats? **Limnologica**, 46: 37-44.

TERRA, B. F.; HUGHES, R. M.; FRANCELINO, M. R. & ARAÚJO, F. G. 2013. Assessment of biotic condition of Atlantic Rain Forest streams: A fish-based multimetric approach. **Ecological Indicators**, 34: 136–148.

VOLGEL, H. F.; ZAWADZKI, C. H. & METRI, R. 2009. Florestas ripárias: importância e principais ameaças. **Revista de Saúde e Biologia**, 4: 24-30.

WANG, B.; LIU, D.; LIU, S.; ZHANG, Y.; LU, D. & WANG, L. 2012. Impacts of urbanization on stream habitats and macroinvertebrate communities in the tributaries of Qiangtang River, China. **Hydrobiologia**, 680: 39-51.

Capítulo único formatado de acordo com as normas da **Revista Hydrobiologia**,

disponível em

<http://www.springer.com/life+sciences/ecology/journal/10750?detailsPage=pltei_911058>

**EFEITO DA ALTERAÇÃO DO HÁBITAT SOBRE ASSEMBLEIAS DE PEIXES EM IGARAPÉS
AFOGADOS DA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Híngara Leão; Cristiane de Paula Ferreira; Luciano Fogaça de Assis Montag

H. Leão (Autor para correspondência)

Programa de Pós-graduação em Ecologia Aquática e Pesca; Laboratório de Ecologia e Conservação,
Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, Belém,
PA 66075-110, Brasil.

E-mail: hingaraleao@gmail.com

C. P. Ferreira

Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa,
01, Guamá, Belém, PA 66075-110, Brasil.

L. F. A. Montag

Laboratório de Ecologia e Conservação, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará,
Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, Belém, PA 66075-110, Brasil.

RESUMO

Na região Amazônica, o uso dos recursos e ocupação da terra estão gradativamente alterando a estrutura do hábitat de ecossistemas aquáticos, influenciando a estrutura e organização das comunidades biológicas. Com o objetivo de avaliar como as assembleias de peixes respondem a essas alterações, foram mensurados atributos do hábitat físico, testando a hipótese de que ambientes estruturalmente mais íntegros suportam uma ictiofauna mais diversa, pois esta é limitada pela qualidade e complexidade do meio físico. O estudo foi realizado em trechos de 150 metros de 34 igarapés localizados no baixo rio Anapu em uma Unidade de Conservação e no seu entorno na Amazônia Oriental. Apesar de detectarmos um conjunto de métricas que responderam ao gradiente de alteração do hábitat, estas não expressaram influência no número de espécies entre os níveis de preservação, mantendo praticamente constante a

riqueza e abundância para ambientes alterados, intermediários e íntegros. Entretanto, a diferença na composição mostrou que existem grupos taxonômicos mais sensíveis e outros mais resistentes às modificações ambientais que se favorecem frente à perda de espécies de grupos menos resilientes, indicando que mesmo com riquezas equivalentes, áreas florestadas não prístinas são insuficientes para manter comunidades similares às de ambientes preservados.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de integridade física, ictiofauna, riqueza de espécies, igarapés amazônicos.

INTRODUÇÃO

Os ambientes aquáticos continentais estão entre os ecossistemas que mais sofrem intervenções antrópicas diante do constante crescimento de demandas urbanas, agrícolas e industriais (Castello et al., 2013). A sua forte dependência da vegetação ripária torna esses ambientes suscetíveis à degradação, o que tem sido refletido em grandes áreas de desmatamento. Estima-se que, na última década, cerca de 13 milhões de hectares de florestas tropicais já foram convertidos em áreas para a expansão da agricultura (FAO, 2010) e mais 403 milhões de hectares são utilizados atualmente para a exploração madeireira (Blaser *et al.*, 2011). Essas altas taxas de desmatamento, além de causarem alterações imediatas na paisagem terrestre, modificam a dinâmica de rios e riachos, tornando cada vez menos comum a existência de áreas prístinas, sendo poucos os rios de pequeno e grande porte que ainda mantêm preservadas e íntegras suas condições naturais.

A vegetação ripária é um importante componente dos sistemas lóticos por atuarem na retenção de sedimentos e outras substâncias provenientes do ambiente terrestre adjacente (Gregory et al., 1991), na regulação da produtividade primária (Kiffney et al., 2004) e da temperatura do ecossistema (Lorion & Kennedy, 2009) e no fornecimento de material alóctone para dentro do canal, possibilitando alimento, sítios reprodutivos e refúgios para a biota (Schneider & Winemiller, 2008). A supressão dessa vegetação resulta no aumento de processos erosivos, aumento da turbidez da água e assoreamento do leito dos rios (Nakamura & Yamada, 2005). Com isso, o substrato é alterado, reduzindo a disponibilidade de microhabitats para a biota e modificando a composição das comunidades de macroinvertebrados (Yoshimura, 2012), que são importante fonte alimentar para peixes de riachos (Russo et al., 2002). Essa

modificação juntamente com a redução no fornecimento de material alóctone altera as relações tróficas entre os organismos, afetando a estrutura e composição de toda a comunidade aquática (Pusey & Arthington, 2003).

O estudo da qualidade do hábitat físico em igarapés é essencial em pesquisas ecológicas que avaliam o efeito de alterações ambientais sobre comunidades, pois as espécies geralmente apresentam associações com hábitats específicos, onde perturbações no ambiente físico desempenham um papel determinante na estruturação de comunidades nesses ambientes (Meffe & Sheldon, 1988). Segundo Southwood (1977), o potencial biológico de um rio é limitado pela qualidade do meio físico, que forma um conjunto dentro do qual as comunidades biológicas se desenvolvem. Essa condição, chamada pelo autor de *habitat template*, propõe que a variabilidade temporal e espacial do hábitat físico influencia na combinação de determinadas características que moldam o comportamento, fisiologia e características de história de vida das espécies e, conseqüentemente, estruturam a comunidade.

Na região Amazônica ainda é bastante incipiente o conhecimento sobre as respostas da ictiofauna de igarapés às perturbações ambientais. Nesse contexto, a Amazônia Oriental apresenta um cenário propício para avaliar o efeito de atividades antrópicas sobre essas comunidades, pois além do desenvolvimento de áreas urbanas, apresenta um longo histórico de ocupação e desmatamento, possuindo uma das poucas unidades de conservação no estado do Pará, a Floresta Nacional de Caxiuanã (FLONA de Caxiuanã). Na área do entorno da FLONA, o processo de urbanização encontra-se em expansão, alcançando áreas de florestas e corpos hídricos que ainda permanecem preservados. Além disso, a região está inserida no principal pólo madeireiro da zona do estuário no estado do Pará, onde a atividade econômica gira em torno do extrativismo vegetal, o que tem resultado em uma produção de madeira em tora de 26% da produção total do estado (Veríssimo et al., 2006). Toda a região é caracterizada por um grande número de igarapés chamados de “afogados” devido a um evento geológico ocorrido a 7.000 anos atrás que resultou no represamento natural de seus cursos d’água.

Diante do exposto, o presente trabalho visou descrever e mensurar atributos físicos do hábitat de igarapés afogados, com o objetivo de avaliar como as assembleias de peixes respondem aos diferentes níveis de integridade física apresentados pelos igarapés. Nossa hipótese é de que ambientes estruturalmente mais íntegros suportam uma ictiofauna mais diversa, com maior riqueza e abundância e com composição diferenciada de ambientes impactados. Isso ocorre devido à diminuição na complexidade ambiental desses ambientes, que acaba limitando o potencial ecológico do ecossistema.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo incluiu 17 igarapés localizados dentro da Floresta Nacional de Caxiuanã (FLONA de Caxiuanã) e 17 no seu entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, ambos situados no estado do Pará, Brasil (Fig. 1). A FLONA está situada na porção inferior do rio Anapu, entre os rios Tocantins e Xingu com área coberta por floresta densa de terra firme e por floresta de inundação (várzea e igapó) (Lisboa, 1997). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Am, caracterizado como tropical quente e úmido, com curto período de estiagem que se prolonga de agosto à novembro e maior duração do período chuvoso nos meses de dezembro à junho (Oliveira et al., 2008a). A variação fluviométrica do rio é de 70 cm, com pico de cheia no mês de março e o de seca no mês de novembro, com variação do nível das águas bastante discreto na região, diferenciando pouco as duas épocas do ano, porém com inundação diária devido à influência do fluxo de marés, em virtude da proximidade da área do estuário do Amazonas. Seus igarapés apresentam águas ácidas ($\text{pH} \approx 5,5$), profundidade de aproximadamente 30 cm e leito recoberto por muitos folhiços e troncos submersos (Montag et al., 2009).

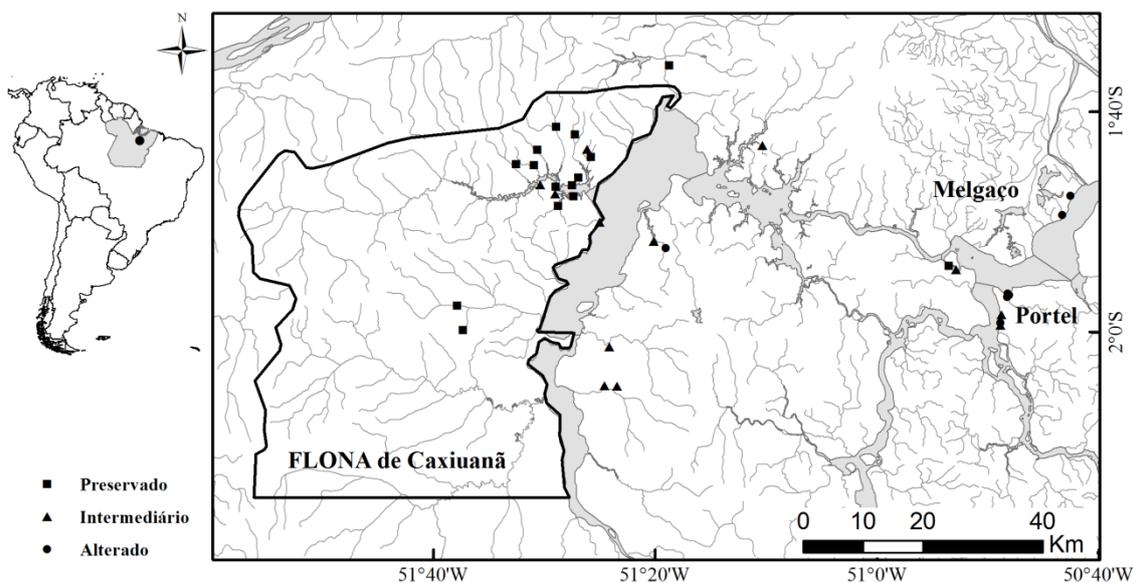


Fig. 1 - Localização dos 34 igarapés amostrados no período de estiagem nos anos de 2012 e 2013 dentro da FLONA de Caxiuanã e no seu entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil. Um ponto

pode representar mais de um local no mapa (Círculos representam igarapés íntegros, quadrados representam igarapés intermediários e triângulos, igarapés alterados).

A região apresenta uma condição hidrográfica peculiar ainda pouco conhecida, constituindo um lago natural com formação derivada do afogamento dos vales do rio Anapu durante o Holoceno, o que resultou no represamento do rio e no aparecimento de características lacustres, caracterizando a região como uma “ria fluvial”. Assim, rios e igarapés passaram a apresentar características de ambientes lênticos e por isso são chamados de “afogados”, resultado da perda de grande parte de suas planícies de inundação marginais, com áreas de terra firme bem próximas às bordas dos rios (Behling & da Costa, 2000). Devido a esse “afogamento” dos igarapés, estes são, em geral, muito largos, apresentando baixa profundidade e correnteza, oferecendo à ictiofauna condições particulares bastante diferenciadas de outras regiões da Amazônia. Os rios e igarapés da região apresentam também, pouco material em suspensão, classificando-os como rios de água preta devido à presença de material orgânico solúvel (ácidos húmicos e fúlvicos) produzido pela decomposição da matéria orgânica proveniente da floresta (Sioli, 1984).

Escolha dos locais de referências

Para avaliar o hábitat físico dos igarapés foi utilizado um índice multimétrico que consiste em uma ferramenta de avaliação ambiental composta por vários atributos do hábitat capazes de fornecer informações sobre os efeitos de impactos antrópicos (Oliveira et al., 2008b). Para isso, foi necessário estabelecer um gradiente que apresentasse diferentes níveis de intensidade do impacto, desde áreas pouco ou minimamente impactadas (referência) até áreas altamente degradadas (Oliveira et al., 2008b). A escolha dos locais de referência foi estabelecida *a priori*, compondo 17 igarapés localizados dentro da FLONA de Caxiuanã, com base nas condições oferecidas pela unidade de conservação, onde ainda existem extensas áreas de floresta preservada, oferecendo condições ideais à ocorrência de áreas prístinas. Toda a região amostrada constitui uma zona geograficamente homogênea sujeita a tipos semelhantes de efeitos, pois essa informação é importante para que o índice multimétrico gerado não seja comprometido pelos vários fatores ambientais que naturalmente afetam a estrutura das assembleias em diferentes escalas espaciais (Tejerina-Garro et al., 2005).

Coleta dos dados em campo

As coletas foram realizadas no período de seca, em outubro e novembro de 2012 e outubro de 2013. A amostragem nesse período justifica-se pela facilidade na coleta dos indivíduos e na mensuração dos atributos do ambiente físico, aumentando assim sua eficiência (Jaramillo-Villa & Caramaschi, 2008). Em cada igarapé foi traçado um trecho de 150 metros, subdivididos em dez segmentos de quinze metros. Esses segmentos foram separados por onze transecções nomeadas de “A” a “K” (sendo a transecção A sempre a jusante e K sempre a montante). Em cada trecho, foram mensuradas as variáveis físico-químicas da água tomadas em três pontos equidistantes (antes da coleta dos peixes), sendo elas: temperatura (°C), pH e condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Os peixes foram amostrados com redes de mão com malha de 3 mm entre nós opostos. Para posterior comparação dos igarapés foi estabelecido um esforço amostral de seis horas por trecho, subdivididas entre os segmentos (36 minutos por segmento) e entre os coletores (três). Os peixes coligidos foram sacrificados com doses letais de anestésico (Eugenol, óleo de cravo, cf. American Veterinary Medical Association, 2001), fixados em solução de formalina 10% e após 48h transferidos para álcool 70% para posterior identificação no Laboratório de Ecologia e Conservação do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pará. A identificação dos indivíduos foi realizada ao menor nível taxonômico possível utilizando literatura especializada (p. ex. Gery, 1977; Kullander, 1986; Britski et al., 2007) e auxílio de especialistas.

Protocolo de amostragem do hábitat físico

O hábitat físico de cada igarapé foi avaliado seguindo a metodologia de avaliação de riachos de Peck et al. (2006), gerando informações sobre: morfologia do canal, substrato, abrigo para peixe, madeira, cobertura do dossel, vegetação ripária e influência humana. Um total de 224 métricas foram utilizadas para representar atributos relevantes do hábitat, as quais foram calculadas utilizando procedimentos descritos por Kaufmann et al. (1999). Métricas foram adicionadas ao conjunto já existente no protocolo citado, levando em consideração as características peculiares da região estudada, o que envolveu o acréscimo de substratos como: matéria orgânica, banco de folhas e raízes.

Cálculo e pontuação do índice de integridade física (IIF)

Inicialmente foi realizada uma pré-seleção das métricas potenciais mensuradas, onde foram desconsideradas aquelas com amplitude de variação igual a zero. Posteriormente, foram realizadas análises exploratórias através de gráficos do tipo *Box-and-whiskers plots* para verificar métricas sem sobreposição dos quartis (Barbour et al., 1996). Aquelas que não apresentaram nenhuma ou mesmo mínima sobreposição foram consideradas sensíveis na discriminação entre os diferentes graus de degradação. Para confirmar se as análises gráficas eram estatisticamente diferentes, posteriormente foi realizado um Teste *t*-Student ($p < 0,05$), após serem testados os pressupostos de normalidade e homocedasticidade. Quando os pressupostos não foram cumpridos, foi realizado um Teste *t* para variâncias separadas ($p < 0,05$). As métricas que passaram por estes testes foram submetidas a uma análise de redundância através de uma correlação de *Spearman*. Quando duas métricas mostraram-se redundantes ($r_s > 0,70$ e $p < 0,05$) apenas uma foi escolhida para representar a informação no índice (Baptista et al., 2007). Os critérios para pontuação foram baseados nos escores superior e inferior de cada *Box-and-Whisker plot* de acordo com a metodologia de Barbour et al. (1996). Nesta etapa é importante ressaltar que as métricas podem responder positiva ou negativamente ao gradiente de impacto, sendo os critérios de pontuação para as duas situações realizados de maneira inversa. O índice foi expresso numericamente a partir do cálculo da média dos escores das métricas restantes, sendo por fim subdividido em um número de classes de pontuações desejadas (Barbour et al., 1996).

Os valores das métricas utilizadas no índice de avaliação do hábitat e as variáveis físico-químicas da água foram sumarizados pela Análise de Componentes Principais (PCA) com os dados padronizados para visualizar a distinção entre os níveis de preservação ao longo do gradiente de impacto. Para determinar quais componentes principais seriam retidos para análise foi utilizada a aleatoriedade obtida pelo modelo de broken-stick (Jackson, 1993). Uma análise de variância (ANOVA One-way) foi realizada com os escores gerados pela PCA, com os testes de normalidade e homocedasticidade atendidos, para verificar se a diferença observada entre os níveis de preservação eram estatisticamente diferentes ($p < 0,05$).

Relação entre o hábitat físico e a ictiofauna

A riqueza e abundância de espécies dos igarapés foram testadas por nível de integridade através de uma ANOVA One-way ($p < 0,05$), com os testes de normalidade e homocedasticidade testados

previamente. Para verificar a existência de padrões de agrupamento entre as assembleias de peixes, os dados de abundância das espécies foram submetidos a uma análise de Escalonamento Multidimensional Não-métrico (NMDS) a partir do índice de similaridade de Bray-Curtis, com os valores transformados em $\log(x+1)$. A NMDS é uma técnica de ordenação cujo cálculo é baseado em uma matriz de similaridade e cuja eficiência é demonstrada pelo índice de *stress*, ($< 0,2 =$ boa ordenação) (Clarke & Warwick, 1994). Para verificar se houve diferença significativa na composição de espécies entre os grupos de integridade física foi realizada uma análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA) com 9.999 permutações ($p < 0,05$). Adicionalmente, foi elaborado um gráfico de ordenação direta, sendo o eixo X representado pelos valores do IIF e o eixo Y pela abundância relativa de cada espécie, para se observar como ocorre a distribuição da assembleia de peixes ao longo do gradiente de distúrbio. Espécies com abundância menor que sete foram excluídas nessa ordenação.

Para identificar as respostas das espécies ao gradiente de perturbação utilizamos o método TITAN (*Threshold Indicator Taxa Analysis*). Este método (Baker & King, 2010) permite a identificação de limites ou pontos de mudanças ao longo de um gradiente de alteração ambiental para cada táxon, detectando alterações na distribuição das espécies. O TITAN utiliza os valores do IndVal (*Value Indicator*) para identificar esses pontos de mudança. Uma espécie foi considerada significativamente associada à baixa ou alta perturbação quando o IndVal foi menor que 0,05 e os valores de pureza e confiabilidade, ambos maiores que 0,95. Foram identificados ainda dois limites para a comunidade, associados com baixa e alta perturbação. Com isso, as espécies foram agrupadas de acordo com o sentido da resposta ao nível de integridade do ambiente, em espécies associadas à baixa integridade física do hábitat (z^-) e espécies associadas à alta integridade (z^+) ao longo do gradiente de perturbação. Espécies que ocorreram em menos de quatro sítios foram excluídas para remover *outliers* que representassem possível viés (Baker & King, 2010). Todas as análises foram realizadas pelo programa computacional R (R Development Core Team, 2011), utilizando o pacote *mvpart* para a análise TITAN (Baker & King, 2010) e o pacote *vegan* (Oksanen et al. 2011) para as demais análises.

RESULTADOS

Hábitat físico

Do total de 224 métricas utilizadas para avaliar o hábitat físico, 98 foram excluídas inicialmente por apresentar variância igual à zero. Das 126 métricas restantes, 42 foram consideradas sensíveis para discriminar entre igarapés referências e testes, das quais 23 foram consideradas significativas pela análise do Teste *t*. Estas 23 métricas foram avaliadas em uma matriz de correlação, onde apenas sete restaram para compor o IIF, sendo elas: profundidade do talvegue, ângulo das margens, porcentagem de substrato composto por madeira, cobertura por vegetação do sub-bosque (ervas), cobertura por vegetação intermediária (árvores lenhosas e não-lenhosas entre 0,5 e 5 metros de altura), número de madeiras no leito + dependuradas (classe de tamanho 3) e proporção de impacto humano total (calculada através do registro de impactos como estradas, construções, plantações, desmatamento, entre outros) (Fig. 2). A classe de tamanho 3 corresponde aos pedaços grandes de madeira de acordo com a combinação das classes de diâmetro (> 10 cm) e comprimento (> 1,5m).

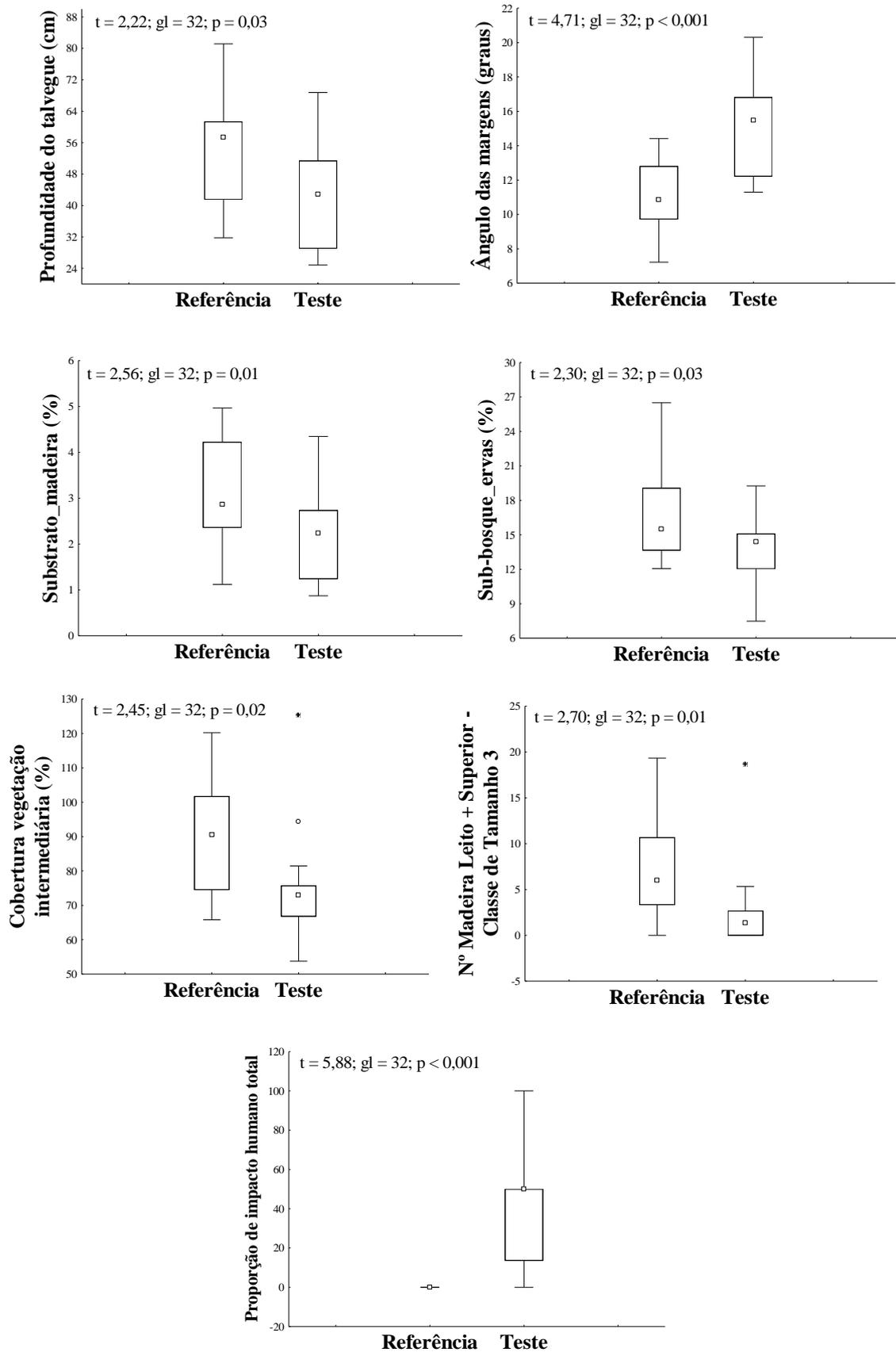


Fig. 2. *Box-and-whiskers plots* das sete métricas sensíveis que discriminaram sítios referências e testes. Os quadrados pequenos representam as medianas, as caixas representam os intervalos inter-quartis (25-

75%), as barras mostram os intervalos de valores máximos e mínimos, os círculos representam *outliers* e os asteriscos representam os extremos.

Os valores correspondentes à variação dos interquartis de cada uma das sete métricas nas áreas referências foram utilizados como limite para separar as três pontuações possíveis na geração do IIF (Tabela 1). O índice foi calculado para os 34 sítios amostrados, variando de 1,9 (sítio com menor nível de integridade) a 5,0 (sítio com maior nível de integridade) (Tabela 2). Assim, igarapés com valores de IIF de 1,9 a 2,9 foram classificados como alterados ($n = 7$), de 3,0 a 4,0 foram classificados como intermediários ($n = 12$) e de 4,1 a 5,0 classificados como íntegros ($n = 15$). A maioria dos igarapés com altos valores de integridade encontram-se dentro dos limites da unidade de conservação federal (FLONA de Caxiuanã), apresentando características físicas estruturais praticamente inalteradas. Já os igarapés com menores valores estão localizados próximos aos centros urbanos de Portel e Melgaço, sob influência de modificações antrópicas.

Tabela 1. Métricas selecionadas, resposta prevista conforme o aumento de degradação e escores utilizados para pontuação (x = valor da métrica).

Métrica	Resposta ao impacto	Escores		
		5	3	1
Profundidade do talvegue	Diminui	$x > 41$	$31 < x \leq 41$	$x \leq 31$
Ângulo das margens	Aumenta	$x \leq 12$	$12 < x \leq 14$	$x > 14$
Porcentagem de substrato composto por madeira	Diminui	$x > 2,3$	$1,1 < x \leq 2,3$	$x \leq 1,1$
Cobertura por vegetação do sub-bosque (ervas)	Diminui	$x > 13,7$	$12 < x \leq 13,7$	$x \leq 12$
Cobertura por vegetação intermediária	Diminui	$x > 74,9$	$65,9 < x \leq 74,9$	$x \leq 65,9$
Número de madeira no leito + dependuradas - classe de tamanho 3	Diminui	$x > 3$	$0 < x \leq 3$	$x = 0$
Proporção de impacto humano total	Aumenta	$x = 0$	$x > 9$	-

Tabela 2. Localização dos pontos de coleta com respectivas classificações e valores do índice de integridade física (IIF) amostrados no período de estiagem nos anos de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil.

Localização (UTM)				
Longitude	Latitude	Categoria	Classificação	IIF
530956	9798493	Teste	Alterado	1,9
522019	9785114	Teste	Alterado	2,4
521766	9784822	Teste	Alterado	2,4
464731	9793034	Teste	Alterado	2,7

521794	9785344	Teste	Alterado	2,7
520629	9780475	Teste	Alterado	2,7
532291	9801729	Teste	Alterado	2,7
480801	9810184	Teste	Intermediário	3,0
513172	9789419	Teste	Intermediário	3,0
520635	9780066	Teste	Intermediário	3,0
446174	9802029	Referência	Intermediário	3,3
456587	9769924	Teste	Intermediário	3,3
462652	9794117	Teste	Intermediário	3,3
451536	9809473	Referência	Intermediário	3,6
453670	9797290	Referência	Intermediário	3,6
520743	9781856	Teste	Intermediário	3,6
443717	9803588	Referência	Intermediário	3,9
454459	9769985	Teste	Intermediário	3,9
455223	9776476	Teste	Intermediário	3,9
446659	9800018	Referência	Preservado	4,1
439663	9807026	Referência	Preservado	4,1
465221	9823510	Teste	Preservado	4,1
450082	9804747	Referência	Preservado	4,4
443221	9809458	Referência	Preservado	4,4
446291	9803220	Referência	Preservado	4,4
429818	9783358	Referência	Preservado	4,4
511977	9790027	Teste	Preservado	4,4
449285	9801643	Referência	Preservado	4,7
430796	9779293	Referência	Preservado	4,7
452148	9808217	Referência	Preservado	4,7
449022	9803534	Referência	Preservado	4,7
449487	9812015	Referência	Preservado	5,0
446369	9813242	Referência	Preservado	5,0
442675	9806851	Referência	Preservado	5,0

Quanto à morfologia do canal os igarapés mostraram-se largos (Média = 4,85 m; Desvio padrão = $\pm 4,42$) e pouco profundos (Média = 48,19 cm; Desvio padrão = $\pm 18,82$), apresentando águas ácidas (Média = 6,28; Desvio padrão = $\pm 0,96$), condutividade média de 12,44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Desvio padrão = $\pm 3,46$), concentração média de oxigênio dissolvido de 5,96 mg/L (Desvio padrão = $\pm 3,44$) e temperatura média de 25,91 °C (Desvio padrão = $\pm 1,09$) (Tabela 3). Essas quatro variáveis físicas e químicas juntamente com as sete métricas utilizadas para compor o IIF foram sumarizadas na PCA, mostrando haver separação dos grupos de igarapés por nível de integridade física do habitat (Fig. 3), o que foi corroborado pela análise de variância (ANOVA = $F_{(2, 31)} = 39,51$; $p < 0,001$). A associação dos dois primeiros eixos da PCA representou 46,71% da variação observada nos dados. No entanto, essa variação é explicada apenas pelo primeiro eixo (29,3%; autovalor = 2,93), uma vez que o segundo eixo não apresentou valor

observado maior que o valor estimado pelo Broken-stick (17,41%; autovalor = 1,74). Os igarapés com menores níveis de integridade do hábitat físico estão correlacionados com a proporção de impacto humano observado nesses ambientes (Tabela 4).

Tabela 3. Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão dos fatores abióticos amostrados no período de estiagem nos anos de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil (DP = desvio padrão; Temp = temperatura; pH = potencial hidrogeniônico; Cond = condutividade; Prof = profundidade).

	Temp. (°C)	pH	Cond. (µS/cm)	Largura (m)	Prof. (cm)
Média	25,91	6,28	12,44	4,85	48,19
Máximo	28,80	8,20	22,80	60,00	135,00
Mínimo	24,20	4,68	2,60	1,10	2,00
DP	1,09	0,96	3,46	4,42	18,82

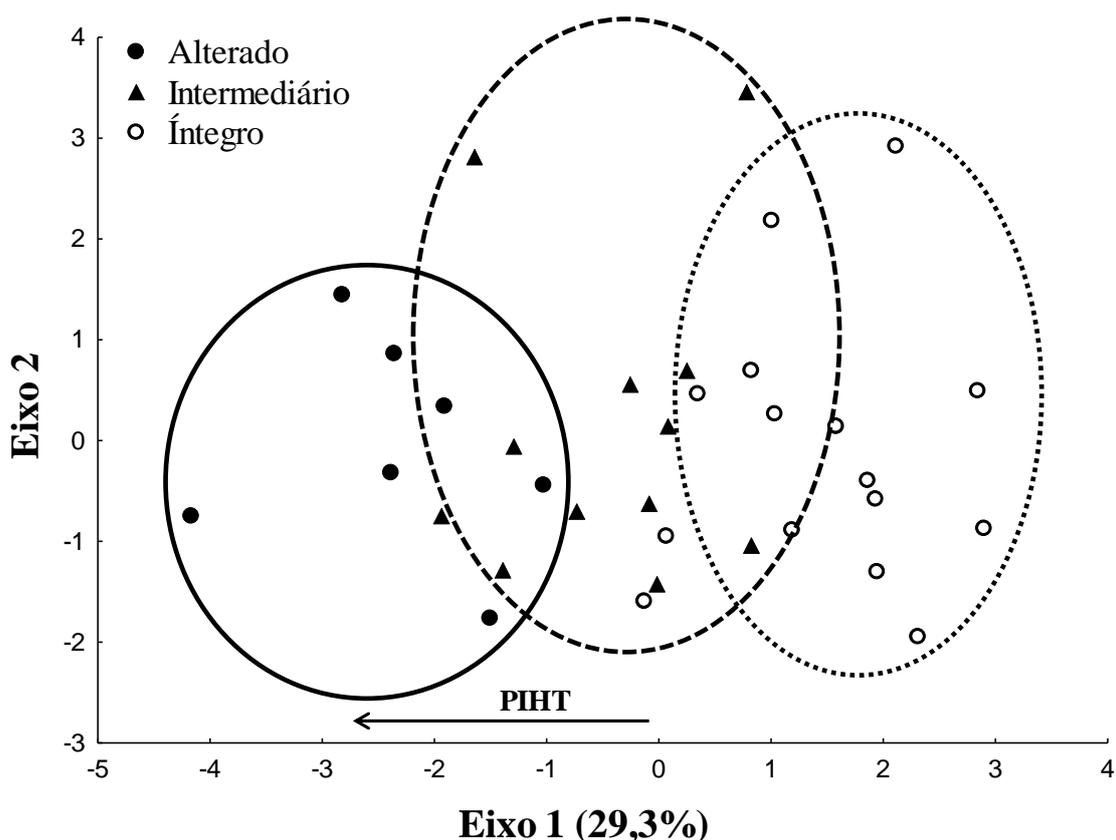


Fig. 3. Ordenação das variáveis físicas e químicas e ambientais através da Análise de Componentes Principais (PCA) para as diferentes condições ambientais dos igarapés amostrados no período de estiagem nos anos de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, PA, Brasil (PIHT = proporção de impacto humano total).

Tabela 4. Variáveis físicas e químicas e ambientais mensuradas em igarapés sob diferentes níveis de integridade nos anos de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil, suas correlações com os Eixos 1 e 2 da Análise de Componentes Principais (PCA), autovalores, porcentagem de explicação e valores de Broken-stick dos eixos. Valores com asterisco indicam variáveis que mais se correlacionaram com os ambientes íntegros.

Variável	Loadings	
	Eixo 1	Eixo 2
Profundidade do talvegue (cm)	0,691	0,099
Ângulo da margem (graus)	-0,698	-0,205
Porcentagem de substrato composto por madeira (%)	0,625	0,051
Sub-bosque ervas (%)	0,353	-0,292
Cobertura de vegetação intermediária (%)	0,668	-0,428
Número de madeira no leito + acima do leito (classe de tamanho 3)	0,627	0,347
Proporção de Impacto humano total	-0,712*	-0,322
Temperatura (°C)	-0,307	0,740
pH	0,073	-0,685
Condutividade	0,056	-0,420
Autovalor	2,930	1,741
% de explicação	29,302	17,41
Broken-stick	2,929	1,929

Ictiofauna

Quanto à ictiofauna, foram coligidos 20.398 indivíduos, pertencentes a nove ordens, 29 famílias e 76 espécies (Tabela 5). As ordens mais representativas em termos de abundância foram Characiformes (68%), Perciformes (26,15%) e Siluriformes (2,63%). Entre as famílias, destacam-se em termos de abundância, as famílias Lebiasinidae (32,4%), Cichlidae (26%) e Characidae (20,1%). Dentre as espécies, *Copella arnoldi* (23,84%), *Apistogramma gr. agassizii* (13,47%) e *Crenuchus spilurus* (10,34%) foram as mais abundantes. Nos igarapés alterados foram coletados 3.364 indivíduos pertencentes a 52 espécies, os intermediários resultaram em 7.286 indivíduos com 52 espécies e os preservados apresentaram 9.748 exemplares inseridos em 53 espécies.

Tabela 5. Espécies de peixes coligadas em 34 igarapés afogados amostrados durante o período de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil, com seus respectivos valores de abundância absoluta para os diferentes níveis de integridade física do hábitat (táxons listados em ordem alfabética).

Táxon	Voucher	Alterado	Intermediário	Íntegro	Total
BELONIFORMES		3	1	2	6
Belonidae		3	1	2	6
<i>Belonion</i> sp.		1	0	1	2
<i>Potamorrhaphis guianensis</i> (Jardine, 1843)		2	1	1	4
CHARACIFORMES		2130	4965	6776	13871
Acestrorhynchidae		0	1	0	1
<i>Acestrorhynchus</i> sp.		0	1	0	1
Characidae		1358	1255	1492	4105
<i>Gnathocharax steindachneri</i> Fowler, 1913		0	0	25	25
<i>Hemigrammus bellottii</i> (Steindachner, 1882)		133	0	144	277
<i>Hemigrammus</i> cf. <i>microstomus</i>		7	0	0	7
<i>Hemigrammus</i> cf. <i>ocellifer</i>		169	138	46	353
<i>Hemigrammus guyanensis</i> Géry, 1959		1	94	432	527
<i>Hemigrammus unilineatus</i> (Gill, 1858)		2	0	1	3
<i>Hyphessobrycon heterorhabdus</i> (Ulrey, 1894)		168	929	835	1932
<i>Iguanodectes rachovii</i> Regan, 1912		0	3	2	5
<i>Iguanodectes</i> sp.		49	6	0	55
<i>Priocharax</i> sp.		0	0	4	4
<i>Pristella maxillaris</i> (Ulrey, 1894)		829	85	3	917
Crenuchidae		250	964	1077	2291
<i>Crenuchus spilurus</i> Günther, 1863		249	912	948	2109
<i>Microcharacidium weitzmani</i> Buckup, 1993		1	52	129	182
Curimatidae		0	7	2	9
<i>Cyphocharax spilurus</i> (Günther, 1864)		0	7	2	9
Erythrinidae		18	13	20	51
<i>Erythrinus erythrinus</i> (Bloch & Schneider, 1801)		0	1	8	9
<i>Hoplerythrinus unitaeniatus</i> (Spix & Agassiz, 1829)		1	2	2	5
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)		17	10	10	37
Gasteropelecidae		3	122	670	795

<i>Carnegiella strigata</i> (Günther, 1864)	3	122	670	795
Hemiodontidae	3	0	0	3
Hemiodontidae sp.	3	0	0	3
Lebiasinidae	498	2603	3515	6616
<i>Copeina guttata</i> (Steindachner, 1876)	1	8	5	14
<i>Copella arnoldi</i> (Regan, 1912)	197	1421	3244	4862
<i>Copella nigrofasciata</i> (Meinken, 1952)	236	1142	205	1583
<i>Nannostomus eques</i> Steindachner, 1876	29	25	25	79
<i>Nannostomus trifasciatus</i> Steindachner, 1876	0	0	31	31
<i>Nannostomus unifasciatus</i> Steindachner, 1876	26	0	0	26
<i>Pyrrhulina semifasciata</i> Steindachner, 1876	1	0	1	2
<i>Pyrrhulina</i> sp.	8	7	4	19
CYPRINODONTIFORMES	201	152	98	451
Poeciliidae	153	109	1	263
<i>Fluviphylax</i> cf. <i>palikur</i>	45	109	1	155
<i>Poecilia parae</i> Eigenmann, 1894	108	0	0	108
Rivulidae	48	43	97	188
<i>Anablepsoides urophthalmus</i> (Günther, 1866)	7	13	1	21
<i>Rivulus</i> sp.1	31	27	96	154
<i>Rivulus</i> sp.2	10	3	0	13
GYMNOTIFORMES	19	41	126	186
Gymnotidae	0	12	20	32
<i>Gymnotus</i> cf. <i>coropinae</i>	0	5	11	16
<i>Gymnotus</i> gr. <i>pantherinus</i>	0	7	9	16
Hypopomidae	19	26	100	145
<i>Brachyhypopomus</i> cf. <i>brevirostris</i>	11	12	70	93
<i>Brachyhypopomus</i> sp.1	1	0	0	1
<i>Brachyhypopomus</i> sp.2	0	1	0	1
<i>Hypopygus benoneae</i> Peixoto, Dutra, de Santana & Wosiacki, 2013	0	0	3	3
<i>Hypopygus lepturus</i> Hoedeman, 1962	4	3	16	23
<i>Microsternarchus</i> aff. <i>bilineatus</i>	3	9	11	23
<i>Steatogenys</i> sp.	0	1	0	1

Rhamphichthyidae	0	3	6	9
<i>Gymnorhamphichthys petiti</i> Géry & Vu, 1964	0	3	6	9
PERCIFORMES	991	1999	2344	5334
Cichlidae	977	1988	2335	5300
<i>Acaronia nassa</i> (Heckel, 1840)	3	1	9	13
<i>Aequidens</i> sp.	13	7	0	20
<i>Aequidens tetramerus</i> (Heckel, 1840)	36	14	11	61
<i>Apistogramma</i> cf. <i>pertensis</i>	0	2	0	2
<i>Apistogramma</i> gr. <i>agassizii</i>	447	1157	1144	2748
<i>Apistogramma</i> gr. <i>regani</i>	312	397	511	1220
<i>Crenicichla</i> gr. <i>saxatilis</i>	34	0	0	34
<i>Crenicichla labrina</i> (Spix & Agassiz, 1831)	6	2	2	10
<i>Nannacara taenia</i> Regan, 1912	114	407	656	1177
<i>Satanoperca</i> sp.	12	1	0	13
<i>Taeniacara candidi</i> (Myers, 1935)	0	0	2	2
Eleotridae	11	0	4	15
<i>Dormitator</i> sp.	10	0	0	10
<i>Microphilypnus ternetzi</i> (Myers, 1927)	1	0	4	5
Polycentridae	3	11	5	19
<i>Monocirrhus polyacanthus</i> (Heckel, 1840)	2	11	5	18
<i>Polycentrus schomburgkii</i> (Müller & Troschel, 1849)	1	0	0	1
SILURIFORMES	14	123	400	537
Aspredinidae	1	3	3	7
<i>Pseudobunocephalus amazonicus</i> (Mees, 1989)	1	3	3	7
Auchenipteridae	0	0	1	1
<i>Tetranematichthys wallacei</i> (Vari & Ferraris, 2006)	0	0	1	1
Callichthyidae	1	0	32	33
<i>Callichthys callichthys</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	32	32
<i>Megalechis</i> sp.	1	0	0	1
Cetopsidae	0	8	27	35
<i>Helogenes marmoratus</i> (Günther, 1863)	0	8	27	35
Doradidae	0	35	136	171
<i>Acanthodoras cataphractus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	1	1

<i>Physopyxis ananas</i> (Sousa & Rapp Py-Daniel, 2005)	0	35	135	170
Heptapteridae	0	9	40	49
<i>Gladioglanis</i> sp.	0	9	40	49
Loricariidae	10	0	0	10
<i>Farlowella</i> sp.	6	0	0	6
Loricariidae gen.	0	1	0	1
<i>Rineloricaria</i> sp.	4	0	0	4
Pimelodidae	0	1	0	1
<i>Pseudopimelodus cf. bufoni</i>	0	1	0	1
Trichomycteridae	2	66	161	229
<i>Trichomycterus hasemani</i> (Eigenmann, 1914)	2	66	161	229
SYNBRANCHIFORMES	5	3	2	10
Synbranchidae	5	3	2	10
<i>Synbranchus marmoratus</i> (Bloch, 1795)	5	3	2	10
SYNGNATHIFORMES	0	1	0	1
Syngnathidae	0	1	0	1
<i>Microphis lineatus</i> (Kaup, 1856)	0	1	0	1
TETRAODONTIFORMES	1	1	0	2
Tetraodontidae	1	1	0	2
<i>Colomesus asellus</i> (Müller & Troschel, 1849)	1	1	0	2
Total	3.364	7.286	9.748	20.398

Relação entre hábitat físico e ictofauna

A riqueza de espécies não diferiu entre os níveis de preservação (alterado, intermediário e íntegro) (ANOVA = $F_{(2, 31)} = 0,902$; $p = 0,416$), com uma média de 17 espécies para os três tipos de ambiente. A abundância também não diferiu (ANOVA = $F_{(2, 31)} = 0,672$; $p = 0,518$), com uma média de 633 exemplares em ambientes alterados, 514 em ambientes intermediários e 642 em ambientes íntegros. A análise da ordenação por meio da NMDS mostrou uma separação dos igarapés alterados em relação aos demais (stress = 15,918) (Fig. 4), sendo significativa a diferença observada entre todos os grupos pela análise da PERMANOVA (pseudo- $F_{(2, 31)} = 3,467$; $gl = 2$; $p = 0,003$), com onze espécies exclusivas de ambientes alterados e oito exclusivas de ambientes íntegros. Quando a comparação foi realizada par a par, ambientes intermediários e íntegros não diferiram (Tabela 6).

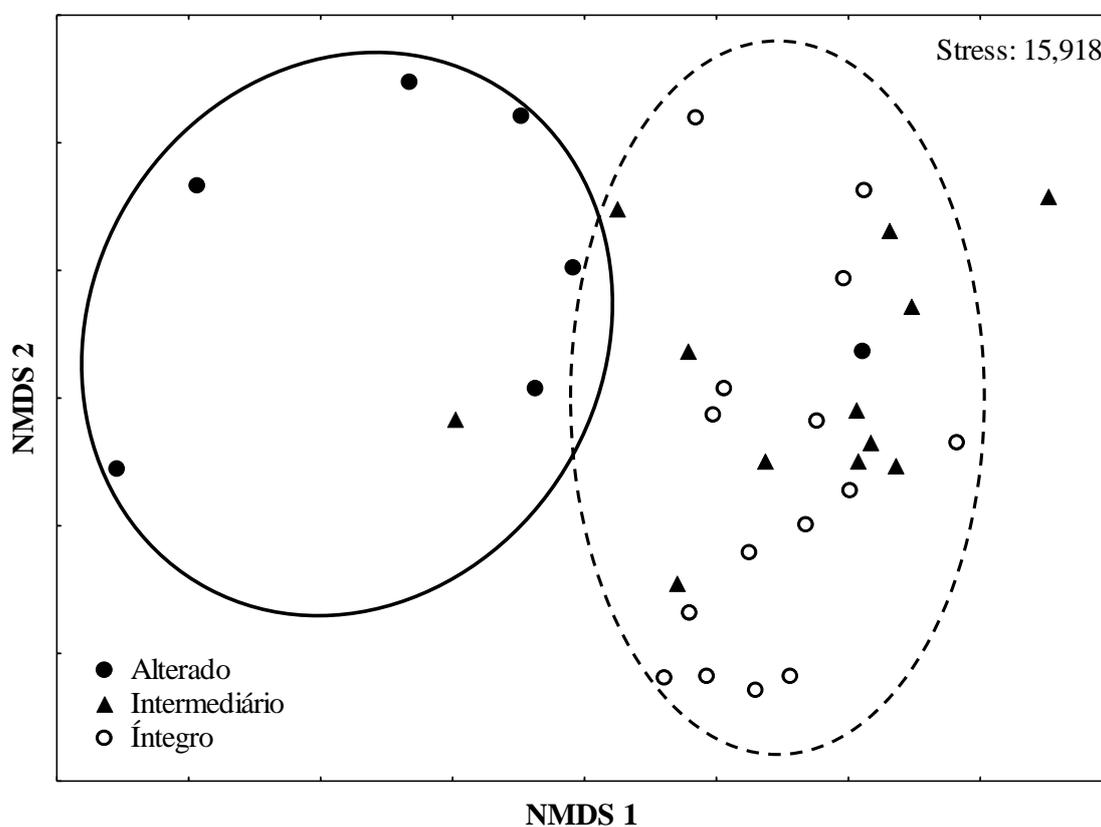


Fig. 4. Ordenação resultante da análise de Escalonamento Multidimensional Não-métrico (NMDS) dos igarapés por nível de integridade física do habitat amostrados durante o período de estiagem de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil.

Tabela 6. Resultado da análise par a par da PERMANOVA entre os níveis de integridade física do hábitat dos igarapés amostrados durante o período de estiagem de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil. Valores significativos ($p < 0,05$) estão marcados com asteriscos.

Grupo	t	P (Monte Carlo)
Alterado, Intermediário	1,921	0,004*
Alterado, Íntegro	2,335	0,000*
Intermediário, Íntegro	1,194	0,185

Através da ordenação direta, podemos observar uma hierarquia entre as espécies ao longo do gradiente de integridade física, onde no extremo esquerdo cinco espécies estiveram exclusivamente associadas às áreas com maiores níveis de perturbação (Fig. 5), ocorrendo em igarapés com valores de integridade abaixo de 3,0. São elas: *Nannostomus unifasciatus*, *Poecilia parae*, *Hemigrammus cf. microstomus*, *Crenicichla gr. saxatilis* e *Dormitator* sp. Apenas duas espécies puderam ser consideradas especialistas para as áreas com maior nível de integridade do hábitat (extremo direito), sendo elas *Nannostomus trifasciatus* e *Gnathocharax steindachneri* (Fig. 6). Entretanto, mais cinco espécies apresentaram maior abundância quanto menor o impacto observado: *Gladioglanis* sp., *Physopyxis ananas*, *Hemigrammus guyanensis*, *Carnegiella strigata* e *Microcharacidium weitzmani*.

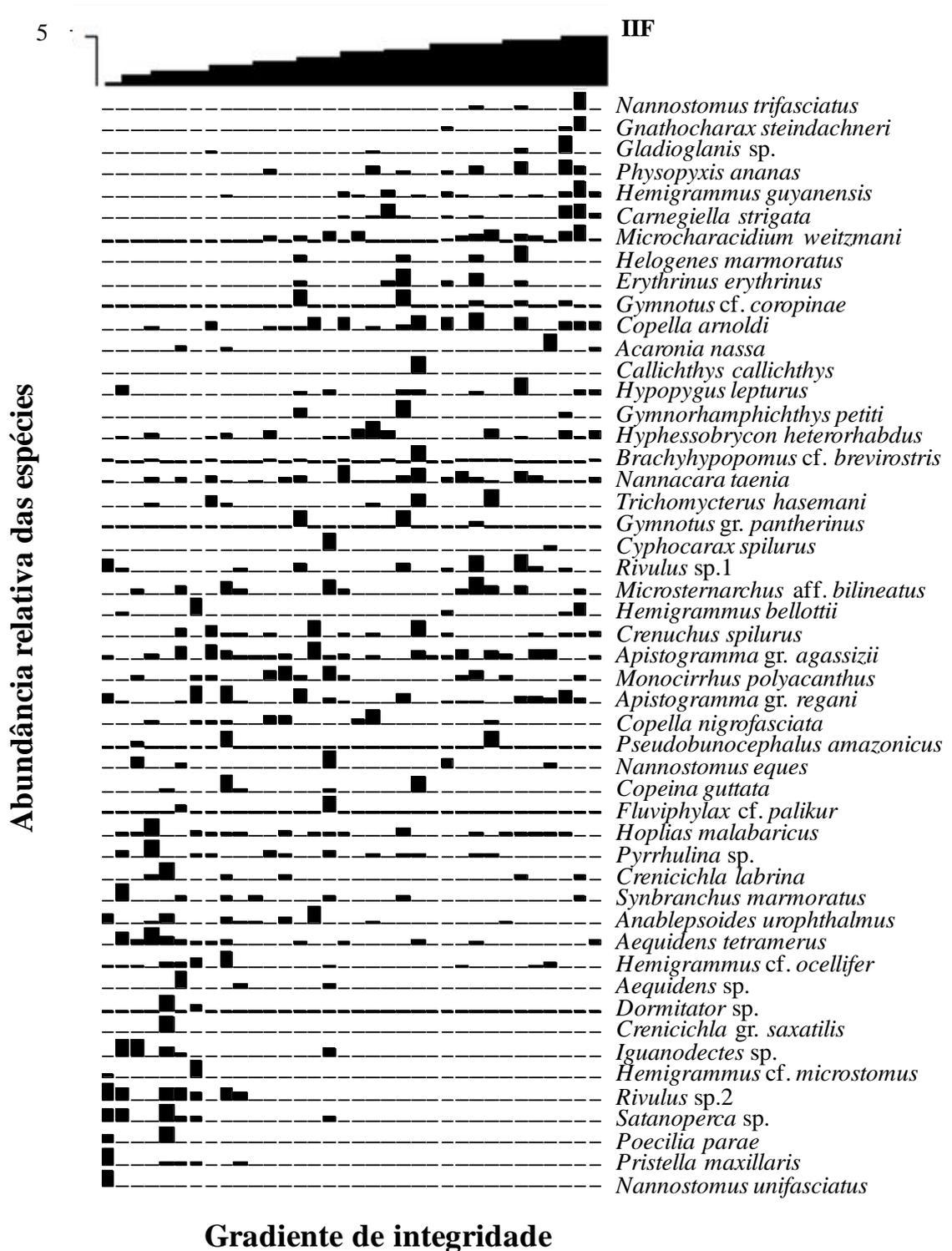


Fig. 5. Abundância relativa das espécies que apresentaram mais que sete exemplares por igarapé, ordenada pelos valores de integridade física do hábitat para os igarapés amostrados durante o período de estiagem de 2012 e 2013 na FLONA de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil.

A análise TITAN permitiu estimar dois limites para a comunidade, identificando picos na distribuição das espécies Z^+ e Z^- , associadas com baixa ou alta integridade, respectivamente (Tabela 7). Das 49 espécies analisadas, 27 apresentaram valor significativo para perturbação (pureza $\geq 0,95$ e fidelidade $\geq 0,95$). Dentre elas, 12 responderam negativamente ao gradiente de integridade, com limite de distúrbio variando de 1,9 a 3,9 nos valores de IIF e 15 espécies responderam positivamente, com limites variando de 2,4 a 5,0 (Fig. 6). A partir da análise de IndVal (considerando valores acima de 70%), uma espécie foi considerada indicadora de ambientes alterados, *Pristella maxillaris* (98,4%; $p = 0,004$) e duas de ambientes íntegros, *Hemigrammus guyanensis* (76,84%; $p = 0,004$) e *Carnegiella strigata* (80,19%; $p = 0,004$).

Tabela 7. Limites da comunidade ao gradiente de integridade física do hábitat e seus percentis associados.

	Limite	0,05	0,10	0,50	0,90	0,95
sum z^-	3,0	2,7	2,7	3,0	3,0	3,3
sum z^+	4,7	3,6	3,6	4,7	5,0	5,0

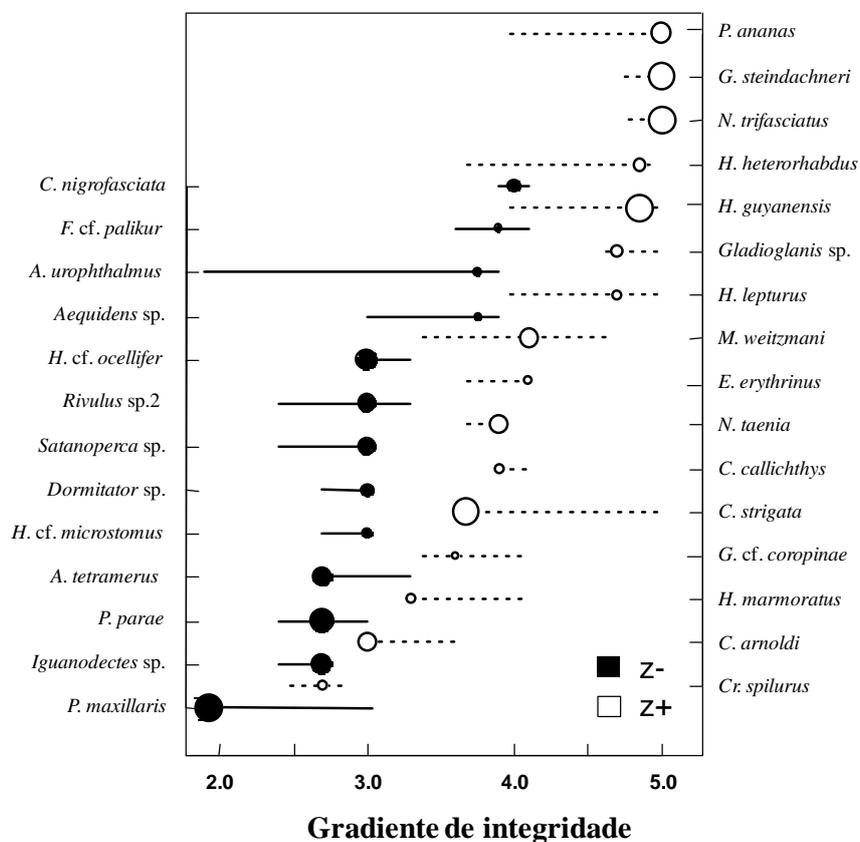


Fig. 6. Pontos de mudança das espécies ao longo do gradiente de distúrbio e sua relação com os níveis de integridade física do hábitat em igarapés amostrados no período de estiagem de 2012 e 2013 na FLONA

de Caxiuanã e no entorno, nos municípios de Portel e Melgaço, Pará, Brasil. Os círculos pretos e brancos representam os pontos de mudança das espécies associadas com baixa e alta integridade, respectivamente, e os tamanhos são proporcionais à magnitude da resposta. Espécies indicadoras estão marcadas com um asterisco.

DISCUSSÃO

Sabe-se que a distribuição e estruturação das comunidades biológicas estão relacionadas a fatores climáticos, geomorfológicos e históricos (Roth et al., 1996). Para ambientes lóticos, existem ainda fortes influências de diferenças estruturais observadas ao longo de um contínuo fluvial (Vannote et al., 1980) e de alterações na estrutura do ambiente, principalmente por atividades antrópicas, o que torna a estrutura física do hábitat um fator determinante na organização de comunidades aquáticas (Rosenvald, 2014), afetando elementos como riqueza, abundância e composição (Romero et al., 2013). Vários estudos têm sustentado essa generalização para comunidades de peixes (Jackson et al., 2001; Romanuk et al., 2006), principalmente por serem organismos capazes de explorar um maior volume do ambiente (Gorman & Karr, 1978). Entretanto, nossos resultados mostram que a riqueza e abundância das espécies podem não responder a essas alterações, sendo a composição o elemento chave para tais avaliações. Apesar da característica de afogamento dos igarapés aliado à presença de áreas de igapó ampliarem a área de distribuição dos peixes, as alterações ocorrentes na região não devem ser desconsideradas.

As métricas que responderam às alterações do ambiente representam diferentes aspectos do hábitat físico, avaliando morfologia do canal (profundidade e ângulo das margens), substrato (tipo madeira), zona ripária (cobertura por vegetação intermediária e sub-bosque ervas), abrigo para peixes (número de madeira do leito + dependuradas) e influência humana (proporção de impacto humano). Os parâmetros de morfologia do canal juntamente com o substrato contribuem para avaliar o volume de hábitat e a estabilidade do canal e do leito (Kaufmann et al., 1999). Dentro desses parâmetros o ângulo das margens mostra a suscetibilidade do barranco à queda e à erosão, a possibilidade de ocorrer assoreamento e, conseqüentemente, diminuição da profundidade (Barbour et al., 1999). Destacamos dois igarapés classificados como alterados que mostraram margens com nítidos sinais de erosão. Segundo os moradores locais a erosão foi resultado da escavação do leito feito pela própria população a fim de aumentar a área para o trânsito de canoas e pequenos barcos à motor.

A avaliação do substrato evidencia a quantidade e variedade de estruturas naturais no leito do rio (Barbour et al., 1999), onde em nosso estudo apenas a categoria “madeira” diferiu entre igarapés alterados, intermediários e íntegros. No geral, os igarapés afogados da região têm o leito formado por matéria orgânica, banco de folhas e madeira. Entretanto, a diminuição na quantidade de madeira nos igarapés alterados deve-se ao maior acesso da população a esses locais, que acaba retirando de dentro do leito pedaços de troncos para facilitar a passagem de canoas e voadeiras que transitam dentro dos igarapés, além de remover peças que ficam dependuradas. Em termos de funcionalidade ecológica, esses galhos e troncos em ambientes aquáticos aumentam a quantidade de hábitat disponível para a biota (Lisle, 1986). A redução ou completa retirada desses elementos em cursos d’água de pequeno porte resulta em ambientes com pouca complexidade estrutural (Roth et al., 1996), diminuindo a quantidade de abrigo para a ictiofauna.

A análise da PCA mostrou nítida separação entre igarapés íntegros e alterados, devido principalmente à maior proporção de impacto humano (como plantações, estradas, residências) observada nestes últimos. A separação de igarapés íntegros e intermediários torna-se um pouco mais difícil, principalmente por ambos serem mais heterogêneos. Embora frequentemente sejam consideradas categorias de hábitat para representar níveis de perturbação, é provável que esta seja um fenômeno contínuo e não pontual (Turner, 2010). Essa classificação em categorias, portanto, pode não ser tão realista pelo fato da integridade do ambiente físico apresentar-se em um gradiente e não em uma classificação discreta, o que dificulta uma separação mais clara entre os diferentes níveis de preservação, mas ainda constitui-se a forma mais prática para melhor compreender dados provenientes de alterações ambientais.

Os igarapés classificados como alterados apontaram o mesmo padrão nos valores de riqueza dos igarapés com maiores níveis de integridade. Isso mostra que apesar desses ambientes apresentarem modificações em sua estrutura física, a ocorrência de uma floresta bem desenvolvida e preservada nas proximidades de pontos alterados pode potencialmente contribuir com muitos recursos necessários para grupos de espécies conseguirem se manter nesses locais. Essa ideia já havia sido exposta por Karr (1981) ao mencionar que uma comunidade biológica é capaz de auto-recuperação quando perturbada, necessitando, porém, de suporte externo mínimo. As novas oportunidades criadas, entre recursos alimentares e hábitat, acabam favorecendo a ocorrência e aumento populacional de algumas espécies consideradas oportunistas (Teresa & Casatti, 2010), como foi observado para *Hoplias malabaricus*

(Carvalho et al., 2002), que teve ocorrência indiscriminada entre os diferentes níveis de preservação para os igarapés avaliados. A consequência desse processo pode resultar no aumento da riqueza de alguns grupos taxonômicos em detrimento de outros, podendo ocorrer, inclusive, a substituição de espécies.

Contrariamente à riqueza, a composição das assembléias mostrou diferença entre igarapés alterados e os demais níveis de preservação. Um estudo realizado por Teresa e Casatti (2010) mostrou que apesar da redução da complexidade estrutural de ambientes com presença de mata degradada, comparados com ambientes sem mata, aqueles ainda são capazes de viabilizar a ocorrência de espécies de hábitos alimentares mais especializados. Porém, essa degradação também favorece a ocorrência e maior abundância de espécies tolerantes e com grande plasticidade fenotípica, como por exemplo, espécies da família Poeciliidae. Em nosso estudo duas espécies da família foram identificadas, *Poecilia parae* e *Fluviphylax cf. palikur*, com todos os exemplares de *P. parae* ocorrendo em igarapés classificados como alterados. A alta representatividade dessa espécie nesses ambientes é um indicativo de redução da integridade física do hábitat, mostrando que mesmo áreas florestadas, quando não prístinas são insuficientes para manter comunidades similares às de ambientes preservados (Harding et al., 2006).

Além do que já foi exposto, a degradação do hábitat pode exercer diferentes efeitos sobre os diferentes grupos de espécies que inerentemente compõem uma assembleia, pois elas apresentam diferentes atributos biológicos e ecológicos que incluem também os seus padrões de respostas para as mesmas variáveis ecológicas (Azeria et al., 2009). Partindo desse pressuposto, os nossos resultados mostram que a riqueza total pode camuflar respostas de determinadas espécies. A degradação do hábitat pode ter efeito negativo sobre espécies de hábito especialista e efeito positivo sobre as de hábito generalista (Batáry et al., 2007). Assim foi observado para *Crenuchus spilurus* que foi altamente abundante ao longo de todo o gradiente de distúrbio, devido à sua capacidade exploratória do ambiente (Sabino & Zuanon, 1998). Com isso, percebe-se que a possível desconstrução da comunidade em grupos de espécies (sejam taxonômicos, funcionais, etc) pode mostrar respostas diferenciadas frente às alterações do hábitat, sendo uma estratégia promissora para associar características ambientais aos padrões de riqueza apresentado por essas comunidades.

Os igarapés avaliados nesse estudo são extremamente largos comparados a outros igarapés da região amazônica (Anjos & Zuanon, 2007; Mendonça et al., 2005). Devido à grande área de alagamento, seja por contribuição do efeito da ria, das áreas de igapó ou da inundação diária pelo fluxo de marés, acabam ampliando a área de fornecimento de material alóctone para dentro do canal, proporcionando

maior disponibilidade de alimento para a comunidade (Claro-Jr et al., 2004). Essas condições associadas à microhabitats atípicos do canal, como poças laterais e áreas rasas, devido à característica do afogamento, favorece a coexistência de espécies, que além de aumentar a riqueza, contribui para a alta abundância de peixes encontrada, maior que para outras áreas da Amazônia (Anjos & Zuanon, 2007; Espírito-Santo et al., 2009). Outra importante peculiaridade dos igarapés da região é a grande quantidade de folhiço submerso que serve de abrigo e local de forrageamento para muitas espécies, como *Helogenes marmoratus*, *Microsternarchus* aff. *bilineatus*, *Steatogenys* sp.1 e ciclídeos do gênero *Apistogramma* (Sabino & Zuanon, 1998), sendo estes últimos um dos grupos mais abundantes registrados nos igarapés.

Foi observado nos igarapés preservados que as margens apresentam alta complexidade estrutural, resultado principalmente de características peculiares da região de Caxiuanã e proximidades, como reentrâncias associadas a uma grande quantidade de raízes da mata ripária formando grandes abrigos laterais. Essas subunidades do habitat favorecem a ocorrência de espécies que vivem preferencialmente nas margens, como por exemplo, *Carnegiella strigata* e *Gnathocharax steindachneri*, que estiveram associadas a ambientes íntegros e se alimentam “atacando” os itens que caem na superfície, provenientes de galhos e raízes penduradas da vegetação ciliar (Brejão et al., 2013). O bagre *Helogenes marmoratus* também utiliza diretamente recursos provenientes da floresta, se alimentando principalmente de insetos terrestres, como formigas arborícolas e de solo (Carvalho et al., 2013). Em nosso estudo essa espécie foi encontrada em igarapés íntegros (maior ocorrência) e intermediários, apontando para uma dependência da vegetação ripária e possível sensibilidade da espécie às alterações nesse ambiente.

Mesmo que não tenha sido observado um decréscimo ou aumento imediato sobre a riqueza e abundância das espécies de peixes nos igarapés estudados, as comunidades presentes nesses ambientes estão expostas a vários fatores adversos que podem futuramente levar ao comprometimento de sua integridade. Apesar de detectarmos um conjunto de métricas que responderam ao gradiente de alteração local, estas não se mostraram suficientes na redução ou aumento do número de espécies ao longo dos níveis de preservação, mantendo praticamente constante a riqueza e abundância para os três grupos (alterado, intermediário e íntegro). A avaliação da comunidade considerando a biologia e ecologia de grupos taxonômicos ou funcionais distintos pode fornecer respostas diferenciadas, o que pode ser reflexo inclusive da história evolutiva de cada grupo. Além disso, a avaliação da integridade biótica da comunidade pode ser uma alternativa para identificar fortes efeitos da alteração do habitat sobre as comunidades (Kim et al., 2013), principalmente considerando a peculiaridade da região e a falta de

informações acerca da ictiofauna local. Com isso, a combinação de atributos físicos do hábitat com parâmetros biológicos possibilita um monitoramento integrado do ecossistema aquático.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pesquisa em Biodiversidade da Amazônia Oriental (PPBio) e à Fundação Amazônia Paraense de Amparo à Pesquisa (FAPESPA) (FAPESPA: ICAAF 03/2011) pelo financiamento. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processo no. 475611/2012-8) pelo concessão de bolsa de mestrado de HSL e a concessão de bolsa de produtividade em pesquisa (Processo 301343/2012-8) de LFAM. A Coordenação e aos funcionários da Estação Científica Ferreira Penna. Ao Dr. André Ferreira e ao MSc. Luiz Peixoto, pelo auxílio nas identificações.

REFERÊNCIAS

- American Veterinary Medical Association. 2001. Report of the AVMA Panel on Euthanasia. *JAVMA*, v. 218, n. 5. p. 669-696.
- 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.
- Azeria, E. T., D. Fortin, C. Hébert, P. Peres-Neto, D. Pothier & J. Ruel, 2009. Using null model analysis of species co-occurrences to deconstruct biodiversity patterns and select indicator species. *Diversity and Distributions* 15: 958–971.
- Baker, M. E. & R. S. King, 2010. A new method for detecting and interpreting biodiversity and ecological community thresholds. *Methods in Ecology and Evolution* 1: 25–37.
- Baptista, D. F., D. F. Buss, M. Egler, A. Giovanelli, M. P. Silveira & J. L. Nessimian, 2007. A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic forest streams at Rio de Janeiro State, Brazil. *Hydrobiologia* 575: 83-94.
- Barbour, M. T., J. D. Diamond & C. Yoder, 1996. Biological assessment strategies: applications and limitations. Pages 245-270 In Grothe, D. R., K. L. Dickson & D. K. Reed (eds), *Whole-effluent toxicity testing: an evaluation of methods and predictability of receiving system responses*. Society of Environmental Toxicology and Chemistry Press, Pensacola, Florida.

Barbour, M. T., J. Gerritsen, B. D. Snyder & J. B. Stribling, 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, Washington: EPA, 1999.

Batáry, P., A. Báldi, G. Szél, A. Podlussány, I. Rozner & S. Erdős, 2007. Responses of grassland specialist and generalist beetles to management and landscape complexity. *Diversity and Distributions* 13: 196–202.

Behling, H. & M. L. da Costa, 2000. Holocene environmental changes from the Rio Curuá record in the Caxiuanã region, eastern Amazon Basin. *Quaternary Research* 53: 377–396.

Blaser, J., A. Sarre, D. Poore & S. Johnson, 2011. Status of tropical forest management. ITTO Technical Series 38. International Tropical Timber Organization, Yokohama, Japan.

Brejão, G. L., P. Gerhard & J. Zuanon, 2013. Functional trophic composition of the ichthyofauna of forest streams in eastern Brazilian Amazon. *Neotropical Ichthyology* 11: 361-373.

Britski, H. A., K. Z. S. Silimon & B. S. Lopes, 2007. Peixes do Pantanal: Manual de identificação. Brasília: EMBRAPA-SPI. 230 p.

Carvalho, L. N., C. H. V. Fernandes & V. S. S. Moreira, 2002. Limentação de *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794) (Osteichthyes, Erythrinidae) no rio Vermelho, Pantanal Sul Mato-Grossense. *Revista Brasileira de Zoociências* 4: 227-236.

Carvalho, L. N., L. Fidelis, 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: 85-94.

Castello, L., D. G. McGrath, L. L. Hess, M. T. Coe, P. A. Lefebvre, P. Petry, M. N. Macedo, V. F. Renó & C. C. Arantes, 2013. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conservation Letters* 0:1-13.

Clarke, K. R. & R. M. Warwick, 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth, Plymouth Marine Laboratory. 144p.

Claro-Jr, L., E. Ferreira, J. Zuanon & C. Araújo-Lima, 2004. O efeito da floresta alagada na alimentação de três espécies de peixes onívoros em lagos de várzea da Amazônia Central, Brasil. *Acta Amazônica* 34: 133-137.

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.

FAO, 2010. Global Forest Resources Assessment 2010. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Gery, J. 1977. Characoids of the world. T.F.H. publications, Neptune City, USA.
- Gorman, O. T. & J. R. Karr, 1978. Habitat structure and stream fish communities. *Ecology* 59: 507-515.
- Gregory, S. V., F. J. Swanson, W. A. McKee & K. W. Cummins, 1991. An Ecosystem Perspective of Riparian Zones - Focus on links between land and water. *BioScience* 41: 540-551.
- Harding, J. S., K. Claassen & N. Evers, 2006. Can forest reset physical and water quality conditions in agricultural catchments and act as refugia for forest stream invertebrates? *Hydrobiologia* 568: 391-402.
- Jackson, D. A. 1993. Stopping rules in principal components analyses: a comparison of heuristical and statistical approaches. *Ecology* 74: 2204-2214.
- Jackson, D. A., P. R. Peres-Neto & J. D. Olden, 2001. What controls who is where in freshwater fish communities – the roles of biotic, abiotic and spatial factors. *Canadian Journal of Fish and Aquatic Sciences* 58: 157-180.
- Jaramillo-Villa, U. & E. P. Caramaschi, 2008. Índices de integridade biótica usando peixes de água doce: uso nas regiões tropical e subtropical. *Oecologia Brasiliensis* 12: 442-462.
- Karr, J. R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6: 21-27.
- Kaufmann, P. R., P. Levine, E. G. Robison, C. Seeliger & D. V. Peck, 1999. Quantifying physical habitat in wadeable streams. U.S. Environmental Protection.
- Kiffney, P. M., J. S. Richardson & J. P. Bull, 2004. Establishing light as a causal mechanism structuring stream communities in response to experimental manipulation of riparian buffer width. *Journal North American Benthological Society* 23: 542-555.
- Kim, J. H., H. M. Oh, I. S. Kim, B. J. Lim & K. G. An, 2013. Ecological Health Assessments of an Urban Lotic Ecosystem Using a Multimetric Model along with Physical Habitat and Chemical Water Quality Assessments. *International Journal of Environmental Research* 7: 659-668.
- Kullander, S. O. 1986. Cichlid fishes of the Amazon River drainage of Peru. Swedish Museum of Natural History, Estocolmo.
- Lisboa, P. L. B., A. S. L. Silva & S. S. Almeida, 1997. Florística e Estrutura dos Ambientes. In Lisboa, P. L. B. (org), Caxiuanã. Museu Paraense Emílio Goeldi, cap. 4, p. 163-193.
- Lisle, T. E. 1986. Effects of Woody Debris on Anadromous Salmonid Habitat, Prince of Wales Island, Southeast Alaska. *North American Journal of Fisheries Management* 6: 538-550.
- Lorion, C. M. & B. P. Kennedy, 2009. Riparian forest buffers mitigate the effects of deforestation on fish assemblages in tropical headwater streams. *Ecological Applications* 19: 468-479.

- Meffe, G. K. & A. L. Sheldon, 1988. The influence of habitat structure on fish assemblage composition in southeastern blackwater streams. *American Midland Naturalist* 120: 225-240.
- Mendonça, F. P., W. E. Magnusson & J. Zuanon, 2005. Relationships between habitat characteristics and fish assemblages in small streams of Central Amazonia. *Copeia* 4: 751-764.
- Montag, L. F. A., T. M. S. Freitas, N. C. Castro, W. B. Wosiacki & R. B. Barthem, 2009. Ictiofauna: diversidade e conservação. In *Caxiuanã: Desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia* (Org. P. L. B. Lisboa), pp. 605-627. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.
- Nakamura, F. & H. Yamada, 2005. Effects of pasture development on the ecological functions of riparian forests in Hokkaido in northern Japan. *Ecological Engineering* 24: 539-550.
- Oksanen, J., F. G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, M. H. H. Stevens & H. Wagner, 2011. *Vegan: community ecology package*. Version 1.17-11. Disponível em: <http://vegan.r-forge.r-project.org>.
- Oliveira, L. L., C. R. Ferreira, F. A. S. Sousa, A. C. L. Costa & A. P. Braga, 2008a. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. *Acta Amazônica* 38: 723 – 732.
- Oliveira, R. B. S., C. M. Castro & D. F. Baptista, 2008b. Desenvolvimento de índices multimétricos para utilização em programas de monitoramento biológico da integridade de ecossistemas aquáticos. *Oecologia Brasiliensis* 12: 487-505.
- Peck, D. V., A. T. Herlihy, B. H. Hill, R. M. Hughes, P. R. Kaufmann, D. J. Klemm, J. M. Lazorchak, F. H. McCormick, S. A. Peterson, P. L. Ringold, T. Magee & M. R. Cappaert, 2006. *Environmental Monitoring and Assessment Program: Surface Waters Western Pilot Study—field operations manual for wadeable streams*. EPA 620/ R-06/003. Washington, DC: US Environmental Protection Agency.
- Pusey, B. J. & A. H. Arthington, 2003. Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: a review. *Marine and Freshwater Research* 54: 1-16.
- R Development Core Team. 2011. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 24 set. 2013.
- Romanuk, T. N., L. J. Jackson, J. R. Post, E. McCauley & N. D. Martinez, 2006. The structure of food webs along river networks. *Ecography* 29: 3-10.

- Romero, R. M., M. Ceneviva-Bastos, G. H. Baviera & L. Casatti, 2013. Community structure of aquatic insects (Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera) in Cerrado streams of Paraguay, Paraná, and São Francisco river basins. *Biota Neotropica* 13: 97-107.
- Rosenvald, R., R. Järvekülg & A. Lõhmus, 2014. Fish assemblages in forest drainage ditches: Degraded small streams or novel habitats? *Limnologia*, 46: 37-44.
- Roth, N. E., J. D. Allan & D. L. Erickson, 1996. Landscape influences on stream biotic integrity assessed at multiple spatial scales. *Landscape Ecology* 1: 1141-156.
- Russo, M. R., A. Ferreira & R. M. Dias, 2002. Disponibilidade de invertebrados aquáticos para peixes bentófagos de dois riachos da bacia do rio Iguaçu, Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum* 24: 411-417.
- Sabino, J. & J. Zuanon, 1998. A stream fish assemblage in Central Amazônia: distribution, activity patterns and feeding behavior. *Ichthyological Exploration of Freshwaters* 8: 201-210.
- Schneider, K. N. & K. O. Winemiller, 2008. Structural complexity of woody debris patches influences fish and macroinvertebrate species richness in a temperate floodplain-river system. *Hydrobiologia* 610: 235-244.
- Sioli, H, 1984. The Amazon and its main affluents: hydrography, morphology of the river courses and river types. In: Sioli, H. (Ed.). *The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dordrecht, Dr. Junk Publ.
- Southwood, T. R. E. 1977. Habitat, the templet for Ecological Strategies? *Journal of Animal Ecology* 46: 336-365.
- Tejerina-Garro, F. L., M. Maldonado, C. Ibañez, D. Pont, N. Roset & T. Oberdorff, 2005. Effects of natural and anthropogenic environmental changes on riverine fish assemblages: A framework for ecological assessment of rivers. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 48: 91-108.
- Teresa, F. B. & L. Casatti, 2010. Importância da vegetação ripária em região intensamente desmatada no sudeste do Brasil: um estudo com peixes de riacho. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 5: 444-453.
- Turner, M. G. 2010. Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology* 91: 2833-2849.
- Vannote, R. L., G. W. Minshall, K. W. Cummins, J. R. Sedell & C. E. Cushing, 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.

Veríssimo, A., D. Celentano, C. Souza-Jr & R. Salomão, 2006. Zoneamento de Áreas para Manejo Florestal no Pará. *Imazon*, n° 8, setembro.

Yoshimura, M., 2012. Effects of forest disturbances on aquatic insect assemblages. *Entomological Science* 15: 145–154.

Normas para publicação na Revista Hydrobiologia

<http://www.springer.com/life+sciences/ecology/journal/10750>

GENERAL

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

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

LANGUAGE

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

EDITORIAL POLICY

Submitted manuscripts will first be checked for language, presentation, and style. Scientists who use English as a foreign language are strongly recommended to have their manuscript read by a native English-speaking colleague. Manuscripts which are substandard in these respects will be returned without review.

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

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

CATEGORIES OF CONTRIBUTIONS

There are four categories of contributions to *Hydrobiologia*:

- [1.] Primary research papers generally comprise up to 25 printed pages (including tables, figures and references) and constitute the bulk of the output of the journal. These papers **MUST** be organized according to the standard structure of a scientific paper: Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Conclusion, Acknowledgements, References, Tables, Figure captions.
- [2.] Review papers, and Taxonomic revisions are long papers; prospective authors should consult with the editor before submitting such a long manuscript,

either directly or through a member of the editorial board. Review papers may have quotations (text and illustrations) from previously published work, but authors are responsible for obtaining copyright clearance wherever this applies.

- [3.] Opinion papers reflect authors' points of view on hot topics in aquatic sciences. Such papers can present novel ideas, comments on previously published work or extended book reviews.
- [4.] Special section papers. Occasionally, regular volumes contain a special section devoted to topical collections of papers: for example, Salt Ecosystems Section and Aquatic Restoration Section.

MANUSCRIPT SUBMISSION

Manuscript Submission

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

Permissions

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

Online Submission

Authors should submit their manuscripts online. Electronic submission substantially reduces the editorial processing and reviewing times and shortens overall publication times. Please follow the hyperlink “Submit online” on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

Title Page

The title page should include:

The name(s) of the author(s)

A concise and informative title

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

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

Abstract

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

Keywords

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

Text

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

- Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
- Use italics for emphasis.
- Use the automatic page numbering function to number the pages.
- Do not use field functions.
- Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.

- Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
- Use the equation editor or MathType for equations.
- Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

- LaTeX macro package (zip, 182 kB)

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

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

Footnotes

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

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

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section before the reference list. The names of funding organizations should be written in full.

Additional remark Text

Do not include section numbers.

SCIENTIFIC STYLE

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

Genus and species names should be in italics.

REFERENCES

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

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

- Engel, S. & S. A. Nichols, 1994. Aquatic macrophytes growth in a turbid windswept lake. *Journal of Freshwater Ecology* 9: 97–109.
- Horne, D. J., A. Cohen & K. Martens, 2002. Biology, taxonomy and identification techniques. In Holmes, J. A. & A. Chivas (eds), *The Ostracoda*:

Applications in Quaternary Research. American Geophysical Union, Washington DC: 6–36.

- Maitland, P. S. & R. Campbell, 1992. Fresh Water Fishes. Harper Collins Publishers, London.
- Tatrai, I., E. H. R. R. Lammens, A. W. Breukelaar & J. G. P. Klein Breteler, 1994. The impact of mature cyprinid fish on the composition and biomass of benthic macroinvertebrates. *Archiv für Hydrobiologie* 131: 309–320.

TABLES

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

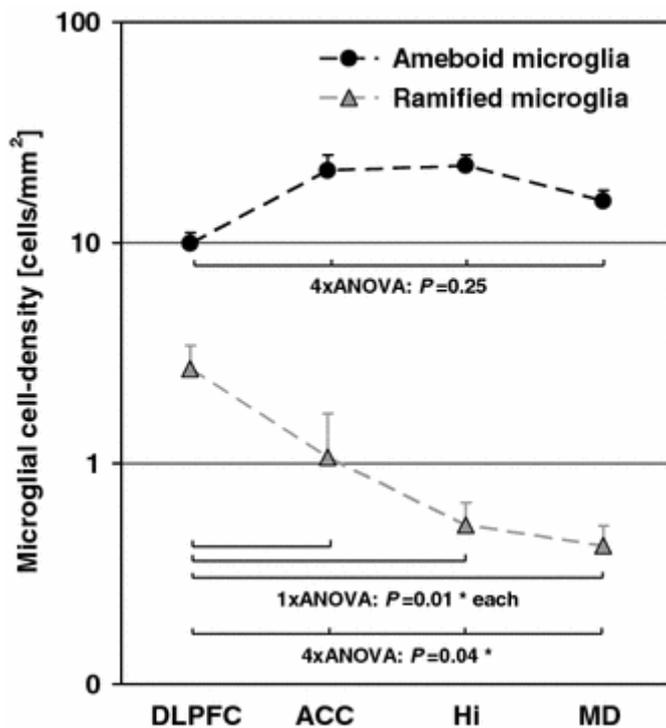
ARTWORK AND ILLUSTRATIONS GUIDELINES

For the best quality final product, it is highly recommended that you submit all of your artwork – photographs, line drawings, etc. – in an electronic format. Your art will then be produced to the highest standards with the greatest accuracy to detail. The published work will directly reflect the quality of the artwork provided.

Electronic Figure Submission

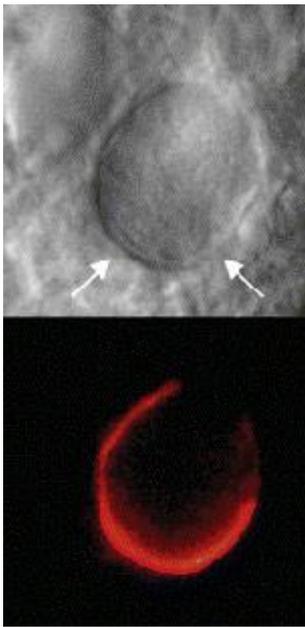
- Supply all figures electronically.
- Indicate what graphics program was used to create the artwork.
- For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MS Office files are also acceptable.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the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

Line Art



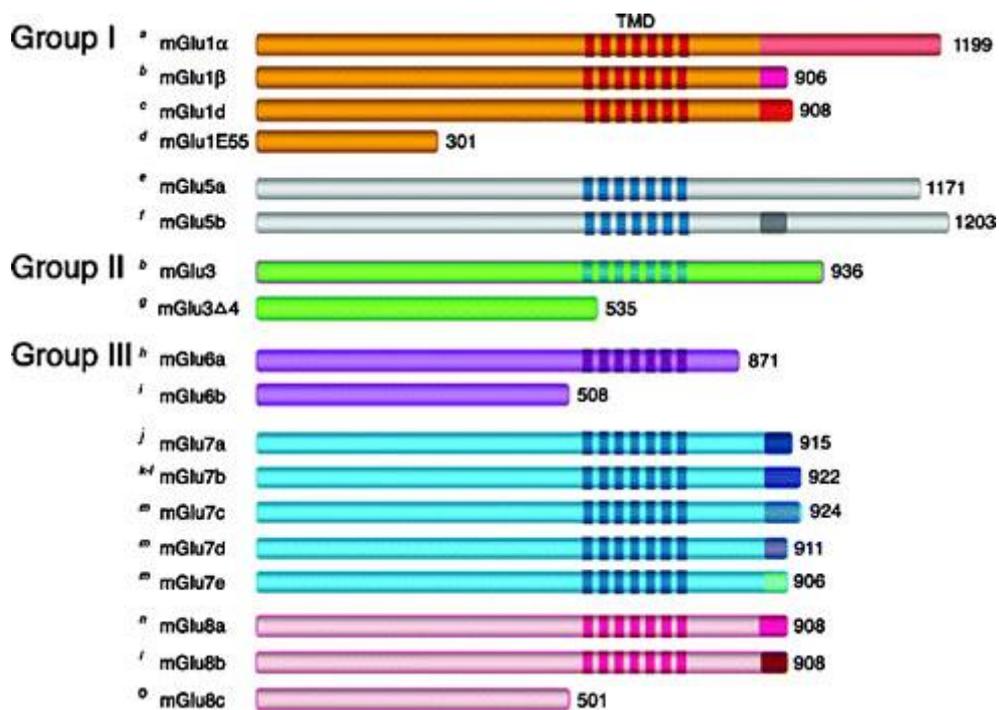
- Definition: Black and white graphic with no shading.
- Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.
- All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.
- Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Halftone Art



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

Combination Art



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

Color Art

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

Figure Lettering

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

Figure Numbering

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

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

Figure Captions

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

Figure Placement and Size

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

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be

aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

Accessibility

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

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

Electronic Supplementary Material

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

Submission

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

Audio, Video, and Animations

- Always use MPEG-1 (.mpg) format.

Text and Presentations

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

Spreadsheets

- Spreadsheets should be converted to PDF if no interaction with the data is intended.
- If the readers should be encouraged to make their own calculations, spreadsheets should be submitted as .xls files (MS Excel).

Specialized Formats

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

Collecting Multiple Files

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

Numbering

- If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.
- Refer to the supplementary files as “Online Resource”, e.g., "... as shown in the animation (Online Resource 3)", "... additional data are given in Online Resource 4”.
- Name the files consecutively, e.g. “ESM_3.mpg”, “ESM_4.pdf”.

Captions

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

Processing of supplementary files

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

Accessibility

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

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

After acceptance

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

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

Open Choice

In addition to the normal publication process (whereby an article is submitted to the journal and access to that article is granted to customers who have purchased a subscription), Springer now provides an alternative publishing option: Springer Open Choice. A Springer Open Choice article receives all the benefits of a regular subscription-based article, but in addition is made available publicly through Springer's online platform SpringerLink.

- Springer Open Choice

Copyright transfer

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

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

Offprints

Offprints can be ordered by the corresponding author.

Color illustrations

Publication of color illustrations is free of charge.

Proof reading

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

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

Online First

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

Does Springer provide English language support?

Manuscripts that are accepted for publication will be checked by our copyeditors for spelling and formal style. This may not be sufficient if English is not your native

language and substantial editing would be required. In that case, you may want to have your manuscript edited by a native speaker prior to submission. A clear and concise language will help editors and reviewers concentrate on the scientific content of your paper and thus smooth the peer review process.

The following editing service provides language editing for scientific articles in all areas Springer publishes in.

Use of an editing service is neither a requirement nor a guarantee of acceptance for publication.

Please contact the editing service directly to make arrangements for editing and payment.