



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

**ANA PAULA JUSTINO DE FARIA**

**ALTERAÇÃO AMBIENTAL EM IGARAPÉS AFOGADOS DA AMAZÔNIA  
ORIENTAL SOBRE A ASSEMBLEIA DE INSETOS AQUÁTICOS**

**BELÉM – PA**

**2015**

**ANA PAULA JUSTINO DE FARIA**

**ALTERAÇÃO AMBIENTAL EM IGARAPÉS AFOGADOS DA AMAZÔNIA  
ORIENTAL SOBRE A ASSEMBLEIA DE INSETOS AQUÁTICOS**

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

Orientador: Dr. Leandro Juen

Co-orientador: Dr. Raphel Ligeiro

**BELÉM - PA**

**2015**

**ANA PAULA JUSTINO DE FARIA**

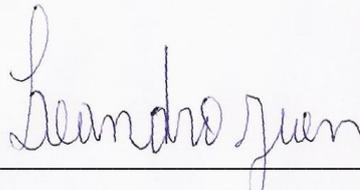
**ALTERAÇÃO AMBIENTAL EM IGARAPÉS AFOGADOS DA AMAZÔNIA  
ORIENTAL SOBRE A ASSEMBLEIA DE INSETOS AQUÁTICOS**

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

Aprovada em 20 de Janeiro de 2015

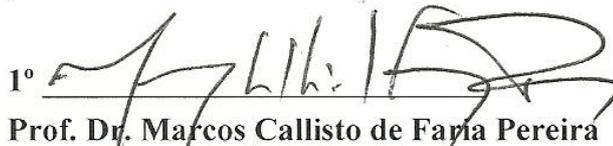


Ana Paula Justino de Faria



Prof. Dr. Leandro Juen (Orientador e presidente da banca)

Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Marcos Callisto de Faria Pereira  
CPF: 085.529.117-12



Prof. Dr. Fabio de Oliveira Roque  
CPF: 126799518-16



Prof. Dr. Jonathan Stuart Ready

CPF:

Aos pilares da minha vida: FAMÍLIA!

(Geraldo, Divina, Cláudio, Cleber, Ana Lúcia,  
Nátalia, Natrielly, Delurdes, Lenize, Max, Mylena,  
Erlane e Gil)

## AGRADECIMENTOS

Dizer e expressar as experiências é impossível, mas tem pessoas que foram essenciais no meu processo de crescimento pessoal, profissional e de vivência.

Ao meu orientador Dr. Leandro Juen pela oportunidade, confiança e por me mostrar valores que irei preservar a vida inteira. Ao Dr. Raphael Ligeiro por ter aceitado a responsabilidade, mesmo que ainda não oficial, de me orientar tão perto da defesa. O resultado desse trabalho é grande parte da contribuição e apoio de vocês.

Aos meus pais, Divina e Geraldo por sempre me apoiarem em todos os momentos. Aos meus irmãos Claudio, Cleber e Ana Lúcia por acreditarem e sempre me incentivarem. Ser exemplo de força, perseverança e “cabeça dura” me levaram tão longe (meio que alguns quilômetros de distância). Aos meus avós, tios (a), primos (a), amigos (a) e professores (a) que me incentivaram continuar na academia.

Ao Dr. Bruno Spacek e Dr. Jonathan Ready pelas contribuições no exame de qualificação e na defesa. Ao Dr. Marcos Callisto e Dr. Fábio de Oliveira Roque por gentilmente aceitarem o convite de participarem da banca de defesa de minha dissertação. Meus sinceros agradecimentos por contribuírem com meu crescimento profissional.

À Híngara, Cleidimar (Pelado), Cláudio e Márcio que compartilharam comigo as coletas em campo que foram essências para construção do meu trabalho. Ao Raimundo (Jeju) e funcionários da Estação Científica Ferreira Pena pelo apoio logístico e auxílio na primeira amostragem em campo.

À Dr<sup>a</sup>. Ana Maria O. Pes, Dr<sup>a</sup>. Neusa Hamada, Patrick Barcelos e Janaina por me receberem de braços abertos no INPA e me proporcionarem momentos de conhecimento tão essenciais na minha vida profissional e na construção da minha dissertação.

Ao Thiago Mendes por me dizer que a lupa não é um ‘bicho’ e por me mostrar como começar a identificação do meu material.

À Mylena Cardoso pela enorme paciência em ensinar nas identificações de Ephemeroptera e pelo companheirismo em todos os momentos que passei em Belém.

Ao Gil, Erlane, Thiago e Lenize que fizeram minha moradia tão excepcional, que compartilharam momentos de extrema “anti-socialidade” e compreenderam que estresse sempre acontece.

Ao Erlane pelas ótimas conversas, pelo imenso incentivo em momento difíceis e por sempre estar presente.

À Carina K. Sasahara pelo companheirismo, confiança e acima de tudo, por trocarmos experiências que foram importantes na identificação de Trichoptera e para o nosso crescimento como profissionais.

Ao meu eterno amigo Enoque por todo incentivo, mesmo distante. Aos meus amigos, professores e todos os conhecidos de minha cidade amada Nova Nazaré. Meu muito obrigado pelo apoio de todos vocês.

Eternamente grata a Lenize por sempre me estimular a buscar o melhor de mim, por acreditar em mim mais do que eu mesmo e por me mostrar que perdão é um pilar para a paz. Sua amizade, companheirismo, carisma e paciência me deram forças para chegar nesse momento.

À Dr. Roberta Valente por ceder o espaço no laboratório e disponibilizar equipamentos que foram essenciais no processo de identificação do material coletado.

Ao LABECO por me mostrar valores essenciais como: LUTA, FORÇA, ESPERANÇA, FAMÍLIA, COMPANHEIRISMO e acima de tudo PERSEVERANÇA.

À minha turma de mestrado por maravilhosos momentos juntos.

A todos de que forma direta ou indireta me auxiliaram durante o mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPQ) pela bolsa concedida.

Ao Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBIO) por financiar parte de minhas coletas.

Meu muito obrigado a todos.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO GERAL</b> .....	viii
<b>GENERAL ABSTRACT</b> .....	ix
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	x
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xii
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	4
<b>2.1. Área de estudo</b> .....	4
<b>2.2 Amostragem biológica</b> .....	5
<b>2.3. Caracterização física do ambiente</b> .....	8
<b>2.4. Seleção de métricas do ambiente físico</b> .....	9
<b>2.5. Análise dos dados</b> .....	10
<b>3. REFERÊNCIAS</b> .....	11
<b>ESTRUTURA E FORMATAÇÃO DA DISSERTAÇÃO</b> .....	18
<b>RESPOSTA DE EPHEMEROPTERA, PLECOPTERA E TRICHOPTERA A PERTURBAÇÕES ANTRÓPICAS EM IGARAPÉS AFOGADOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL</b> .....	19
<b>Resumo</b> .....	19
<b>Introdução</b> .....	20
<b>Material e Métodos</b> .....	22
Área de estudo .....	22
Amostragem biológica .....	23
Avaliação do habitat físico.....	24
Análise dos dados .....	25
<b>Resultados</b> .....	26
<b>Discussão</b> .....	33
<i>Interação das assembleias de EPT com os habitats físicos aquáticos</i> .....	33
<i>Resposta das assembleias de EPT às alterações ambientais</i> .....	34
<b>Conclusão</b> .....	35
<b>Referências</b> .....	36
<b>Anexo I</b> .....	45

## RESUMO GERAL

A Amazônia brasileira comporta a maior rede hidrológica da Terra. Esta vem sofrendo intensa pressão antropogênica, principalmente por práticas de uso do solo, como agricultura e exploração madeireira. Nesse estudo o objetivo foi avaliar o efeito das atividades humanas realizadas na região da baía de Caxiuanã, relacionados à agricultura familiar e à retirada de madeira por ribeirinhos, sobre os ecossistemas aquáticos, utilizando as assembleias de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) como indicadores ecológicos. Nossa hipótese é de que a riqueza e abundância de EPT decrescem em locais que apresentam influência de atividades humanas, havendo também uma diferenciação na composição de gêneros quando comparado com ambientes mais íntegros. A diversidade e composição de EPT foram amostradas em 34 igarapés “afogados” da Baía de Caxiuanã, dos quais 17 são íntegros e 17 alterados. As condições ecológicas dos igarapés apresentaram uma estreita relação com a influência antropogênica do entorno, sendo refletida na estrutura dos habitats físicos e nas comunidades aquáticas. A análise de componentes principais (PCA) explicou 41,1% da variação ambiental em seu primeiro eixo, sendo possível distinguir agrupamentos das áreas íntegras e alteradas. Nos 34 igarapés amostrados foram coligidos 2,261 exemplares EPT, distribuídos em 13 famílias e 27 gêneros. A ordem Ephemeroptera contribuiu com 81,9% dos indivíduos amostrados. A abundância e riqueza de EPT não foi influenciada pela agricultura familiar. Por outro lado, a composição de gêneros mostrou ser sensível para detectar tanto alterações antrópicas quanto modificações na estrutura física dos ecossistemas aquáticos, sendo eficaz para avaliar alterações ambientais. A riqueza de gêneros de EPT foi explicada pelas variáveis de hábitat físico, o modelo de regressão múltipla explicou 45% da variação da riqueza entre os locais. A vegetação de sub-bosque de ervas foi relacionada negativamente com a riqueza. Para a abundância de indivíduos o modelo gerado explicou 42% da variação, no qual a vegetação de sub-bosque de erva e a madeira estiveram relacionadas negativamente com a abundância. A integridade estrutural dos igarapés, um fator importante na estruturação das assembleias de EPT, foi fortemente afetada pelas atividades agrícolas de subsistência e pela modificação na morfologia dos igarapés por processos de escavação.

**Palavras-chave:** Integridade ambiental, macroinvertebrados bentônicos, agricultura familiar.

## GENERAL ABSTRACT

Brazilian Amazon contains the largest dendritic network of the globe. It is undergoing intense pressures by the human activities, mainly by land use practices such as agriculture and logging. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of human activities carried out in Caxiuanã Bay region on aquatic ecosystems, related to family farming and timber harvesting by locals, using assemblages of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) as ecological indicators. Our hypothesis is that the richness and abundance of EPT decrease in sites that been influenced by family farming activities. Also, there will be differences in genera composition between disturbed and preserved environments. The diversity and composition of EPT were studied in 34 flooded “streams” in Caxiuanã Bay, among which 17 were considered preserved and 17 disturbed. We demonstrated through our results that the ecological conditions of the streams had a close relationship with the anthropogenic influence of the surroundings areas. The principal component analysis (PCA) explained 41.1% of environmental variation in its first axis, being possible to distinguish groups of preserved and disturbed sites. In the 34 sampled streams were collected 2,261 specimens of EPT, distributed in 13 families and 27 genera. The mayfly order contributed with 81.9% of the individuals. Familiar agriculture did not influence the abundance and richness of EPT. On the other hand, the composition of genera proved to be sensitive to detect both anthropogenic activities and changes in the physical structure of aquatic ecosystems, being effective assessing environmental change. The richness of EPT genera was explained by the physical habitat variables, with a multiple regression model explaining 45% of the variation between sites. The vegetation understory herbs was negatively related to genera richness. Concerning abundance of individuals, the generated model explained 42% of the variation, in which the understory vegetation and wood negatively related with to abundance. The structural integrity of streams, an important factor structuring EPT assemblages, was strongly affected by familiar agricultural activities and by the changes in the morphology of streams caused by excavation processes.

**Keyword:** Environmental integrity, benthic macroinvertebrates, familiar Agriculture.

## LISTA DE FIGURAS

### Introdução Geral

**Figura 1.** Localização geográfica dos 34 igarapés amostrados na Floresta Nacional de Caxiuanã (FLONA) e município de Portel e Melgaço, Pará, Brasil. Um ponto pode representar mais que um local no mapa.

Figura 2. Desenho representativo do trecho de 150 metros, subdivididos em 10 secções longitudinais de 15 metros, nomeados de “A” a “K”, onde a transecção A sempre a jusante e K sempre a montante.

Figura 3. Representação da área de aplicação do protocolo de integridade física. (A) trecho de 150 m, subdividido em (B) seção longitudinal e (C) seção transversal.

Figura 4. 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.

### Artigo

**Figura 1.** Localização geográfica dos 34 igarapés amostrados na Floresta Nacional de Caxiuanã (FLONA) e município de Portel e Melgaço, Pará, Brasil. Um ponto pode representar mais que um local no mapa.

Figura 2. Desenho representativo do trecho de 150 metros, subdivididos em 10 secções longitudinais de 15 metros, nomeados de “A” a “K”, onde a transecção A sempre a jusante e K sempre a montante (Shimano *et al.*, 2010; Cabette *et al.*, 2010).

Figura 3. Análise de Componentes Principais (PCA) para a ordenação das variáveis ambientais em igarapés afogados na Amazônia, Portel e Melgaço, Pará-PA, Brasil. A seta indica a relação das variáveis com o eixo.

Figura 4. Ordenação da composição de EPT, através da Análise de Coordenadas Principais (PCoA) de 34 igarapés afogados (íntegro e alterado) na Amazônia, no município de Portel e Melgaço, Pará-PA, Brasil.

**Figura 5.** Análise de Correspondência Canônica (CCA) entre os gêneros de Ephemeroptera e Trichoptera e as variáveis ambientais em igarapés afogados na Amazônia, no município de

Portel e Melgaço, Pará-PA, Brasil. O comprimento e a direção da seta indicam a força da correlação da variável ambiental com os eixos de ordenação (PT: Profundidade do talvegue; MAD: Madeira; DT: Declividade do trecho; VSBE: Vegetação de sub-bosque de ervas; CVI: Cobertura intermediária; ALTI: Altura de incisão; NMTA1: Número de madeira total acima – classe de tamanho 1; IHA: Proporção de impacto humano agrícola).

## LISTA DE TABELAS

### Introdução Geral

**Tabela 1.** Igarapés amostrados nas campanhas de Outubro e Novembro de 2012 e Outubro de 2013, no período de estiagem, na Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã e município de Portel e Melgaço, Pará, Brasil. Os códigos dos igarapés são: CAX: área de estudo na baía de Caxiuanã; CAX-D: igarapés amostrados dentro da Flona de Caxiuanã; CAX-F: igarapés amostrados “fora” da Flona, nos municípios de Portel e Melgaço.

### Artigo

**Tabela 1.** Contribuição das variáveis ambientais no primeiro eixo da PCA, para igarapés afogados na Amazônia, Portel e Melgaço, Pará – PA, Brasil. Variáveis que mais contribuíram (positivamente ou negativamente) estão em negrito, considerando uma relação superior a 0,7. Número de madeira total acima – Classe de tamanho 1 apresenta comprimento entre 1,5m a >15m e diâmetro de 0,1m a >0,8m. Cobertura de vegetação intermediária engloba a vegetação de sub-bosque lenhosa e não lenhosa. O símbolo ‘m’ corresponde à escala em metros e ‘cm’ a centímetro.

**Tabela 2.** Gêneros de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) coletados em 34 igarapés afogados na Amazônia, amostrados durante o período de estiagem nos anos de 2012 e 2013, no município de Portel e Melgaço, Pará-PA, Brasil.

**Tabela 3.** Resultado da Análise de Regressão Múltipla com critério de Stepwise entre as variáveis ambientais e a riqueza e abundância de gêneros de EPT amostrados em igarapés afogados amostrados na Amazônia, Portel, Pará - Brasil. O número de madeira total acima – Classe de tamanho 1 apresenta comprimento entre 1,5m a >15m e diâmetro de 0,1m a >0,8m. A Cobertura de vegetação intermediária engloba a vegetação de sub-bosque lenhosa e não lenhosa. O símbolo ‘m’ corresponde à escala em metros e ‘cm’ a centímetro.

Tabela 4. Coeficiente canônico e correlação nos dois primeiros eixos das variáveis ambientais utilizadas na Análise de Correspondência Canônica (CCA). O número de madeira total acima – Classe de tamanho 1 apresenta comprimento entre 1,5m a >15m e diâmetro de 0,1m a >0,8m. A cobertura de vegetação intermediária engloba a vegetação de sub-bosque lenhosa e não lenhosa. O símbolo ‘m’ corresponde a escala em metros e ‘cm’ a centímetro.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A Amazônia brasileira comporta a maior rede hidrológica da terra (Eva & Huber 2005), com contribuição de aproximadamente 17% na vazão de água doce para os oceanos (Callède *et al.*, 2010), apresentando a maior biodiversidade tropical de espécies de água doce (Hansen *et al.*, 2008). As águas dessa região são classificadas em água branca ou barrenta, água clara e água preta (Sioli, 1985), que são distinguidas por diferenças geológicas e geomorfológicas das respectivas áreas de captação (Junk, 1989). Rio com água branca ou barrenta tem origem em sua maior parte na região Andina, carreando quantidade significativa de material em suspensão que foi erodido. Por outro lado, os rios de águas claras têm sua formação advinda das Guianas e do Brasil Central, que apresentam relevo com menor erosão e, portanto, transportam menores quantidades de material em suspensão. Os rios de água preta têm sua origem na própria bacia amazônica e sua baixa transparência e pobreza em partículas em suspensão se devem às características dos solos de onde se originam (Sioli, 1985).

Os ecossistemas amazônicos são classificados em planícies de inundação (igapó e várzea) e terra firme (Pandolfo, 1978). Basicamente, a diferença entre várzea e igapó consiste no tipo de água que provoca a inundação desses ecossistemas e no período que ficam alagados, sendo a várzea por água clara, ficando permanentemente alagada e igapó por água preta com inundações temporárias. Por outro lado, ecossistemas de terra firme são de áreas mais elevadas e não é atingido pelas cheias do rio (Sioli, 1985).

Esses ecossistemas foram intensamente povoados durante 1970. A partir da década de 1980 foi incrementado políticas de modernização na industrialização e exploração dos recursos naturais (Ferreira & Salati, 2005). Programas governamentais de ocupação do território resultaram em mudanças na paisagem, principalmente em função do avanço da ação antrópica e agricultura, gerando em perdas da biodiversidade (Oliveira, 1992). A prática de agricultura familiar na Amazônia consiste no sistema de agricultura migratória ou itinerante, alternando períodos de cultivo (principalmente de mandioca) e de pousio, momento em que a vegetação secundária se desenvolve para depois de algum tempo ser transformada em fertilizante para o próximo período de cultivo. A técnica usada é derruba-e-queima, que provoca perdas de nutrientes no solo, emissões nocivas de gases à atmosfera, e riscos de incêndio (Moran, 1990, Hölscher *et al.*, 1997; Nepstad *et al.*, 1999), além de possíveis alterações nos ecossistemas aquáticos.

Atividades antropogênicas, principalmente alterações em larga escala no uso da terra, tais como agricultura e atividade madeireira, podem provocar alterações na paisagem natural reduzindo a produtividade do ecossistema, e a diversidade de habitats disponíveis (Arias, 2007), principalmente quando essas práticas podem se expandir e reduzir a vegetação ciliar. A vegetação ripária estabiliza as margens dos corpos d'água, filtra a entrada de poluentes nos rios, evita o carreamento de sedimentos para os ecossistemas, intercepta e absorve radiação solar proporcionando recursos para a dinâmica de fluxo energético nesses ambientes (Aguiar *et al.*, 2002).

Por outro lado, as atividades de subsistência em pequena escala também podem afetar os sistemas hídricos e sua biota pela maior entrada de nutrientes e outros poluentes (Nessimian *et al.*, 2008) advindas da prática rudimentar, quanto pela modificação na estrutura física do canal de drenagem. A estrutura física de ambientes lóticos é importante para a distribuição dos organismos, pois a persistência e ocorrência de uma espécie em um ambiente pode ocorrer em função da integridade do ambiente e dos atributos das espécies em permanecer no local. Sendo que o aumento da heterogeneidade do ambiente pode favorecer o aumento de espécies residentes, pois espera-se uma maior disponibilidade de habitats que fornecem refúgios as perturbações naturais e antrópicas (Southwood, 1977; Poff & Ward, 1990).

As assembleias de macroinvertebrados aquáticos são apropriadas em indicar a qualidade ambiental dos sistemas hídricos (Reice & Wohlenberg, 1993), visto que o estabelecimento dessas espécies depende da integridade ecológica dos locais (Hering *et al.*, 2004), incluindo as condições dos tipos de substrato (Shimano *et al.*, 2012), dos padrões de correnteza (Maltchik & Florín, 2002), do regime de luz e das concentrações de nutrientes dos rios (Minshall, 1984). Em função disso os macroinvertebrados e, em especial, os insetos aquáticos da ordem Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera, têm ganhado importância nos trabalhos de avaliação de impactos ambientais.

A ordem Ephemeroptera é considerada uma das ordens mais antiga de insetos alados, com distribuição mundial, exceção da Antártica, extremo Ártico e ilhas oceânicas (Da-Silva & Salles, 2012; Elouard *et al.*, 2003). São indivíduos anfibióticos, com representantes imaturos aquáticos e adultos terrestres aéreos. As ninfas apresentam estratégias alimentares, com organismos filtradores, raspadores, fragmentadores, coletores e predadores. Os imaturos vivem de algumas semanas a anos, enquanto que os adultos têm vidas efêmeras e não se alimentam, pois possuem peças bucais atrofiadas. Habitam uma variedade de ambientes

lênticos e lóticos (Salles *et al.*, 2004) e os imaturos são mais abundantes em ambientes semi-lênticos e mais ricos em locais de médio e grande porte (Shimano *et al.*, 2010). Por terem distribuição em praticamente todos os meso-habitats (Domínguez *et al.*, 2009), os Ephemeroptera são organismos importantes na cadeia trófica dos ambientes aquáticos (Salles *et al.*, 2004).

Os imaturos de Plecoptera habitam locais com sedimento pedregoso, troncos, galhos, folhas caídas, tanto em corredeira quanto em remanso (Froehlich, 2009), de águas límpidas com altas concentrações de oxigênio dissolvido (Hamada & Silva, 2014). Tem biomassa significativa e são alimentos para vários organismos e desempenham papel relevante como raspadores e predadores (Froehlich, 2012). As formas adultas vivem na vegetação ripária ou entre pedras e detritos (Stewart & Stark, 2008).

A ordem Trichoptera é uma das maiores ordens de insetos aquáticos, com ampla distribuição nos continentes, exceto no antártico (Paprocki, 2012). Apresentam alta diversidade e abundância em ambientes lóticos (Mackay & Wiggins, 1979). As larvas são aquáticas, vivem em abrigos fixos ou transportáveis feito com seda e os adultos são aéreos terrestres e permanecem próximos aos corpos d'água (Angrisano & Sganga, 2009). Os adultos vivem de duas ou três semanas, cuja única função é a cópula e postura de ovos (Paprocki *et al.*, 2004). Os tricópteros servem de alimentos para outros níveis tróficos (Angrisano & Sganga, 2009) e tem papel crucial na dinâmica de nutrientes, pois transformam matéria orgânica particulada grossa (MOPG) em matéria orgânica particulada fina (MOPF), disponibilizando recursos alimentares para outros macroinvertebrados aquáticos (Paprocki, 2012).

A região da baía de Caxiuanã, localizada no nordeste do estado do Pará, apresenta características peculiares que a torna diferente do contexto do bioma Amazônico. Durante o Pleistoceno Superior-Holoceno, por volta de 5.970 mil anos (formação recente), as atividades neotectônicas na região, associadas à transgressão do oceano Atlântico, alteraram a geomorfologia e a hidrodinâmica do rio Anapu e de seus tributários, o que causou o bloqueio da drenagem dos rios (Behling & Costa, 2000; Costa *et al.*, 2002). Esse fenômeno resultou no surgimento da baía de Caxiuanã, derivado do alagamento permanente da planície de inundação do paleo-Anapu. Esse processo acarretou a perda de velocidade de correnteza da água dos rios e igarapés (pequenos riachos) da região, intensificando a deposição de sedimentos finos (Melo *et al.*, 2013), e conseqüentemente transformando esses ecossistemas em “lagos de ria”, de características lacustres. Os tributários dessa baía passaram então a ser

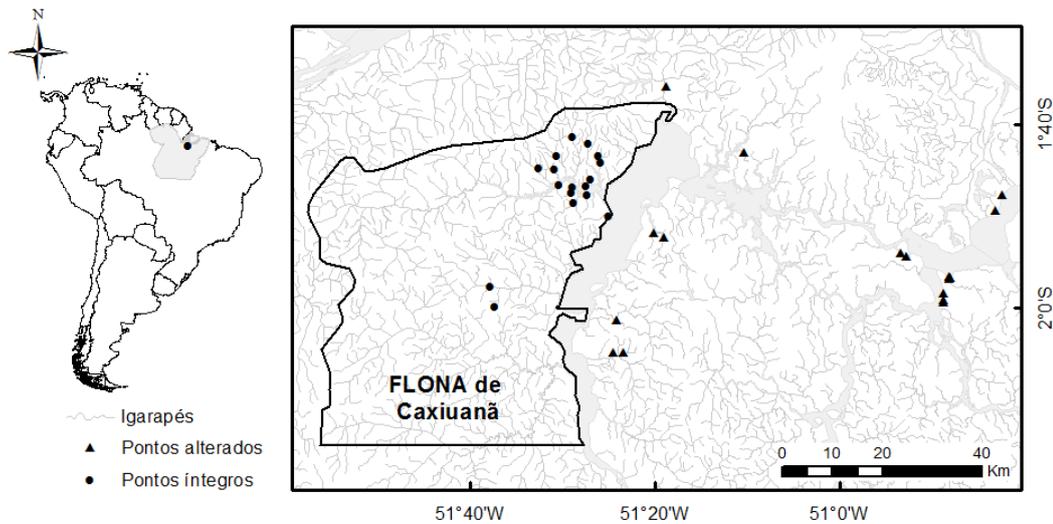
conhecidos como “igarapés afogados” e possuem planícies de inundação que podem exceder dez metros de largura (Montag *et al.*, 2009), porém apresentando pouca profundidade.

Na região da baía de Caxiuanã, principalmente no município de Portel, o cultivo da mandioca e açaí é desenvolvido por agricultores familiares que residem às margens dos rios e igarapés. O sistema de uso do solo praticado pelos ribeirinhos é a derruba e queima, sem o incremento de mecanização (Santos & Santana, 2012). Ainda não existe um cuidado na aplicação de técnicas de derrubadas ou queimas, então não se sabe quais os efeitos que essa prática pode acarretar nos habitats físicos e nas assembleias biológicas dos ecossistemas aquáticos. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito das atividades humanas realizadas na região da baía de Caxiuanã, relacionados a agricultura familiar e a retirada de madeira por ribeirinhos, sobre os ecossistemas aquáticos, utilizando as assembleias de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) como indicadoras ambientais. Nossa hipótese é de que a riqueza e abundância de EPT decrescem em locais que apresentam influência de atividades de agricultura familiar, havendo também uma diferenciação na composição de gêneros quando comparado com ambientes mais íntegros.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Área de estudo**

O estudo foi realizado no município de Portel e Melgaço, nordeste do estado do Pará, Brasil, nas coordenadas 01°42'30" de latitude Sul e 51°31'45" de longitude Oeste, altitude média de 62m (Figura 1). A região é uma planície que inclui a Baía de Caxiuanã, constituída por parte do antigo rio Anapu, que drena a região sul do Estado do Pará (Behling & Costa, 2000). A cobertura vegetal da área é composta de floresta densa de terra firme e florestas de inundação (várzea e igapó). As florestas de inundação são caracterizadas por estarem expostas a alagamentos diários em função das oscilações diárias de marés e das flutuações sazonais do nível do rio (Ferreira *et al.*, 1997). A baía de Caxiuanã e os seus tributários caracterizam-se pela baixa quantidade de material em suspensão, com exceção de matéria orgânica algal e espícula de cauxi (esponja de água doce), tendo assim uma água límpida classificada como água preta (Costa *et al.*, 2002).



**Figura 1.** Localização geográfica dos 34 igarapés amostrados na Floresta Nacional de Caxiuanã (FLONA) e município de Portel e Melgaço, Pará, Brasil. Um ponto pode representar mais que um local no mapa.

A região está situada na bacia hidrográfica do rio Amazonas, onde a flutuação no nível do rio é influenciada pelo regime de marés, não sendo observadas modificações hidrogeoquímicas (Hilda *et al.*, 1997). Sendo assim, a dinâmica hidrológica de Caxiuanã é determinada pelo período de chuva e pelo regime de marés, não havendo variação significativa no nível da água entre os períodos secos e chuvosos (Melo *et al.*, 2013). O clima da região é do subtipo “Am” segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical quente e úmido, com temperatura média anual de 26,7°C (Ferreira da Costa *et al.*, 2003), umidade relativa anual de 80% e precipitação pluviométrica média de 3,000 mm/ano (SEPOF-PARÁ, 2011).

## 2.2 Amostragem biológica

As coletas foram realizadas no período de estiagem, em Outubro e Novembro de 2012 e Outubro de 2013. Foram amostrados 34 igarapés, dos quais 17 foram considerados como ambientes íntegros, localizando-se dentro da Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã e 17 considerados alterados antropicamente, pois são influenciados por prática de agricultura familiar (Tabela 1).

**Tabela 1.** Igarapés amostrados em Outubro e Novembro de 2012 e Outubro de 2013, no período de estiagem, na Floresta Nacional de Caxiuanã (FLONA) e município de Portel e Melgaço, Pará, Brasil. Os códigos dos igarapés são: CAX: área de estudo na baía de

Caxiuanã; CAX-D: igarapés amostrados dentro da Flona de Caxiuanã; CAX-F: igarapés amostrados “fora” da Flona, nos municípios de Portel e Melgaço.

<b>Ambiente</b>	<b>Ponto</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
Íntegro	CAX - D01	-1.80922222	-51.47958333
Íntegro	CAX - D02	-1.70069444	-51.45413889
Íntegro	CAX - D03	-1.72369444	-51.43572222
Íntegro	CAX - D04	-1.79452778	-51.45597222
Íntegro	CAX - D05	-1.76644444	-51.44880556
Íntegro	CAX - D06	-1.79102778	-51.48394444
Íntegro	CAX - D07	-1.83391667	-51.41655556
Íntegro	CAX - D08	-1.68958333	-51.48216667
Íntegro	CAX - D09	-1.72380556	-51.51047222
Íntegro	CAX - D10	-1.74580556	-51.54247222
Íntegro	CAX - D11	-1.77691667	-51.50602778
Íntegro	CAX - D12	-1.78025000	-51.48288889
Íntegro	CAX - D13	-1.74738889	-51.51538889
Íntegro	CAX - D14	-1.99666667	-51.62227778
Íntegro	CAX - D15	-1.95988889	-51.63105556
Íntegro	CAX - D16	-1.73505556	-51.43022222
Íntegro	CAX - D17	-1.77741667	-51.45833333
Alterado	CAX - F01	-2.08150000	-51.39038889
Alterado	CAX - F02	-2.08094444	-51.40952778
Alterado	CAX - F03	-2.02222222	-51.40263889
Alterado	CAX - F04	-1.87244444	-51.31711111
Alterado	CAX - F05	-1.86263889	-51.33580556
Alterado	CAX - F06	-1.59672222	-51.31266667
Alterado	CAX - F07	-1.71730556	-51.17261111
Alterado	CAX - F08	-1.89966667	-50.89230556
Alterado	CAX - F09	-1.90516667	-50.88155556
Alterado	CAX - F10	-1.94411111	-50.80200000
Alterado	CAX - F11	-1.94202778	-50.80402778
Alterado	CAX - F12	-1.94675000	-50.80427778
Alterado	CAX - F13	-1.98977778	-50.81444444

Alterado	CAX - F14	-1.97358333	-50.81347222
Alterado	CAX - F15	-1.82305556	-50.72166667
Alterado	CAX - F16	-1.98608333	-50.81450000
Alterado	CAX - F17	-1.79377778	-50.70966667

Em cada igarapé amostrado foi demarcado um trecho longitudinal de 150m, no sentido de jusante a montante, denominados de “A” a “K”, respectivamente (Figura 2). Esse trecho foi subdividido em 10 secções longitudinais de 15m, que foram posteriormente subdivididas em três segmentos de cinco metros cada. Foram amostrados somente os dois primeiros segmentos de cada secção, totalizando 20 amostras por igarapé. Para a coleta dos indivíduos EPT foram extraídas duas porções de substrato (compondo uma única amostra) em cada um dos segmentos, utilizando um amostrador rapiché de 18 cm de diâmetro e malha de 250 µm (Shimano *et al.*, 2010; Cabette *et al.*, 2010). Em campo o material foi triado e os indivíduos fixados em álcool 85%.

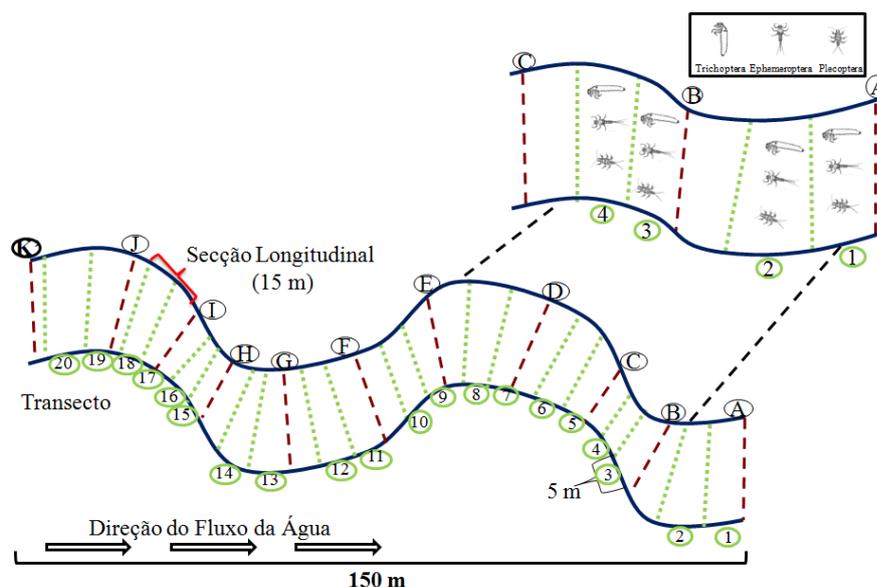


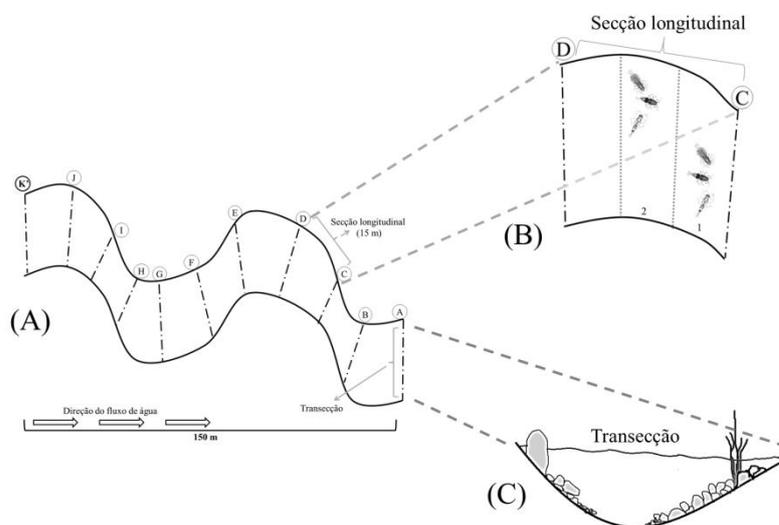
Figura 2. Desenho representativo do trecho de 150 metros, subdivididos em 10 secções longitudinais de 15 metros, nomeados de “A” a “K”, onde a transecção A sempre a jusante e K sempre a montante (Shimano *et al.*, 2010; Cabette *et al.*, 2010).

Os exemplares foram identificados usando chaves dicotômicas de Pes *et al.* (2005), Dominguez (2006); Salles (2006); Olifiers (2004), Hamada & Couceiro (2003) e Salles & Dominguez (2012). Os dados de gêneros e gêneros/morfótipos/espécies apresentaram alta congruência em uma análise Procrustes ( $m^2=0,342$ ,  $r= 0,811$ ). Assim, considerando que a identificação de morfótipos não é possível para muitos gêneros de EPT, foi utilizado somente

os dados de gêneros. A identificação a gênero tem se mostrado adequada em muitos estudos ecológicos, apresentando grande congruência com os conjuntos de dados de espécies, o que permite uma detecção refinada dos impactos antropogênicos (Lenat & Resh, 2001; Schmidt-Kloiber & Nijboer, 2004; Waite *et al.*, 2004).

### 2.3. Caracterização física do ambiente

Como forma de avaliação do habitat físico foi aplicado em campo o protocolo adaptado da Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (US-EMAP *West Weadeable Stream*), sendo avaliado no perfil longitudinal e transversal (Figura 3) (Peck *et al.*, 2006).



**Figura 3.** Representação da área de aplicação do protocolo de integridade física. (A) trecho de 150 m, subdividido em (B) seção longitudinal e (C) seção transversal (Peck *et al.*, 2006).

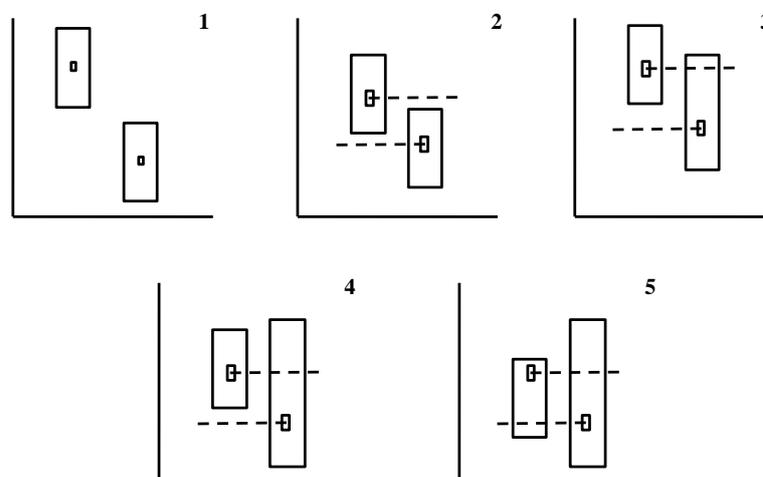
No perfil longitudinal foram avaliadas dez seções, onde foram mensurados os descritores de profundidade do talvegue, largura molhada, barra de canal, sedimentos finos, velocidade do fluxo da água, formação de piscina, remanso, canal lateral, tipos de substrato, quantidade de madeira no canal ou dependurada sob o leito do igarapé. O perfil transversal foi avaliado nas 11 transecções, no qual o tamanho e as dimensões do canal de cada igarapé foram mensurados com objetivo de verificar a quantidade potencial de habitat disponível para a biota e o tipo e tamanho do substrato, bem como indícios de ações antrópicas (construção, monocultura, pastagem e mineração) na proximidade da zona ripária e da margem do igarapé, em ambas as margens (esquerda e direita).

A estrutura da vegetação ciliar foi avaliada visualmente na margem esquerda e direita de cada igarapé, observando os extratos: dossel (>5 m altura), sub-bosque (0,5 até 5m

de altura), vegetação rasteira (<0,5 m de altura) e solo exposto. A abertura de dossel acima do canal principal foi avaliada com auxílio de um densiômetro posicionado no centro de cada transecção (aproximadamente 30 cm acima da lâmina d'água), fazendo seis medidas: centro a montante, centro a esquerda, centro a jusante, centro a direita, esquerda e direita. A análise e cálculo das métricas foi realizada seguindo as orientações de Kaufmann *et al.* (1999), que resultou em 226 métricas de avaliação do hábitat físico.

#### 2.4. Seleção de métricas do ambiente físico

A avaliação do ambiente físico gerou um total de 226 métricas que foram pré-avaliadas. Primeiramente, foi feita a amplitude de variação, onde foram desconsideradas 72 métricas que tiveram amplitude de variância igual ou muito próxima a zero. Em seguida, foram realizadas análises explanatórias simples através de gráficos *Box-and-whiskers plots* para verificar sobreposição de quartis (Barbour *et al.*, 1996), onde foram removidas 97 métricas que apresentaram quartis sobrepostos, resultando em 57 métricas que não apresentarem nenhuma ou mínima sobreposição (Figura 4) dos quartis. A significância das métricas foi testada através de teste *t*-Student ( $p < 0,05$ ), com os pressupostos de normalidade e homocedasticidade previamente avaliados. Quando os pressupostos não foram cumpridos, foi realizado Teste *t* para variâncias separadas ( $p < 0,05$ ). Dessa forma, foram retiradas 23 métricas, restando 34 para serem avaliadas pela correlação. Dessas métricas, 26 foram removidas por serem colineares (Correlação de Sperman  $> 0,7$ ), restando oito métricas que foram usadas nas análises estatísticas. As métricas resultantes foram profundidade do talvegue, declividade do trecho, altura de incisão, madeira, número de madeira total acima (classe de tamanho 1) e proporção de impacto humano agrícola por trecho.



**Figura 4.** 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.

## 2.5. Análise dos dados

Cada igarapé foi considerado como uma unidade amostral nas análises apresentadas a seguir. As variáveis ambientais selecionadas foram utilizadas para examinar a variação ambiental entre as áreas íntegras e as áreas alteradas através de uma Análise de Componentes Principais (PCA) (Jackson, 1991). Como critério de seleção de eixo foi usado Broken-stick (Jackson, 1993). A matriz de distância euclidiana foi calculada entre os igarapés amostrados a partir das variáveis ambientais padronizadas.

Para verificar se existe diferença na riqueza e abundância entre as áreas íntegras e alteradas foi feito teste *t*-Student ( $p < 0,05$ ). Quando os pressupostos da normalidade e homocedasticidade do teste não foram cumpridos foi realizado um Teste *t* para variância separada ( $p < 0,05$ ) (Zar, 2010).

Para analisar a variação da composição de gêneros entre ambiente íntegro e alterado foi feito a Análise de Coordenadas Principais (PCoA), sendo o conjunto de dados transformado com  $\log(x+1)$  antes da análise. A PCoA coloca as unidades amostradas em eixos de ordenação com base no índice de dissimilaridade de Bray-Curtis em dados de composição (Legendre & Legendre, 1998). Com o objetivo de testar a significância das diferenças de composição entre os grupos de igarapés comparados foi usado a Análise Permutacional Multivariada da Variância (PERMANOVA) (Anderson, 2001), também tendo como base a medida de similaridade de Bray-Curtis, usando 9999 permutações, com o pressuposto de homogeneidade de dispersão previamente testado pela PERMDISP (Anderson *et al.*, 2006).

Para avaliar as relações entre a abundância e riqueza de gêneros de EPT com as variáveis ambientais foram realizadas análises de regressões múltiplas, utilizando a seleção de modelo *forward stepwise* (Sokal & Rolf, 1994). Esse método seleciona as variáveis independentes no modelo de regressão de acordo com a quantidade de variação explicada na variável dependente; a primeira variável independente introduzida no modelo explica a maior

parte da variação, a segunda a maior parte da variação restante, e assim por diante. O acréscimo de variável no modelo termina quando a próxima variável a constar no modelo não tem uma correlação parcial significativa ( $p > 0,05$ ).

Para avaliar a parte da variação da composição de gêneros de EPT que pode ser explicada por meio de variáveis da estrutura física do ambiente, foi realizada uma análise de correspondência canônica (CCA). O resultado da CCA apresenta um diagrama de ordenação, no qual os gêneros e os sítios são representados por pontos, e as variáveis ambientais, por vetores ou flechas que indicam a direção das mudanças destas variáveis no espaço de ordenação (Ter Braak, 1995). Este diagrama possibilita a visualização não apenas de um padrão de variação da assembleia (como padrão de ordenação), mas também das principais características responsáveis pelas distribuições dos gêneros ao longo das características ambientais (Ter Braak, 1986). A CCA foi realizada apenas utilizando os gêneros de EPT com abundância maior que 10 indivíduos, para evitar uma interpretação errônea dos resultados.

Todas as análises foram realizadas na rotina do software R (R Development Core Team 2013), usando pacotes exigidos para cada análise especificamente.

### 3. REFERÊNCIAS

AGUIAR, F. C.; FERREIRA, M. T. & PINTO, P. 2002. Relative influence of environmental variable on macroinvertebrate assemblages from an Iberian basin. **Journal of the North American Benthological Society**, 21: 43-53.

ANDERSON, M. J. 2001. A new method for nonparametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, 26:32-46.

ANDERSON, M. J., ELLINGSEN, K. E. & MCARDLE, B. H. 2006. Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. **Ecology Letters**, 9: 683-693.

ANGRISANO, E. B. & SGANGA, J. V. 2009. **Trichoptera**. In: DOMÍNGUEZ, E. & FERNÁNDEZ, H. R. Macroinvertebrados bentônicos sudamericanos – Sistemática y biología. 1º edição. Tucumán: Fundación Miguel Lillo, 255

ARIAS, A. R. L.; BUSS, D. F.; ALBUQUERQUE, C.; INÁCIO, A. F.; FREIRE, M. M.; EGLER, M.; MUGNAI, R. & BAPTISTA, D. F. 2007. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência & Saúde Coletiva**; 12: 61-72.

- BARBOUR, M. T.; GERRITSEN, J.; GRIFFITH, G. E.; FRYDENBORG, R.; MCCARRON, E.; WHITE, J. S. & BASTIAN, M. L. 1996. A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates. **Journal of the North American Benthological Society**, 185-211.
- BEHLING, H. & COSTA, M. L. 2000. Holocene Environmental Changes from the Rio Curuá Record in the Caxiuanã Region, Eastern Amazon Basin. **Quaternary Research**, 53:369-377.
- CABETTE, H. S. R.; GIEHL, N. F. S.; DIAS-SILVA, K.; JUEN, L. & BATISTA, J. B. 2010. **Distribuição de Nepomorpha e Gerromorpha (Insecta: Heteroptera) da Bacia Hidrográfica do Rio Suiá-Miçu, MT: riqueza relacionada à qualidade da água e do habitat.** In: SANTOS, JE; GALBIATI, C. & MOSCHINI, LE orgs. Gestão e educação ambiental: água, biodiversidade e cultura. São Carlos, RiMa, 2: 113-137.
- CALLÈDE, J.; COCHONNEAU, G.; VIEIRA ALVES, F.; GUYOT, J. L.; SANTOS GUIMARAES, V. & OLIVEIRA, E. 2010. The River Amazon water contribution to the Atlantic Ocean. **Journal Water Science**, 23: 247–273.
- COSTA, M. L.; KERN, D. C.; BEHLING, H. & BORGES, M. S. 2002. **Geologia** In: LISBOA, P. L. B. (Org). Caxiuanã: populações tradicionais, meio físico e diversidade biológica. Belém, PA: Museu Paraense Emílio Goeldi, 179-205.
- DA-SILVA, E. R. & SALLES, F. F. 2012. **Ephemeroptera Hyatt & Arms, 1891.** In: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B.; CASARI, S. A. & CONSTANTINO, R. Insetos do Brasil: Diversidade e taxonomia. Ribeirão Preto, **Holos**, 810.
- DOMÍNGUEZ, E.; MOLINERI, C.; PESCADOR, M. L.; HUBBARD, M. D. & NIETO, C. 2006. **Ephemeroptera of South America.** In: ADIS, J. R.; RUEDA-DELGADO, G. & WANTZEN, K. M. (Eds): Aquatic Biodiversity in Latin American (ABLA). Vol. 2. Pensoft, Sofia-Moscow, 646.
- DOMÍNGUEZ, E.; MOLINERI, C. & NIETO, C. 2009. **Ephemeroptera.** In: DOMÍNGUEZ, E. & FERNÁNDEZ, H. R. Macroinvertebrados bentônicos sudamericanos – Sistemática y biología. 1 edição. Tucumán: Fundación Miguel Lillo, 55.
- ELOUARD, J. M.; GATTOLLIAT, J. L. & SARTORI, M. 2003. **Ephemeroptera- Mayflies.** In: GOODMAN, S. M. & BENSTEAD, J.P. The Natural History of Madagascar. Chicago: The University of Chicago Press.

- EVA, H.D. & HUBER, O. 2005. Proposta para definição dos limites geográficos da Amazônia: síntese dos resultados de um seminário de consulta a peritos organizado pela Comissão Européia em colaboração com a Organização do Tratado de Cooperação Amazônica. CCP ISpra, 7-8.
- FERREIRA, L. V.; ALMEIDA, S. S. & ROSÁRIO, C. S. 1997. As áreas de inundação, Caxiuanã. Belém: **Museu Paraense Emílio Goeldi**, 195-211.
- FERREIRA DA COSTA, R.; COSTA, A. C. L.; MEIR, P. & MALHI, Y. 2003. **Projeto LBA/ESECAFLOR em Caxiuanã: características, atividades e resultados**. In: Seminário de 10 anos de atividade da Estação Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará, Belém.
- FERREIRA, A. M. M. & SALATI, E. 2005. Forças de transformação do ecossistema amazônico. **Estudos Avançado**, 19: 25-44.
- FROEHLICH, C. G. 2009. **Plecoptera**. In: DOMÍNGUEZ, E. & FERNÁNDEZ, H. R. Macroinvertebrados bentônicos sudamericanos – Sistemática y biología. 1 edição. Tucumán: Fundación Miguel Lillo, 145.
- FROEHLICH, C. G. 2012. **Plecoptera Burmeister, 1839**. In: Insetos do Brasil. 1 edição. Ribeirão Preto: Holos Editora, 613.
- HAMADA, N. & COUCEIRO, S. R. M. 2003. An illustrated key to nymphs of Perlidae (Insecta, Plecoptera) genera in Central Amazonia, Brazil, **Revista Brasileira de Entomologia**, 47: 477-480.
- HAMADA, N. & SILVA, J. O. 2014. **Ordem Plecoptera**. In: Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia. Editores: Neusa Hamada, Jorge Luiz Nessimian, Ranyse Barbosa Querino. - Manaus: Editora do INPA.
- HANSEN, M. C.; STEHMAN, S. V.; POTAPOV, P. V.; LOVELAND, T. R.; TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R. S.; PITTMAN, K. W.; ARUNARWATI, B.; STOLLE, F.; STEININGER, M. K.; CARROLL, M.; DIMICELI, C. 2008. Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified by using multitemporal and multiresolution remotely sensed data. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 105: 9439–9444.
- HERING, D.; MOOG, O.; SANDIN, O. & VERDONSCHOT, P. F. 2004. Overview and application of the AQEM assessment system. **Hydrobiologia**, 516: 1-20

- HILDA, N.; MAIA, J. M.; HIRAOKA, M.; SHIMI, O. & MIZUTANI, N. 1997. **Notes on annual and daily water levels changes at Breves and Caxiuanã, Amazon estuary.** In: LISBOA, P. L. B. (Org). Caxiuanã. Belém: Museu Paraense Emilio Goeldi, 97-103.
- HÖLSCHER, D.; MÖLLER, M. R. F.; DENICH, M. & FÖLSTER, H. 1997. Nutrient input-output budget of shifting agriculture in Eastern Amazonia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 47:49-57.
- JACKSON, J. E. 1991. **A user's guide to principal components.** John Willey & Sons, New York, USA.
- JACKSON, D. A. 1993. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. **Ecology**, 74: 2204–2214.
- JUNK, W. J. 1989. **Flood tolerance and tree distribution in central Amazonia.** IN: HOLM-NIELSEN L. B.; NIELSEN I. C.; BALSLEV. H. (Eds.) Tropical Forest Botanical Dynamics. Speciation and Diversity. London: Academic Press, 47-64
- KAUFMANN, P. R.; LEVINE, P.; ROBISON, E. G.; SEELIGER, C.; PECK, D. V. 1999. **Quantifying Physical Habitat in Wadeable Streams.** EPA/620/R-99/003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. 1998. **Numerical Ecology.** 2 ed. Elsevier, Amsterdam.
- LENAT, D. R. & RESH, V. H. 2001. Taxonomy and stream ecology – the benefits of genus and species-level identification. **Journal of North American Benthological Society**, 20: 287–298.
- MACKAY, R. J. & WIGGINS, G. B. 1979. Ecological Diversity in Trichoptera. **Annual Review of Entomology**, 24: 185-208.
- MALTCHIK, L. & FLORÍN, M. 2002. Perspectives of hydrological disturbance as the driving force of Brazilian semiarid stream ecosystems. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 14: 35-41.
- MELO, D. M. B; KRUSCHE, A. V.; RIBEIRO, M. M.; MIGIVAMA, A. C.; SALES, M. E. C.; BERREDO, J. F. & MATOS, C. R. L. 2013. **A biogeoquímica das águas de Caxiuanã.** In: Caxiuanã: paraíso ainda preservado. Organizador: LISBOA, P. L. B. Belém, Museu Paraense Emilio Goeldi.

- MINSHALL, G. W. 1984. **Aquatic insect-substratum relationships**. In: Resh, V. H. & Rosenberg, D. M. The ecology of aquatic insects. New York: Praeger Publishers, 358-400
- MONTAG, L. F. A.; FREITAS, T. M. S.; CASTRO, N. C.; WOSIACKI, W. B. & BARTHEM, R. B. 2009. **Ictiofauna: diversidade e conservação**. In: Caxiuanã: Desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia. Org. P. L. B. Lisboa, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém-PA, 605-627.
- MORAN, E. F. 1990. **A ecologia humana das populações da Amazônia**. Petrópolis: Vozes, 368.
- NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. G. & ALENCAR, A. A. 1999. **Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to amazonian fire**. The Pilot Program to Conserve the Brazilian Rain Forest, Brasília.
- NESSIMIAN, J. L.; VENTICINQUE, E. M.; ZUANON, J.; MARCO-JR, P.; GORDO, M.; FIDELIS, L.; BATISTA, J. D. & JUAN, L. 2008. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. **Hydrobiologia**, 614: 117-131.
- OLIVEIRA, A. E. 1992. **Ocupação humana na Amazônia**. In: SALATI, E. Amazônia: interação, desenvolvimento e ecologia. Brasília: CNPq, 144-327.
- OLIFIERS, M. H.; DORVILLÉ, L. F. M.; NESSIMIAN, J. L. & HAMADA, N. 2004. A Key to Brazilian Genera of Plecoptera (Insecta) based on Nymphs. **Zootaxa**, 651: 1–15.
- PAPROCKI, H.; HOLZENTHAL, R. W. & BLAHNIK, R. J. 2004. Checklist of the Trichoptera (Insecta) of Brazil I. **Biota Neotropica**, São Paulo, 4: 1-22.
- PAPROCKI, H. 2012. **Trichoptera Kirby, 1813**. In: RAFAEL, J. A. Insetos do Brasil. 1 edição. Ribeirão Preto: Holos Editora, 613.
- PANDOLFO, C. 1978. **A floresta amazônica brasileira: enfoque econômico-ecológico**. Belém: SUDAM, 118.
- PECK, D. V.; HERLIHY, A. T.; HILL, B. H.; HUGHES, R. M.; KAUFMANN, P. R.; KLEMM, D. J.; LAZORCHAK, J. M.; MCCORMICK, F. H.; PETERSON, S. A.; RINGOLD, P. L.; MAGEE, T.; CAPPAERT, M. R. 2006. **Environmental Monitoring and Assessment Program – Surface Waters Western Pilot Study: Field Operations Manual for**

Wadeable Streams. EPA 600/R-06/003. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, DC.

PES, A. M. O.; HAMADA, N. & NESSIMIAN, J. L. 2005. Chaves de identificação de larvas para famílias e gêneros de Trichoptera (Insecta) da Amazônia Central, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, 49: 181-2014.

POFF, N. L. & WARD, J. V. 1990. Physical habitat template of lotic systems: recovery in the context of historical pattern of spatiotemporal heterogeneity. **Environmental Management**, 14: 629-645.

REICE, S. R. & M. WOHLBERG, 1993. **Monitoring freshwater benthic macroinvertebrates and benthic processes: measures for assessment of ecosystem health**. Chapman and Hall, New York (USA), 287-305.

R Development Core Team 2013. **R: A linguagem e ambiente para computação estatística** Viena, R Foundation for Statistical Computing, R versão 3.0.1, ISBN 3-900051-07-0. Disponível online em: <http://www.Rproject.org>. Acessado em 15 de outubro de 2014.

SALLES, F. F.; DA-SILVA, E. R.; HUBBARD, M. D. & SERRÃO, J. E. 2004. As espécies de Ephemeroptera (Insecta) registradas para o Brasil. **Biota Neotropica**, São Paulo, 4: 1-34.

SALLES, F. F., 2006. A ordem Ephemeroptera no Brasil (Insecta): taxonomia e diversidade. Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

SALLES, F. F. & DOMÍNGUES, E. 2012. Systematics and Phylogeny of Ulmeritus-Ulmeritoides revisited (Ephemeroptera: Leptophlebiidae). **Zootaxa**, 3571: 49–65.

SANTOS W, M. A. S. & SANTANA, A. C. 2012. Caracterização socioeconômica da produção e comercialização de farinha de mandioca no município de Portel, arquipélago do Marajó, Estado do Pará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 7: 73-86.

SCHMIDT-KLOIBER, A. & NIJBOER, R. C. 2004. The effect of taxonomic resolution on the assessment of ecological water quality classes. **Hydrobiologia**, 516: 269–283.

SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E FINANÇAS - SEPOF-PARÁ, 2011. **Estatísticas Municipais Paraenses** - Portel. Núcleo de disseminação da informação, comunicação e suporte de decisão.

- SHIMANO, Y.; CABETTE, H. S. R.; SALLES, F. F. & JUEN, L. 2010. Composição e distribuição da fauna de Ephemeroptera (Insecta) em área de transição Cerrado-Amazônia, Brasil. **Iheringia**. Série Zoologia, 100: 301-308.
- SHIMANO, Y.; SALLES, F. F.; FARIA, L. R.; CABETTE, H. S. & NOGUEIRA, D. S. 2012. Distribuição espacial das guildas tróficas e estruturação da comunidade de Ephemeroptera (Insecta) em córregos do Cerrado de Mato Grosso, Brasil. **Iheringia**, Série Zoologia, 102: 187-196.
- SIOLI, H. 1985. **Amazônia: fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais**. Petrópolis: Vozes.
- SOKAL, R. & ROLF, J. 1994. **Biometry. The Principles and Practice of Statistics in Biological Research**. Freeman, New York: 887.
- STEWART, K. W. & STARK, B. P. 2008. **Plecoptera**. In: MERRIT, R.W.; CUMMINS, K. W. & BERG, M. B. An introduction to the aquatic insects of North America. Dubuque: Kendall / Hunt publishing company.
- SOUTHWOOD, T. R. E. 1977. Habitat, the templet for ecological strategies? **Journal of Animal Ecology**, Oxford, 46: 337-65.
- TER BRAAK, C. J. F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, 67: 1167-79.
- TER BRAAK, C. J. F. 1995. **Ordination**. In: JONGMAN, R. H. G.; TER BRAAK, C. J. F.; VAN TONGEREN, O. F. R. (Eds.). Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge: Cambridge University Press, 91-173.
- ZAR, J. H. 2010. **Biostatistical analysis**. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River.
- WAITE, I. R.; HERLIHY, A. T.; LARSEN, D. P.; URQUHART, N. S.; KLEMM, D. J., 2004. The effects of macroinvertebrate taxonomic resolution in large landscape bioassessments: an example from the Mid-Atlantic Highlands, U.S.A. **Freshwater Biology**, 49: 474-489.

## **ESTRUTURA E FORMATAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

A dissertação intitulada “Alteração ambiental em igarapés afogados da Amazônia Oriental sobre a assembleia de insetos aquáticos” é composta de um capítulo, que está no formato de artigo. A sequência dos conteúdos, bem como as normas de formatação do artigo está de acordo com as normas da revista “Hydrobiologia”, a qual o manuscrito será submetido (Anexo I). Normas disponíveis em:

<[http://www.springer.com/life+sciences/ecology/journal/10750?detailsPage=pltdi\\_911058](http://www.springer.com/life+sciences/ecology/journal/10750?detailsPage=pltdi_911058)>

# **RESPOSTA DE EPHEMEROPTERA, PLECOPTERA E TRICHOPTERA A PERTURBAÇÕES ANTRÓPICAS EM IGARAPÉS AFOGADOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Ana Paula Justino de Faria, Raphael Ligeiro, Leandro Juen

A. P. J. Faria (Autor para correspondência)

Programa de Pós Graduação em Ecologia Aquática e Pesca, Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Biológicas (ICB/UFPA), Rua Augusto Correia, Nº 1 Bairro Guamá, Cep: 66.075-110, Belém, Pará, Brasil.

E-mail: a.paula.j@hotmail.com.

R. Ligeiro

Laboratório de Ecologia e Conservação, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará - UFPA. Rua Augusto Correia, Nº 1 Bairro Guamá, Cep: 66.075-110, Belém, Pará, Brasil.

L. Juen

Laboratório de Ecologia e Conservação, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará - UFPA. Rua Augusto Correia, Nº 1 Bairro Guamá, Cep: 66.075-110, Belém, Pará, Brasil.

## **Resumo**

A Amazônia brasileira comporta uma rede dentrítica que vem sofrendo pressão pelas ações antrópicas, principalmente por práticas de uso da terra, como agricultura e exploração madeireira. O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito das atividades humanas da região da baía de Caxiuanã nos ecossistemas aquáticos, utilizando as assembleias de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera. Nossa hipótese é de que a riqueza e abundância de EPT decrescem em locais que apresentam influência de atividades de agricultura familiar, havendo também uma diferenciação na composição de gêneros comparado com ambientes mais íntegros. A diversidade e composição de EPT foi estudada em 34 igarapés afogados da Baía de Caxiuanã, dos quais 17 são íntegros e 17 alterados. As condições ecológicas dos igarapés apresentaram uma estreita relação com a influência antropogênica do entorno. A abundância e riqueza de EPT não foi influenciada pela agricultura familiar. A composição de gêneros foi sensível para

detectar o efeito da agricultura familiar, devido a modificação na morfologia dos igarapés por processos de escavação. A integridade estrutural dos igarapés, um fator importante na estruturação das assembleias de EPT, foi afetada pelas atividades agrícolas de subsistência e por modificação na morfologia dos igarapés por processos de escavação.

**Palavras-chave:** Agricultura familiar; Integridade ambiental; Macroinvertebrados bentônicos.

## **Introdução**

A preocupação incessante no incremento produtivo como um sistema linearizado, sem a devida atenção com as alterações que a exploração excessiva poderia ocasionar nos recursos ambientais, levou a modificações significativas na fauna e flora brasileira (Zanoni et al., 2011). Por outro lado, a agricultura familiar entra como uma prática, pensado até então, como sendo de menor impacto aos ecossistemas. A prática de agricultura familiar na Amazônia consiste no sistema de agricultura migratória ou itinerante, alternando períodos de cultivo (principalmente de mandioca) e de pousio, momento em que a vegetação secundária se desenvolve para depois de algum tempo ser transformada em fertilizante para o próximo período de cultivo. A técnica usada é derruba-e-queima, que provoca perdas de nutrientes no solo, emissões nocivas de gases à atmosfera, e riscos de incêndio (Moran, 1990, Hölscher et al., 1997; Nepstad et al., 1999), além de possíveis alterações nos ecossistemas aquáticos.

Atividades antropogênicas, principalmente alterações em larga escala no uso da terra, tais como agricultura e atividade madeireira, podem provocar alterações na paisagem natural reduzindo a produtividade do ecossistema, e a diversidade de habitats disponíveis (Arias, 2007), principalmente quando essas práticas podem se expandir e reduzir a vegetação ciliar. A vegetação ripária estabiliza as margens dos corpos d'água, filtra a entrada de poluentes nos rios, evita o carreamento de sedimentos para os ecossistemas, intercepta e absorve radiação solar proporcionando recursos para a dinâmica de fluxo energético nesses ambientes (Aguar et al., 2002).

Por outro lado, as atividades de subsistência em pequena escala também podem afetar os sistemas hídricos e sua biota pela maior entrada de nutrientes e outros poluentes (Nessimian et al., 2008) advindas da prática rudimentar, quanto pela modificação na estrutura física do canal de drenagem. A estrutura física de ambientes lóticos é importante para a distribuição dos organismos, pois a persistência e ocorrência de uma espécie em um ambiente pode ocorrer em função da integridade do ambiente e dos atributos das espécies para

permanecer no local. Sendo que o aumento da heterogeneidade do ambiente pode favorecer o aumento de espécies residentes, pois espera-se uma maior disponibilidade de habitats que fornecem refúgios as perturbações naturais e antrópicas (Southwood, 1977; Poff & Ward, 1990).

As assembleias de macroinvertebrados aquáticos são apropriadas em indicar a qualidade ambiental dos sistemas hídricos (Reice & Wohlenberg, 1993), visto que o estabelecimento dessas espécies depende da integridade ecológica dos locais (Hering et al., 2004), incluindo as condições dos tipos de substrato (Shimano et al., 2012), dos padrões de correnteza (Maltchik & Florín, 2002), do regime de luz e das concentrações de nutrientes dos rios (Minshall, 1984). Em função disso, os macroinvertebrados e, em especial, os insetos aquáticos, têm ganhado importância nos trabalhos de avaliação de impactos ambientais.

Entre os insetos aquáticos, os indivíduos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera, também conhecidos como EPT, compreendem muitos táxons sensíveis a perturbações ambientais (Rosemberg & Resh, 1993). Esses indivíduos ocorrem em uma grande variedade de habitats lânticos e lóticos (Elouard et al., 2003), habitam locais de águas bem oxigenadas (Froehlich, 2009), apresentam alta biomassa nos ecossistemas aquáticos (Froehlich, 2012), ocupam uma gama de meso-habitats disponíveis (Domínguez et al., 2009) e respondem eficientemente ao processo conversão das áreas naturais (Landa & Soldán, 1995). Eles também são importantes na dinâmica de nutrientes, uma vez que auxiliam na quebra de matéria orgânica presente no riacho, disponibilizando alimento para organismos de menor porte (Paprocki, 2012).

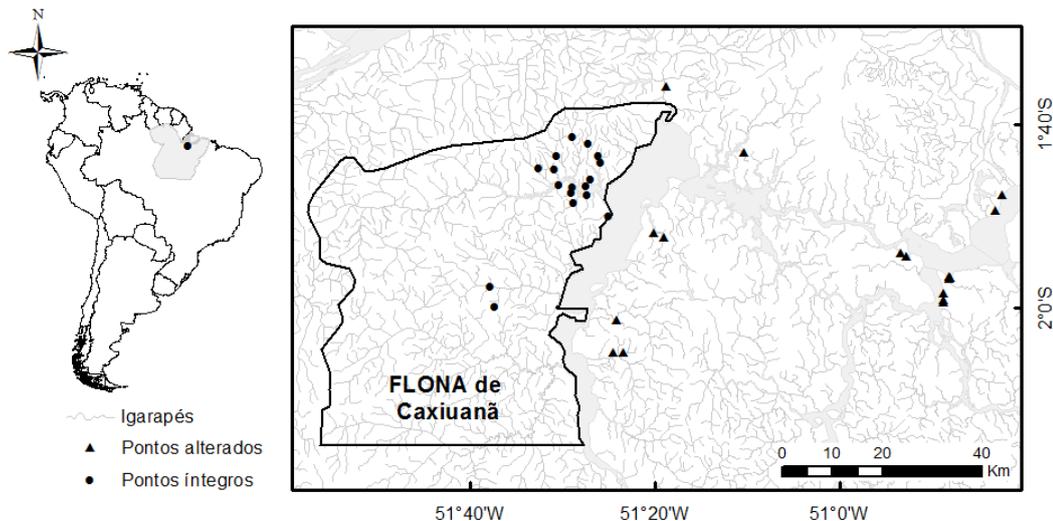
A região da baía de Caxiuanã apresenta características peculiares que a torna diferente do contexto do bioma Amazônico. Atividades neotectônicas, associadas à transgressão do oceano Atlântico, alteraram a geomorfologia e a hidrodinâmica do rio Anapu e de seus tributários, o que causou o bloqueio da drenagem dos rios (Behling & Costa, 2000; Costa et al., 2002). Esse fenômeno resultou no surgimento da baía de Caxiuanã, derivada do alagamento permanente da planície de inundação do paleo-Anapu. Esse processo acarretou a perda de velocidade de correnteza da água dos rios e igarapés (pequenos riachos) da região, intensificando a deposição de sedimentos finos (Melo et al., 2013), e conseqüentemente transformando esses ecossistemas em “lagos de ria”, de características lacustres. Os tributários dessa baía passaram então a ser conhecidos como “igarapés afogados” e possuem planícies de inundação que podem exceder dez metros de largura (Montag et al., 2009), porém apresentando pouca profundidade.

Na região da baía de Caxiuanã, principalmente no município de Portel, o cultivo da mandioca e açaí é desenvolvido por agricultores familiares que residem às margens dos rios e igarapés. O sistema de uso da terra praticado pelos ribeirinhos é a derruba e queima, sem o incremento de mecanização (Santos & Santana, 2012). Ainda não existe um cuidado na aplicação de técnicas de derrubadas ou queimas, então não se sabe quais os efeitos que essa prática pode acarretar nos habitats físicos e nas assembleias biológicas dos ecossistemas aquáticos. Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito das atividades humanas realizadas na região da baía de Caxiuanã, relacionados à agricultura familiar e à retirada de madeira por ribeirinhos, sobre os ecossistemas aquáticos, utilizando as assembleias de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera como bioindicadoras ambientais. Nossa hipótese é de que a riqueza e abundância de EPT decrescem em locais que apresentam as atividades antrópicas mensuradas, havendo também uma diferenciação na composição de gêneros quando comparado com ambientes mais íntegros.

## **Material e Métodos**

### Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Portel e Melgaço, nordeste do estado do Pará, Brasil, entre as coordenadas 01°42'30" de latitude Sul e 51°31'45" de longitude Oeste, altitude média de 62m (Figura 1). A região é uma planície que inclui a Baía de Caxiuanã, constituída por parte do antigo rio Anapu, que drena a região sul do Estado do Pará (Behling & Costa, 2000). A cobertura vegetal da área é composta de floresta densa de terra firme e florestas de inundação (várzea e igapó). As florestas de inundação são caracterizadas por estarem expostas a alagamentos diários em função das oscilações diárias de marés e das flutuações sazonais do nível do rio (Ferreira et al., 1997). As águas da baía de Caxiuanã e os seus tributários caracterizam-se pela baixa quantidade de material em suspensão, com exceção de matéria orgânica algal e espícula de cauxi (espoja de água doce), sendo classificada como água preta (Costa et al., 2002).



**Figura 1.** Localização geográfica dos 34 igarapés amostrados na Floresta Nacional de Caxiuanã (FLONA) e município de Portel e Melgaço, Pará, Brasil. Um ponto pode representar mais que um local no mapa.

A região está situada na bacia hidrográfica do rio Amazonas, onde a flutuação no nível do rio é influenciada pelo regime de marés, não sendo observadas modificações hidrogeoquímicas (Hilda et al., 1997). Sendo assim, a dinâmica hidrológica de Caxiuanã é determinada pelo período de chuva e pelo regime de marés, não havendo variação significativa no nível da água entre os períodos secos e chuvosos (Melo et al., 2013). O clima da região é do subtipo “Am” segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical quente e úmido, com temperatura média anual de 26,7°C (Ferreira Da Costa et al., 2003), umidade relativa anual de 80% e precipitação pluviométrica média de 3,000 mm/ano (SEPOF-PARÁ, 2011).

#### Amostragem biológica

As coletas foram realizadas no período de estiagem, em Outubro e Novembro de 2012 e Outubro de 2013. Foram amostrados 34 igarapés, dos quais 17 foram considerados como ambientes íntegros, localizados na Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã e 17 considerados alterados, pois são influenciados por atividades de agricultura familiar.

Em cada igarapé amostrado foi demarcado um trecho longitudinal de 150m, subdividido em 10 secções longitudinais de 15m, que foram posteriormente subdivididas em três segmentos de cinco metros cada. Foram amostrados somente os dois primeiros segmentos de cada secção, totalizando 20 amostras por igarapé (Figura 2). Para a coleta dos indivíduos

EPT foram extraídas duas porções de substrato (compondo uma única amostra) em cada um dos segmentos, utilizando um amostrador rapiché de 18 cm de diâmetro e malha de 250  $\mu\text{m}$  (Shimano et al., 2010; Cabette et al., 2010). Em campo o material foi triado e os indivíduos fixados em álcool 85%.

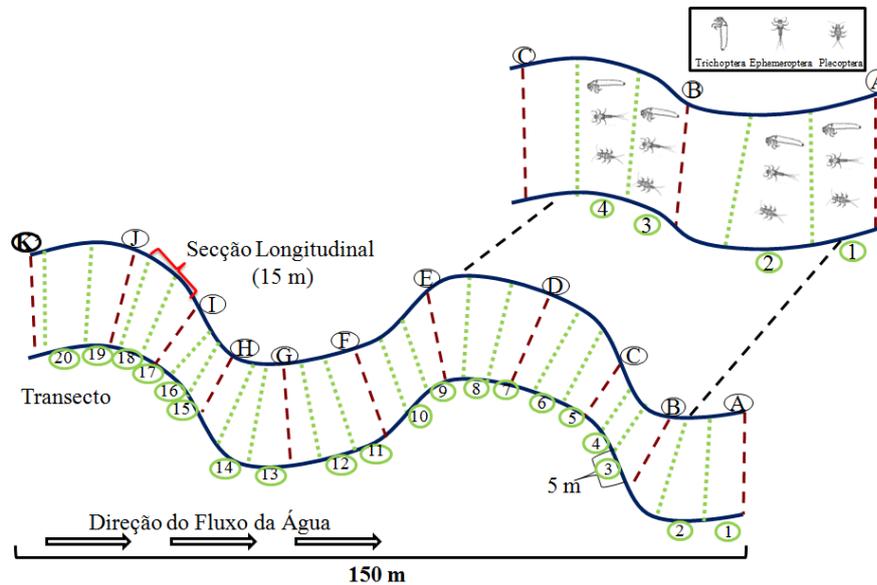


Figura 2. Desenho representativo do trecho de 150 metros, subdivididos em 10 seções longitudinais de 15 metros, nomeados de “A” a “K”, onde a transecção A sempre a jusante e K sempre a montante (Shimano et al., 2010; Cabette et al., 2010).

Os exemplares foram identificados usando chaves dicotômicas de Pes et al. (2005), Dominguez (2006); Salles (2006); Olifiers (2004), Hamada & Couceiro (2003) e Salles & Dominguez (2012). Os dados de gêneros e gêneros/morfótipos/espécies apresentaram alta congruência em uma análise Procrustes ( $m^2=0,342$ ,  $r= 0,811$ ). Assim, considerando que a identificação de morfótipos não é possível para muitos gêneros de EPT, foi utilizado somente os dados de gêneros. A identificação a gênero tem se mostrado adequada em muitos estudos ecológicos, apresentando grande congruência com os conjuntos de dados de espécies, o que permite uma detecção refinada dos impactos antropogênicos (Lenat & Resh, 2001; Schmidt-Kloiber & Nijboer, 2004; Waite et al., 2004).

#### Avaliação do habitat físico

Para avaliar os habitats físicos dos igarapés amostrados foi aplicado em campo o protocolo adaptado da Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (US-EMAP *West Weadeable Stream*, Peck et al., 2006), resultando em informações sobre morfologia do canal,

tipo de substrato, diversidade de abrigos disponíveis para a biota, quantidade de madeira no canal, vegetação ripária e influência humana. Essas variáveis foram obtidas a partir de medidas feitas ao longo das seções longitudinais em cada riacho. O cálculo das métricas foi realizada seguindo as orientações de Kaufmann et al. (1999), o que resultou em 226 métricas de avaliação do hábitat físico.

A seleção de métricas a serem utilizadas para estabelecer relações entre os habitats físicos e as assembleias de EPT foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Barbour et al. (1996) e Oliveira et al. (2008). Primeiramente foi verificada a amplitude de variação das métricas, sendo desconsideradas aquelas com amplitude inferior a 0,01. Posteriormente, foi realizada uma análise explanatória por meio de gráficos *Box-and-whiskers plots* para verificar as métricas sem sobreposição dos quartis. As métricas que não apresentam nenhuma ou mínima sobreposição foram consideradas sensíveis na discriminação entre área íntegra e alterada. Por fim, foram excluídas as variáveis que foram colineares entre si (Correlação de Spearman  $> 0,7$ ), mantendo aquelas com maior relevância para o grupo estudado. As métricas resultantes foram profundidade do talvegue, declividade do trecho, altura de incisão, madeira, número de madeira total acima (classe de tamanho 1) e proporção de impacto humano agrícola por trecho.

#### Análise dos dados

Cada igarapé foi considerado como uma unidade amostral nas análises apresentadas a seguir. As variáveis ambientais selecionadas foram utilizadas para examinar a variação ambiental entre as áreas íntegras e as áreas alteradas através de uma Análise de Componentes Principais (PCA) (Jackson, 1991). Como critério de seleção de eixo foi usado Broken-stick (Jackson, 1993). A matriz de distância euclidiana foi calculada entre os igarapés amostrados a partir das variáveis ambientais padronizadas.

Para verificar se existe diferença na riqueza e abundância entre as áreas íntegra e alterada foi feito teste *t*-Student ( $p < 0,05$ ). Quando os pressupostos da normalidade e homocedasticidade do teste não foram cumpridos foi realizado um Teste *t* para variância separada ( $p < 0,05$ ) (Zar, 2010).

Para analisar a variação da composição de gêneros entre ambiente íntegro e alterado foi feito a Análise de Coordenadas Principais (PCoA), sendo o conjunto de dados transformado com  $\log(x+1)$  antes da análise. A PCoA coloca as unidades amostradas em

eixos de ordenação com base no índice de dissimilaridade de Bray-Curtis em dados de composição (Legendre & Legendre, 1998). Com o objetivo de testar a significância das diferenças de composição entre os grupos de igarapés comparados foi usado a Análise Permutacional Multivariada da Variância (PERMANOVA) (Anderson, 2001), também tendo como base a medida de similaridade de Bray-Curtis, usando 9999 permutações, com o pressuposto de homogeneidade de dispersão previamente testado pela PERMDISP (Anderson, et al., 2006).

Para avaliar as relações entre a abundância e riqueza de gêneros de EPT com as variáveis ambientais foram realizadas análises de regressões múltiplas, utilizando a seleção de modelo *forward stepwise* (Sokal & Rolf, 1994). Esse método seleciona as variáveis independentes no modelo de regressão de acordo com a quantidade de variação explicada na variável dependente; a primeira variável independente introduzida no modelo explica a maior parte da variação, a segunda a maior parte da variação restante, e assim por diante. O acréscimo de variável no modelo termina quando a próxima variável a constar no modelo não tem uma correlação parcial significativa ( $p > 0,05$ ).

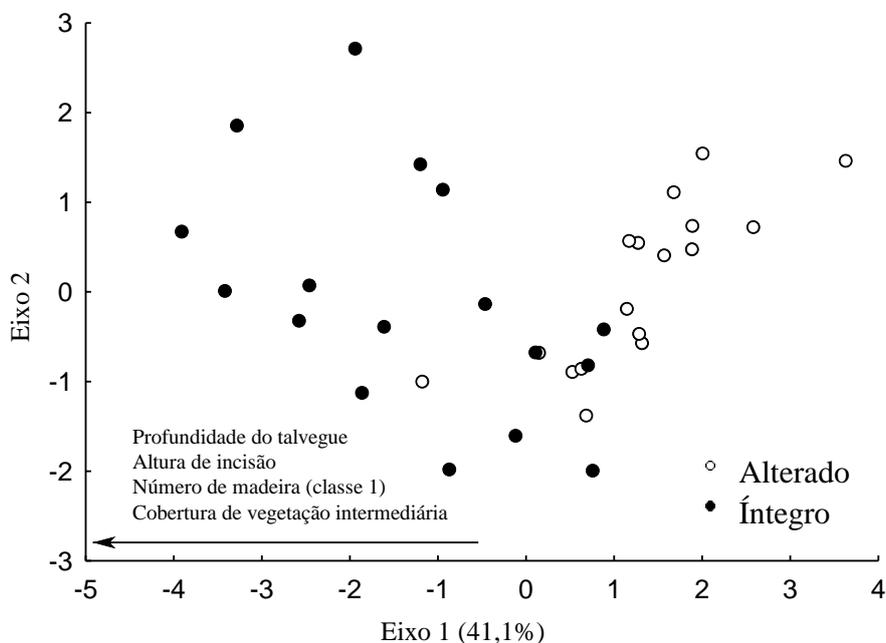
Para avaliar a parte da variação da composição de gêneros de EPT que pode ser explicada por meio de variáveis da estrutura física do ambiente, foi realizada uma análise de correspondência canônica (CCA). O resultado da CCA apresenta um diagrama de ordenação no qual os gêneros e os sítios são representados por pontos, e as variáveis ambientais, por vetores ou flechas que indicam a direção das mudanças destas variáveis no espaço de ordenação (Ter Braak, 1995). Este diagrama possibilita a visualização não apenas as relações de semelhança entre as assembleias, mas também das principais características responsáveis pelas distribuições dos gêneros ao longo das características ambientais (Ter Braak, 1986). A CCA foi realizada apenas utilizando os gêneros de EPT com abundância maior que 10 indivíduos, para evitar uma interpretação errônea dos resultados.

Todas as análises foram realizadas na rotina do software R (R Development Core Team 2013), usando pacotes exigidos para cada análise especificamente.

## **Resultados**

A análise de componentes principais explicou 41,1% da variação ambiental em seu primeiro eixo. De acordo com o critério de seleção de eixos de Broken-stick, apenas este eixo foi significativo. Ao analisar a ordenação é possível distinguir um agrupamento ambiental da área íntegra e alterada (Figura 3). As variáveis que mais contribuíram para a formação do

agrupamento foram profundidade do talvegue, cobertura de vegetação intermediária, altura de incisão e número de madeira total acima do canal, as quais apresentaram uma relação negativa com o ambiente íntegro (Tabela 1).



**Figura 3.** Análise de Componentes Principais (PCA) para a ordenação das variáveis ambientais em igarapés afogados na Amazônia, Portel e Melgaço, Pará-PA, Brasil. A seta indica a relação das variáveis com o eixo.

**Tabela 1.** Contribuição das variáveis ambientais no primeiro eixo da PCA, para igarapés afogados na Amazônia, Portel e Melgaço, Pará – PA, Brasil. Variáveis que mais contribuíram (positivamente ou negativamente) estão em negrito, considerando uma relação superior a 0,7. Número de madeira total acima – Classe de tamanho 1 apresenta comprimento entre 1,5m a >15m e diâmetro de 0,1m a >0,8m. Cobertura de vegetação intermediária engloba a vegetação de sub-bosque lenhosa e não lenhosa. O símbolo ‘m’ corresponde à escala em metros e ‘cm’ a centímetro.

Variáveis ambientais	Loadings	
	Eixo 1	Eixo 2
<b>Profundidade do talvegue (cm)</b>	<b>-0,701</b>	-0,41
Madeira (%)	-0,416	-0,796
Declividade do trecho %	-0,597	0,093
Vegetação de sub-bosque de ervas (0,5 a 5m)	-0,428	0,392
<b>Cobertura de vegetação intermediária (0,5 a 5m)</b>	<b>-0,748</b>	0,084
<b>Altura de incisão (m)</b>	<b>-0,767</b>	0,367

<b>Número de madeira total acima - Classe de tamanho 1</b>	<b>-0,772</b>	0,237
Proporção total de impacto humano agrícola por trecho	0,586	0,225
Autovalores	3,291	1,213
<i>Broken-stick</i>	2,718	1,718
% explicação	41,143	15,166

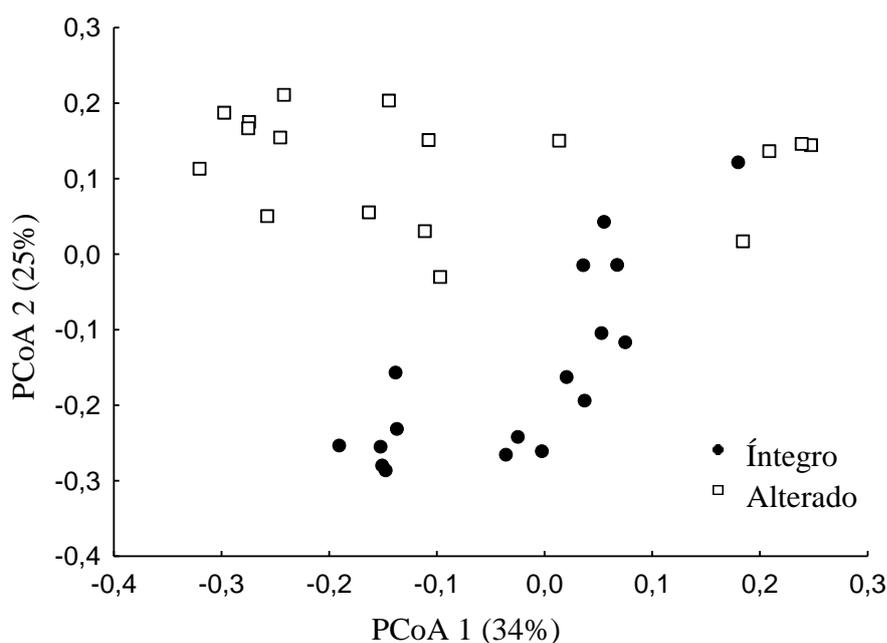
Nos 34 igarapés amostrados foram coligidos 2,261 exemplares das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT), distribuídos em 13 famílias e 27 gêneros (Tabela 2). A ordem Ephemeroptera contribuiu com 81,9% dos indivíduos amostrados. As famílias mais abundantes foram Leptophlebiidae (n=1,458), Hydropsychidae (n=276), Caenidae (n=122) e Polymitaarcyidae (n=107). Os gêneros mais representativos foram *Miroculis* (n=825), *Ulmeritoides* (n=511), *Macronema* (n=275), *Brasilocaenis* (n=121) e *Simothraulopsis* (n=116). Por outro lado, a ordem Plecoptera foi representada por apenas um indivíduo do gênero *Macrogynoplax*.

**Tabela 2.** Gêneros de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) coletados em 34 igarapés afogados na Amazônia, amostrados durante o período de estiagem nos anos de 2012 e 2013, no município de Portel e Melgaço, Pará-PA, Brasil.

<b>Táxon</b>	<b>Abundância</b>
<b>Ephemeroptera</b>	
<b>Baetidae</b>	
<i>Aturbina</i> Lugo-Ortiz & McCafferty, 1996	26
<i>Callibaetis</i> Eaton, 1881	6
<i>Waltzoyphius</i> McCafferty & Lugo-Ortiz, 1995	5
<i>Zelus</i> Lugo-Ortiz & McCafferty, 1998	3
<b>Caenidae</b>	
<i>Brasilocaenis</i> Puthz, 1975	121
<i>Caenis</i> Stephens, 1835	1
<b>Coryphoridae</b>	
<i>Coryphorus</i> Peters, 1981	20
<b>Euthyplociidae</b>	<b>75</b>
<i>Campylocia</i> Needham & Murphy, 1924	75
<b>Leptohiphidae</b>	
<i>Amanahyphe</i> Salles & Molineri, 2006	8
<i>Tricorythodes</i> Ulmer, 1920	21
<i>Tricorythopsis</i> Traver, 1958	1
<b>Leptophlebiidae</b>	
<i>Microphlebia</i> Savage & Peters, 1983	6
<i>Miroculis</i> Edmunds, 1963	825
<i>Simothraulopsis</i> Demoulin, 1966	116

<i>Ulmeritoides</i> Traver, 1959	511
<b>Polymitarcyidae</b>	
<i>Asthenopus</i> Eaton, 1871	10
<i>Campsurus</i> Eaton, 1868	97
<b>Total</b>	<b>1.852</b>
<b>Plecoptera</b>	
<b>Perlidae</b>	
<i>Macrogynoplax</i> Enderlein, 1909	1
<b>Total</b>	<b>1</b>
<b>Trichoptera</b>	
<b>Calamoceratidae</b>	
<i>Phylloicus</i> Muller, 1880	13
<b>Hydropsychidae</b>	
<i>Leptonema</i> Guérin, 1843	1
<i>Macronema</i> Pictet, 1836	275
<b>Leptoceridae</b>	
<i>Nectopsyche</i> Muller, 1879	6
<i>Oecetis</i> McLachlan, 1877	16
<i>Triplectides</i> Kolenati, 1859	61
<b>Philopotamidae</b>	
<i>Chimarra</i> Stephens, 1829	6
<b>Polycentropodidae</b>	
<i>Cernotina</i> Ross, 1938	25
<i>Cyrnellus</i> Banks, 1913	5
<b>Total</b>	<b>408</b>
<b>Total geral</b>	<b>2.261</b>

Não foi observada diferença significativa entre a riqueza de gêneros de EPT entre locais íntegros e alterados, ( $t=0,849$ ;  $gl=32$ ;  $p=0,402$ ). O mesmo padrão foi observado para a abundância ( $t=(\text{variância separada})=-1,759$ ;  $gl=20$ ;  $p=0,09$ ). No entanto, ao analisar a variação da composição de gêneros entre as condições ecológicas, observamos uma separação entre os ambientes íntegros e os ambientes alterados (PERMANOVA,  $pseudo-F_{(1,32)}=6,533$ ,  $p<0,001$ ) (Figura 4). Os dois primeiros eixos da PCoA explicaram 59% da variação, no qual o primeiro eixo explicou 34% e o segundo eixo explicou 25% (Figura 4). Os gêneros *Campsurus*, *Campylocia*, *Chimarra*, *Coryphorus*, *Leptonema*, *Macrogynoplax*, *Microphebia* e *Tricorythopsis* ocorreram somente em locais íntegros. Já os gêneros *Caenis*, *Tricorythodes*, *Ulmeritoides*, *Zelus* ocorreram somente em ambientes alterados.



**Figura 4.** Ordenação da composição de EPT, através da Análise de Coordenadas Principais (PCoA) de 34 igarapés afogados (íntegro e alterado) na Amazônia, no município de Portel e Melgaço, Pará-PA, Brasil.

A riqueza de gêneros de EPT foi significativamente explicada pelas variáveis de habitat físico. O modelo de regressão múltipla explicou 45% da variação da riqueza entre os locais ( $r^2=0,446$ ,  $F_{(5,28)}=4,513$ ,  $p=0,004$ ). Das cinco variáveis geradas no modelo, a vegetação de sub-bosque de ervas foi a que mais contribuiu, sendo relacionada negativamente com a riqueza. Para a abundância de EPT, o modelo gerado mostrou um conjunto de seis variáveis importantes, uma vez que apresentou 42% de explicação ( $r^2=0,420$ ,  $F_{(6,27)}=3,259$ ,  $p=0,015$ ), no qual a vegetação de sub-bosque de erva e a madeira são as variáveis que tiveram maior peso no modelo, ambas relacionadas negativamente com a abundância (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resultado da Análise de Regressão Múltipla com critério de *Stepwise* entre as variáveis ambientais e a riqueza e abundância de gêneros de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) amostrados em igarapés afogados amostrados na Amazônia, Portel, Pará - Brasil. O número de madeira total acima – Classe de tamanho 1 apresenta comprimento entre 1,5m a >15m e diâmetro de 0,1m a >0,8m. A Cobertura de vegetação intermediária engloba a vegetação de sub-bosque lenhosa e não lenhosa. O símbolo ‘m’ corresponde à escala em metros e ‘cm’ a centímetro.

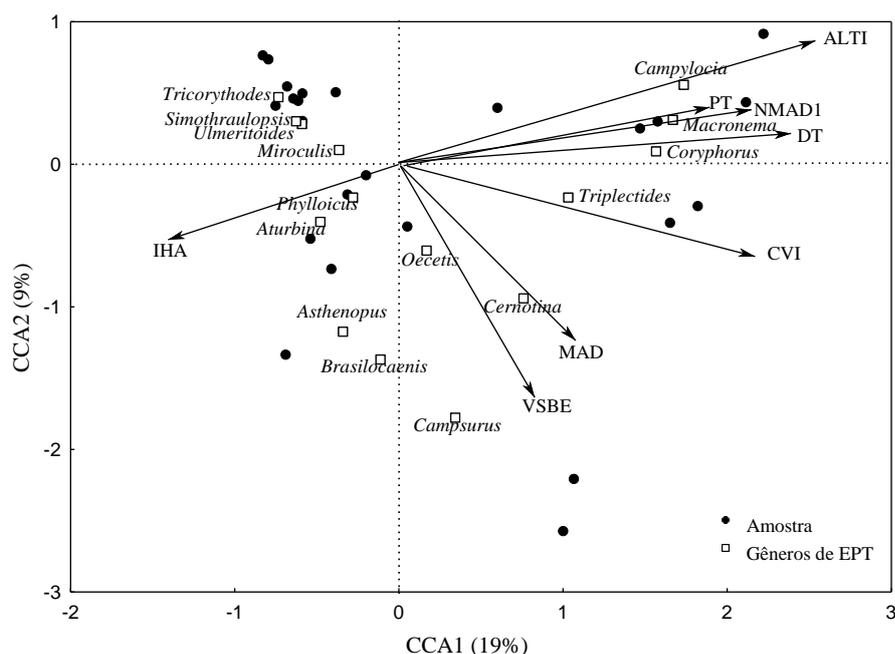
---

**Riqueza de gênero de EPT**

---

Variáveis	Beta	Erro padrão	B	P
Altura de incisão (m)	0,236	0,168	0,050	0,171
<b>Vegetação de sub-bosque de erva (0,5 a 5m)</b>	<b>-0,362</b>	<b>0,140</b>	<b>-0,275</b>	<b>0,015</b>
Número de madeira total acima - Classe de Tamanho 1	0,304	0,175	0,242	0,094
Madeira (%)	-0,262	0,142	-0,714	0,075
Proporção total de impacto humano agrícola por trecho	-0,212	0,151	-0,024	0,173
<b>Abundância de gênero de EPT</b>				
<b>Vegetação de sub-bosque de ervas (0,5 a 5m)</b>	<b>-0,361</b>	<b>0,156</b>	<b>-7,982</b>	<b>0,029</b>
<b>Madeira (%)</b>	<b>-0,346</b>	<b>0,155</b>	<b>27,419</b>	<b>0,034</b>
Número de madeira total acima - Classe de tamanho 1	0,303	0,166	6,996	0,078
Profundidade do talvegue (cm)	0,322	0,174	1,863	0,075
Declividade do trecho %	-0,217	0,154	-6,947	0,170
Cobertura de vegetação intermediária (0,5 a 5m)	-0,227	0,180	-1,115	0,217

A ordenação CCA que foi significativa ( $p=0,023$ ), mostrando que houve relação entre as variáveis de habitats físicos e as composições das assembleias de EPT. Porém, os dois primeiros eixos da CCA representaram somente 28% do total da variabilidade da abundância de Ephemeroptera e Trichoptera (Eixo 1=19%, Eixo 2= 9%) (Tabela 4). A abundância dos gêneros *Capylocia*, *Macronema* e *Coryphorus* foi associada com a declividade do trecho (DT), número de madeira (NMAD1), profundidade do talvegue (PT) e altura de incisão (ALTI) (Figura 5). Já *Triplectides*, *Cernotina*, *Campsurus* e *Oecetis*, foram relacionados com cobertura de vegetação intermediária (CVI), madeira (MAD) e vegetação de sub-bosque de ervas (VSBE). Por outro lado, *Phylloicus*, *Aturbina*, *Asthenopus* e *Brasilocaenis* estão relacionados com impacto humano agrícola (IHA).



**Figura 5.** Análise de Correspondência Canônica (CCA) entre os gêneros de Ephemeroptera e Trichoptera e as variáveis ambientais em igarapés afogados na Amazônia, no município de Portel e Melgaço, Pará-PA, Brasil. O comprimento e a direção da seta indicam a força da correlação da variável ambiental com os eixos de ordenação (PT: Profundidade do talvegue; MAD: Madeira; DT: Declividade do trecho; VSBE: Vegetação de sub-bosque de ervas; CVI: Cobertura intermediária; ALTI: Altura de incisão; NMAD1: Número de madeira total acima – classe de tamanho 1; IHA: Proporção de impacto humano agrícola).

Tabela 4. Coeficiente canônico e correlação nos dois primeiros eixos das variáveis ambientais utilizadas na Análise de Correspondência Canônica (CCA). O número de madeira total acima – Classe de tamanho 1 apresenta comprimento entre 1,5m a >15m e diâmetro de 0,1m a >0,8m. A cobertura de vegetação intermediária engloba a vegetação de sub-bosque lenhosa e não lenhosa. O símbolo ‘m’ corresponde a escala em metros e ‘cm’ a centímetro.

	Eixo 1	Eixo 2	P
Autovalor	0.680	0.318	<b>0.023</b>
% variância explicada	0.194	0.091	
% variância acumulada	0.195	0.285	
Profundidade do talvegue (cm) (PT)	0.554	0.109	
Madeira (%) (MAD)	0.374	-0.413	
Declividade do trecho % (DT)	0.804	0.105	
Vegetação de sub-bosque de ervas (0,5m a 5m) (VSBE)	0.358	-0.552	
Cobertura de vegetação intermediária (0,5m a 5m) (CVI)	0.881	-0.234	
Altura de incisão (m) (ALTI)	0.951	0.322	

Número de madeira total acima - Classe de tamanho 1 (NMTA1)	0.607	0.088
Proporção total de impacto humano agrícola por trecho (IHA)	-0.383	-0.128

## Discussão

### *Interação das assembleias de EPT com os habitats físicos aquáticos*

As assembleias de insetos aquáticos são relacionadas com a integridade ambiental do ecossistema aquático e com a disponibilidade de recursos para a biota (Kikuchi & Uieda, 2005). Como por exemplo, o gênero *Phylloicus* (Trichoptera), que é mais abundante em acúmulos de folhiço e em locais de fluxo lento (Pes, 2005), onde constroem seus abrigos com fragmentos de folhas (Pather, 2003). Já *Asthenopus* (Ephemeroptera) habitam troncos, raízes e pedaços de madeira depositados nos leitos dos rios (Froehlich & Oliveira, 1997; Da-Silva & Salles, 2012). *Campylocia* (Ephemeroptera) vivem em ambientes lóticos, com preferência por áreas de remanso e por sedimentos pedregosos, mas também já foram encontrados indivíduos desse gênero em folhiços (Da-Silva & Salles, 2012).

A relação de *Triplectides* (Trichoptera) com a cobertura da vegetação ripária é fortemente influenciada pelo hábito desses organismos de utilizarem gravetos de madeira como abrigo (Nessimian, 1998). *Cernotina* e *Oecetis* (ambos Trichoptera) por serem predadores são beneficiados indiretamente com a disponibilidade de alimento depositado no sedimento. Além disso, *Cernotina* geralmente são encontrados em locais com fluxo mais lento (Flint, 1983), que são características de nossa área de estudo. Já *Campsurus* é amplamente distribuído na América do Sul (Domínguez et al., 2002) vivendo tanto em lagos como em riachos (Domínguez et al., 2001). Dessa forma, modificações ou diminuição na cobertura vegetal restringe a abundância e permanência desses indivíduos no habitat.

O gênero *Macronema* (Trichoptera) em geral não tem preferência por tipos de substratos específicos, não apresentando seletividade ambiental (Fidelis et al., 2008), o que favorece a sua ocorrência em locais alterados (Pereira et al., 2012) e íntegros. A família Baetidae é encontrada tanto em locais preservados quanto alterados (Souza et al., 2011), ocupando ambientes lênticos e lóticos, sendo abundantes em todos os meso habitats (Salles, 2006, Da-Silva & Salles, 2012). Resultado similar foi encontrado em nosso trabalho, em que o gênero *Aturbina* foi associado com o impacto agrícola. Por mais que se têm avançado os estudos com comunidades bentônicas, informações para alguns grupos ainda são incipientes, como para a família Caenidae (Salles, 2006). Com base em nossos resultados, possivelmente

os gêneros dessa família são mais tolerantes à alteração antrópica, uma vez que *Brasilocaenis* foi relacionado com impacto agrícola.

#### *Resposta das assembleias de EPT às alterações ambientais*

Ao contrário do que previmos, a abundância e riqueza de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) não foram influenciadas pelas atividades de agricultura familiar. No entanto, a composição de gêneros mostrou ser sensível para detectar alterações antrópicas, sendo eficaz para avaliar alterações ambientais. Dessa forma, sugere-se que avaliação da alteração no uso da terra são melhores avaliadas com base nas composições das assembleias, em vez de riqueza taxonômica (Barlow et al., 2007, Monteiro-Júnior et al., 2013) e a composição de espécie pode mudar em condições de deterioração da qualidade da água em função de impactos ambientais (Johnson et al., 1993).

As respostas as perturbações, dependem do tipo de uso da terra do entorno e do impacto que essa alteração pode gerar no ecossistema aquático. Para a ordem Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera a mudança na composição provavelmente está relacionada à desestruturação física (Shimano et al., 2010, Nogueira et al., 2011), em função de modificação na estrutura do riacho (fluxo, escavação e erosão), redução na integridade do ambiente (Brasil et al., 2014) e alteração na geomorfologia dos ambientes aquáticos, principalmente pelo aumento do assoreamento resultante de práticas de usos do solo insustentáveis, que reduz ou remove a vegetação ciliar (Selvakumar et al., 2014).

Os mecanismos de produção disponíveis ao agricultor familiar são, na maioria das vezes, somente os recursos naturais (solo, vegetação e água), que são explorados em diferentes culturas, pois não é comum a prática do monocultivo (Noda, 2010). As combinações no uso dos recursos com diversidade de produção geram alterações significativas no ambiente, sendo distinguido modificações na qualidade e na estrutura vegetal, com presença de vegetação secundária (rasteiras e lenhosas). Além da agricultura, as comunidades ribeirinhas da baía de Caxiuanã retiram as madeiras de dentro do canal e escavam o leito em determinados pontos, modificando a morfologia do igarapé, que passam a ter maior profundidade, o que possibilita a navegação de pequenas embarcações, que é o único meio de deslocamento na área. O fluxo de navegações, a retirada de madeira e a escavação do canal altera e desestabiliza a composição de substrato, refletindo na composição de EPT, pois apresentam uma estreita relação com o substrato (Hynes 1970) e são sensíveis a perturbações ambientais (Righi-Cavalho et al., 2010, Suhaila & Salmah, 2014), ocorrendo

assim a perda ou diminuição de gêneros sensíveis e o aumento de táxons mais tolerantes (Azrina et al., 2006), que apresentam maior amplitude de nicho, e portanto, mesmo ocorrendo a modificação ainda consegue persistir no ambiente.

Por outro lado, nesse sistema de produção agrícola, ainda é possível distinguir a presença de vestígios de vegetação ciliar, que pode fornecer recursos e micro hábitat disponíveis, sendo possível manter a similaridade na abundância e riqueza da assembleia entre ambiente alterado e íntegro. As florestas secundárias são importantes para a conservação da biodiversidade (Mace et al., 2005; Wright, 2005), pois florestas em regeneração podem ser capazes de fornecer benefícios relevantes em termos de bens e serviços ecossistêmicos, como a disponibilidade de recurso, mesmo que em menor quantidade (Myers, 1977, Gonçalves-Júnior et al., 2006, Jacobsen et al., 2008). Dessa forma, nossos resultados podem indicar que características do entorno dos igarapés, em uma escala local, tem influência significativa nas assembleias de EPT, sendo que escavação no canal modifica a morfologia dos igarapés e biota residente.

## **Conclusão**

A integridade estrutural dos igarapés que é um fator importante na estruturação das assembleias de EPT, foi fortemente afetada pelas atividades agrícolas de subsistência e pela modificação na morfologia dos igarapés por processos de escavação. A avaliação dessas práticas rudimentares de produção possibilita a criação de possíveis medidas mitigatórias, principalmente voltada para a preservação da vegetação ciliar e na minimização das modificações estruturais dos igarapés. Nós mostramos por meio de nosso estudo que a preservação da vegetação ripária e morfologia dos igarapés são essenciais para a manutenção da integridade ecológica dos igarapés e das assembleias de insetos aquáticos que neles vivem.

## **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. A Coordenação e aos funcionários da Estação Científica Ferreira Penna. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processo no. 130468/2013-4) pela concessão de bolsa de mestrado. A Dra. Ana Maria O. Pes, Dra. Neusa Hamada, Dr. Frederico Falcão Salles, Msc. Patrick Barcellos, Msc. Lucas Lima e Mylena Cardoso pelo auxílio nas identificações.

## Referências

- Aguiar, F. C., M. T. Ferreira & P. Pinto, 2002. Relative influence of environmental variable on macroinvertebrate assemblages from an Iberian basin. *Journal of the North American Benthological Society* 21: 43-53.
- Anderson, M. J., 2001. A new method for nonparametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26:32-46
- Anderson, M. J., K. E. Ellingsen & B. H. Mcardle, 2006. Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. *Ecology Letters* 9: 683-693
- Arias, A. R. L., D. F. Buss, C. Albuquerque, A. F. Inácio, M. M. Freire, M. Egler, R. Mugnai & D. F. Baptista, 2007. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. *Ciência & Saúde Coletiva* 12: 61-72.
- Azrina, M. Z., C. K. Yap, A. R. Ismail, A. Ismael & S. G. Tan, 2006. Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat River, Peninsular Malaysia. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 64:337-347.
- Barbour, M. T., J. Gerritsen, G. E. Griffith, R. Frydenborg, E. Mccarron, J. S. White & M. L. Bastian, 1996. A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society* 185-211.
- Behling, H. & M. L. Costa, 2000. Holocene Environmental Changes from the Rio Curuá Record in the Caxiuanã Region, Eastern Amazon Basin. *Quaternary Research* 53: 369-377.
- Barlow, J., T. A. Gardner, I. S. Araujo, T. C. Ávila-Pires, A. B. Bonaldo, J. E. Costa & C. A. Peres, 2007. Quantifying the biodiversity value of tropical primary, secondary, and plantation forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 18555-18560.
- Brasil, L. S., L. Juen & H. S. R. Cabette, 2014. The effects of environmental integrity on the diversity of mayflies, Leptophlebiidae (Ephemeroptera), in tropical streams of the

Brazilian Cerrado. *Annales de Limnologie. - International Journal Limnology* 50:325–334.

- Cabette, H. S. R., N. F. S. Giehl, K. Dias-Silva, L. Juen & J. B. Batista, 2010. Distribuição de Nepomorpha e Gerromorpha (Insecta: Heteroptera) da Bacia Hidrográfica do Rio Suiá-Miçu, MT: riqueza relacionada à qualidade da água e do hábitat. Santos, Je, C. Galbiati & Le Moschini (Orgs). *Gestão e educação ambiental: água, biodiversidade e cultura*. São Carlos, RiMa 2: 113-137.
- Costa, M. L., D. C. Kern, H. Behling & M. S. Borges, 2002. Geologia In: Lisboa, P. L. B. (Org). *Caxiuanã: populações tradicionais, meio físico e diversidade biológica*. Belém, PA: Museu Paraense Emílio Goeldi 179-205.
- Da-Silva, E. R. & F. F. Salles. 2012. Ephemeroptera Hyatt & Arms, 1891. In: Rafael, J. A., G. A. R. Melo, C. J. B. Carvalho, S. A. Casari & R. Constantino. *Insetos do Brasil: Diversidade e taxonomia*. Ribeirão Preto, Holos 810.
- Diegues, A. C. S., 1992. Populações Humanas e as Áreas Inundáveis da Amazônia. In: *Encontro de Ciências Sociais e o Mar do Brasil. Coletânea de Trabalho Apresentados*. São Paulo: USP.
- Domínguez, E., M. D. Hubbard, M. L. Pescador & C. Molineri, 2001. Ephemeroptera. In: H. R. Fernandes & E. Domínguez (editores). *Guia para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Universidade Nacional de Tucumán, Faculdade de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo.
- Domínguez, E., M. C. Zúñiga & C. Molineri, 2002. Estado actual del conocimiento y distribución del orden Ephemeroptera (Insecta) en la región Amazónica. *Caldasia* 24:459-469.
- Domínguez, E., C. Molineri, M. L. Pescador, M. D. Hubbard & C. Nieto, 2006. Ephemeroptera of South America. In: Adis, J. R., G. Rueda-Delgado & K. M. Wantzen (Eds): *Aquatic Biodiversity in Latin American (ABLA)*. Pensoft, Sofia-Moscow 2: 646.

- Domínguez, E., C. Molineri & C. Nieto, 2009. Ephemeroptera. In: Domínguez, E. & H. R. Fernández. Macroinvertebrados bentônicos sudamericanos – Sistemática y biología. 1 edição. Tucumán: Fundación Miguel Lillo 55.
- Elouard, J. M., J. L. Gattolliat, & M. Sartori, 2003. Ephemeroptera- Mayflies. In: Goodman, S. M. & J. P. Benstead. The Natural History of Madagascar. Chicago: The University of Chicago Press.
- Ferreira, L. V., S. S. Almeida & C. S. Rosário, 1997. As áreas de inundação, Caxiuanã. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi 195-211.
- Ferreira Da Costa, R., A. C. L. Costa, P. Meir & Y. Malhi, 2003. Projeto LBA/ESECAFLOR em Caxiuanã: características, atividades e resultados. In: Seminário de 10 anos de atividade da Estação Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará, Belém.
- Flint, O. S. Jr., 1983. Estudos de caddisflies neotropicais, XXXIII: novas espécies de austral da América do Sul (Trichoptera). Smithsonian Contributions to Zoology 377: 1-100.
- Fidelis, L., J. L. Nessimian & N. Hamada, 2008. Spatial distribution of aquatic insects communities in small streams in Central Amazonia. Acta Amazonica 38: 127-134.
- Froehlich, C. G. & L. G. Oliveira, 1997. Ephemeroptera and Plecoptera nymphs from riffles in low-order streams in southeastern Brazil. In: Landolt, P. & Sartori, M. (orgs.). Ephemeroptera & Plecoptera: Biology-Ecology-Systematics 180-185.
- Froehlich, C. G., 2009. Plecoptera. In: Domínguez, E. & H. R. Fernández. Macroinvertebrados bentônicos sudamericanos – Sistemática y biología. 1 edição. Tucumán: Fundación Miguel Lillo 145.
- Froehlich, C. G. 2012. Plecoptera Burmeister, 1839. In: Insetos do Brasil. 1 edição. Ribeirão Preto: Holos Editora 613.
- Gonçalves-Junior, J. F., M. A. S. Graça & M. Callisto, 2006. Leaf-litter breakdown in 3 streams in temperate, Mediterranean, and tropical Cerrado climates. Journal of the North American Benthological Society 25:344-355.

- Hamada, N. & S. R. M. Couceiro, 2003. An illustrated key to nymphs of Perlidae (Insecta, Plecoptera) genera in Central Amazonia, Brazil, *Revista Brasileira de Entomologia* 47: 477-480.
- Hering, D., O. Moog, O. Sandin & P. F. Verdonschot, 2004. Overview and application of the AQEM assessment system. *Hydrobiologia* 516: 1-20.
- Hilda, N., J. M. Maia, M. Hiraoka, O. Shimi & N. Mizutani, 1997. Notes on annual and daily water levels changes at Breves and Caxiuanã, Amazon estuary. In: Lisboa, P. L. B. (Org). Caxiuanã. Belém: Museu Paraense Emilio Goeldi 97-103.
- Hölscher, D., M. R. F. Möller, M. E Denich, H. Fölster, 1997. Nutrient input-output budget of shifting agriculture in Eastern Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 47:49-57.
- Hynes, H. B. N. 1970. The ecology of stream insects. *Annual Review of Entomology* 15: 25-42
- Jackson, J. E., 1991. A user's guide to principal components. John Willey & Sons, New York, USA.
- Jackson, D. A., 1993. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. *Ecology* 74: 2204–2214.
- Jacobsen, D., C. Cressa, J. M. Mathooko & D. Dudgeon, 2008. Macroinvertebrates: composition, life histories and production. In *Tropical stream ecology*. Elsevier, San Diego 65-105.
- Johnson, R. K., T. Wiederholm & D. Rosenberg, 1993. Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations and species assemblages of benthic macroinvertebrates. In: Rosenberg, D. M. & V. H. Resh (Eds). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. New York: Chapman Hall 40-158.
- Kaufmann, P. R., P. Levine, E. G. Robison, C. Seeliger, D. V. Peck, 1999. Quantifying Physical Habitat in Wadeable Streams. EPA/620/R-99/003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

- Kikuchi, R. M. & V. S. Uieda, 2005. Composição e distribuição dos macroinvertebrados em diferentes substratos de fundo de um riacho no município de Itatinga, São Paulo, Brasil. *Entomology and Vectors* 12: 193-231.
- Landa, V. & T. Soldán, 1995. Mayflies as bioindicators of water and environmental changes on a regional and global scale. In: Corkum, L. D. & J. J. H. Ciborowski (Eds). *Current Directions in Research on Ephemeroptera*. Canadian Scholar's Press Inc., Toronto.
- Legendre, P. & L. Legendre, 1998. *Numerical Ecology*. 2 ed. Elsevier, Amsterdam.
- Lenat, D. R. & V. H. Resh, 2001. Taxonomy and stream ecology – the benefits of genus and species-level identification. *Journal of North American Benthological Society* 20: 287–298.
- Mace G., H. Masundire & J. Baillie, 2005. *Ecosystems and Human Well Being, Current State and Trends: Millenium Ecosystem Assessment*. Hassan R., R. Scholes & N. Ash (Eds), Island Press, New York 1.
- Maltchik, L. & M. Florín, 2002. Perspectives of hydrological disturbance as the driving force of Brazilian semiarid stream ecosystems. *Acta Limnologica Brasiliensia* 14: 35-41.
- Melo, D. M. B, A. V. Krusche, M. M. Ribeiro, A. C. Migivama, M. E. C. Sales, J. F. Berredo & C. R. L. Matos, 2013. A biogeoquímica das águas de Caxiuanã. In: *Caxiuanã: paraíso ainda preservado*. Organizador: Lisboa, P. L. B. Belém, Museu Paraense Emilio Goeldi.
- Minshall, G. W., 1984. Aquatic insect-substratum relationships. In: Resh, V. H. & Rosenberg, D. M. *The ecology of aquatic insects*. New York: Praeger Publishers: 358-400.
- Moran, E. F., 1990. *A ecologia humana das populações da Amazônia*. Petrópolis: Vozes 368.
- 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, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém-PA 605-627.

- Monteiro-Júnior, C. S., S. R. M. Couceiro, N. Hamada & L. Juen, 2013. Effect of vegetation removal for road building on richness and composition of Odonata communities in Amazonia, Brazil. *International Journal of Odonatology*.
- Myers, J. P., 1997. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems, ed Daily, G. C. (Ed), Island Press, Washington, DC 215–237.
- Nessimian, J. L., L. F. M. Dorvillé, A. M. Sanseverino, D. F. Baptista, 1998. Relation between flood pulse and functional composition of the macroinvertebrate benthic fauna in the lower Rio Negro, Amazonas, Brazil. *Amazoniana* 15: 35-50.
- Nessimian, J. L., E. M. Venticinque, J. Zuanon, P. Marco-Jr, M. Gordo, L. Fidelis, J. D. Batista & L. Juen, 2008. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia* 614: 117-131.
- Nepstad, D. C., A. G. Moreira & A. A. Alencar, 1999. Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to amazonian fire. *The Pilot Program to Conserve the Brazilian Rain Forest*, Brasília.
- Noda, H., 2010. Agricultura familiar na Amazônia, segurança alimentar e agroecologia. Disponível em: <http://www2.emater.pa.gov.br/EmaterPortal/>. Acessado dia: 20 de dezembro de 2014.
- Nogueira, D. S., H. S. R. Cabette & L. Juen, 2011. Estrutura e composição da comunidade de Trichoptera (Insecta) de rios e áreas alagadas da bacia do rio Suiá-Miçú, Mato Grosso, Brasil. *Ilheringia, Série Zoológica* 101: 173-180.
- Olifiers, M. H., L. F. M. Dorvillé, J. L. Nessimian & N. Hamada, 2004. A Key to Brazilian Genera of Plecoptera (Insecta) based on Nymphs. *Zootaxa* 651: 1–15.
- Oliveira, R. B. S., C. M. Castro & D. F. Baptista, 2008. Desenvolvimento de índices multimétricos para utilização em programas de monitoramento biológico da integridade de ecossistemas aquáticos. *Oecologia Brasiliensis* 12: 487-505.
- Paprocki, H., 2012. Trichoptera Kirby, 1813. In: Rafael, J. A. *Insetos do Brasil*. 1 edição. Ribeirão Preto: Holos Editora 613.

- Pather A. L., 2003. Revision of the neotropical caddisfly *Phylloicus* (Trichoptera: Calamoceatidae). *Zootaxa* 275: 1-214.
- Pereira, L. R., H. S. R. Cabette & L. Juen, 2012. Trichoptera as bioindicators of habitat integrity in the Pindaré river basin, Mato Grosso (Central Brazil). *Annales de Limnologie. - International Journal Limnology* 48: 295–302.
- Pes, A. M. O., N. Hamada & J. L. Nessimian, 2005. Chaves de identificação de larvas para famílias e gêneros de Trichoptera (Insecta) da Amazônia Central, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia* 49: 181-214.
- Pes, A. M. O. 2005. Taxonomia, estrutura e riqueza das comunidades de larvas e pupas de Trichoptera (Insecta), em igarapés na Amazônia Central. Tese de doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Amazonas 180.
- 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 600/R-06/003. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, DC.
- Poff, N. L. & J. V. Ward, 1990. Physical habitat template of lotic systems: recovery in the context of historical pattern of spatiotemporal heterogeneity. *Environmental Management* 14: 629-645.
- R Development Core Team 2013. R: A linguagem e ambiente para computação estatística Viena, R Foundation for Statistical Computing, R versão 3.0.1, ISBN 3-900051-07-0. Disponível online em: <http://www.Rproject.org>. Acessado em 15 de outubro de 2014.
- Reice, S. R. & M. Wohlenberg, 1993. Monitoring freshwater benthic macroinvertebrates and benthic processes: measures for assessment of ecosystem health. Chapman and Hall, New York (USA) 287-305.
- Rigui-Carvallaro, K. O., M. R. Spies & A. E. Siegloch, 2010. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages in Miranda River basin, Mato Grosso do Sul State, Brasil. *Biota Neotropical* 10: 253-260.

- Rosenberg, D. M. & V. H. Resh, 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York.
- Salles, F. F., 2006. A ordem Ephemeroptera no Brasil (Insecta): taxonomia e diversidade. Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.
- Salles, F. F. & E. Domínguez, 2012. Systematics and Phylogeny of Ulmeritus-Ulmeritoides revisited (Ephemeroptera: Leptophlebiidae). *Zootaxa* 3571: 49–65.
- Santos, W. M. A. S. & A. C. Santana, 2012. Caracterização socioeconômica da produção e comercialização de farinha de mandioca no município de Portel, arquipélago do Marajó, Estado do Pará. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 7: 73-86.
- Secretaria De Estado De Planejamento, Orçamento E Finanças -SEPOF-PARÁ, 2011. Estatísticas Municipais Paraenses - Portel. Núcleo de disseminação da informação, comunicação e suporte de decisão.
- Schmidt-Kloiber, A. & R. C. Nijboer, 2004. The effect of taxonomic resolution on the assessment of ecological water quality classes. *Hydrobiologia* 516: 269–283.
- Shimano, Y., H. S. R. Cabette, F. F. Salles & L. Juen, 2010. Composição e distribuição da fauna de Ephemeroptera (Insecta) em área de transição Cerrado-Amazônia, Brasil. *Iheringia. Série Zoologia* 100: 301-308.
- Shimano, Y., F. F. Salles, L. R. Faria, H. S. Cabette & D. S. Nogueira, 2012. Distribuição espacial das guildas tróficas e estruturação da comunidade de Ephemeroptera (Insecta) em córregos do Cerrado de Mato Grosso, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia* 102: 187-196.
- Selvakumar, C., K.G. Sivaramakrishnan, S. Janarthanan, M. Arumugam & M. Arunachalam, 2014. Impact of riparian land-use patterns on Ephemeroptera community structure in river basins of the southern Western Ghats, India. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 412: 11.
- Sokal, R. & J. Rolf, 1994. Biometry. The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. Freeman, New York 887.

- Southwood, T. R. E., 1977. Habitat, the templet for ecological strategies? *Journal of Animal Ecology*, Oxford 46: 337-65.
- Souza, H. M. L., H. S. R. Cabette & L. Juen, 2011. Baetidae (Insecta, Ephemeroptera) em córregos do cerrado matogrossense sob diferentes níveis de preservação ambiental. *Iheringia, Série Zoologia*, Porto Alegre 101: 181-190.
- Suhaila, A. H. & M. R. Salmah, 2014. Ecological Functioning Of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (Insecta) in Rivers of Gunung Jerai Forest Reserve: Diversity and Distribution of Functional Feeding Groups. *Tropical Life Sciences Research* 25: 61-73.
- Ter Braak, C. J. F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67: 1167-79.
- Ter Braak, C. J. F., 1995. Ordination. Jongman, R. H. G., C. J. F. Ter Braak & O. F. R. Van Tongeren, (Eds.). *Data analysis in community and landscape ecology*. Cambridge: Cambridge University Press 91-173.
- Zanoni, M. M., A. D. Ferreira, L. A. Miguel, D. Floriani, N. Canali & Cl. Raynaut, 2011. Preservação da natureza e desenvolvimento rural: dilemas e estratégias dos agricultores familiares em Áreas de Proteção Ambiental. *Desenvolvimento e Meio Ambiente* 2.
- Zar, J. H., 2010. *Biostatistical analysis*. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River.
- Waite, I. R., A. T. Herlihy, D. P. Larsen, N. S. Urquhart, D. J. Klemm, 2004: The effects of macroinvertebrate taxonomic resolution in large landscape bioassessments: an example from the Mid-Atlantic Highlands, U.S.A. *Freshwater Biology* 49: 474-489.
- Wright, S. J., 2005. Tropical forests in a changing environment. *Trends in Ecology and Evolution* 20:553–560

## **Anexo I**

### **Normas para publicação na Revista Hydrobiologia**

#### **Instructions For Authors**

##### **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](http://www.gbif.org)) or data centers endorsed by GBIF, including BioFresh ([www.freshwaterbiodiversity.eu](http://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**

#### Title Page

1. The title page should include:
2. The name(s) of the author(s)
3. A concise and informative title
4. The affiliation(s) and address(es) of the author(s)
5. The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

#### Abstract

1. 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

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

### **TEXT**

## **Text Formatting**

Manuscripts should be submitted in Word.

1. Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
2. Use italics for emphasis.
3. Use the automatic page numbering function to number the pages.
4. Do not use field functions.
5. Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
6. Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
7. Use the equation editor or MathType for equations.
8. 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.**

1. 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.

## **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.

2. Engel, S. & S. A. Nichols, 1994. Aquatic macrophytes growth in a turbid windswept lake. *Journal of Freshwater Ecology* 9: 97–109.
3. 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.
4. Maitland, P. S. & R. Campbell, 1992. *Fresh Water Fishes*. Harper Collins Publishers, London.

5. 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**

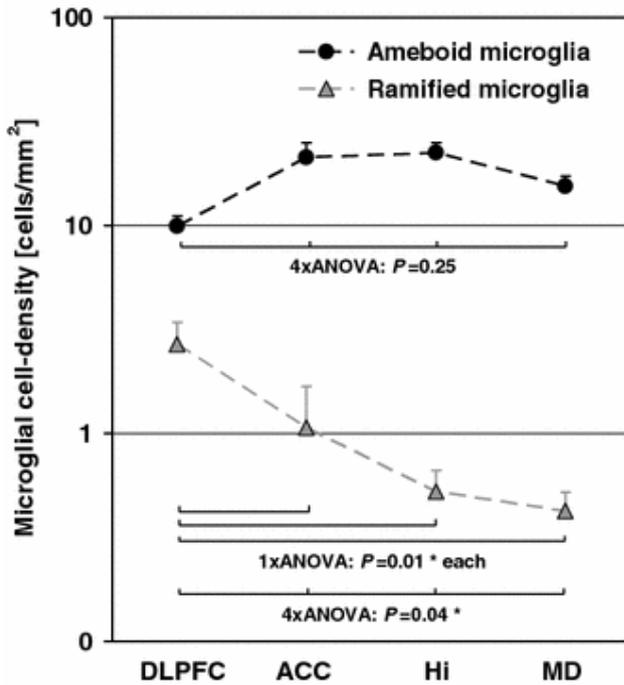
1. All tables are to be numbered using Arabic numerals.
2. Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
3. For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
4. Identify any previously published material by giving the original source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

## **ARTWORK AND ILLUSTRATIONS GUIDELINES**

### **Electronic Figure Submission**

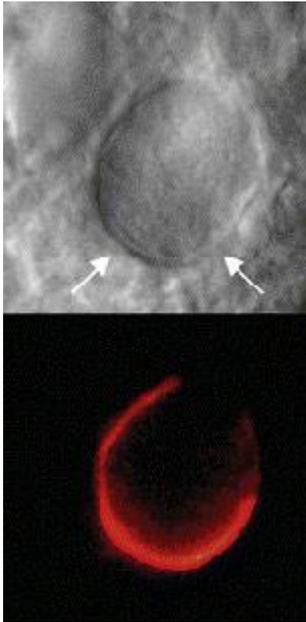
1. Supply all figures electronically.
2. Indicate what graphics program was used to create the artwork.
3. For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MSOffice files are also acceptable.
4. Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the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

### **Line Art**



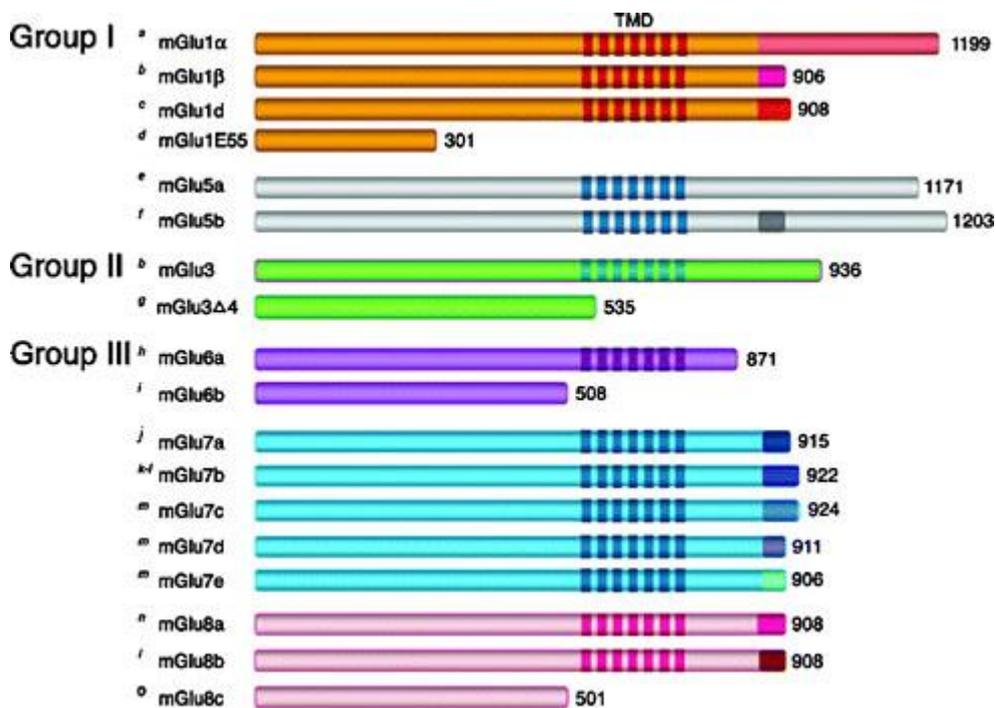
1. Definition: Black and white graphic with no shading.
2. Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.
3. All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.
4. Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should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

### Halftone Art



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

### Combination Art



1. Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.

2. Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

### **Color Art**

1. Color art is free of charge for online publication.
2. 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.
3. If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.
4. Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

### **Figure Lettering**

1. To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).
2. Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).
3. 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.
4. Avoid effects such as shading, outline letters, etc.
5. Do not include titles or captions within your illustrations.

### **Figure Numbering**

1. All figures are to be numbered using Arabic numerals.
2. Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.
3. Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).
4. 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,
5. "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

### **Figure Captions**

1. 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.
2. Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.
3. No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.
4. Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.
5. 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**

1. When preparing your figures, size figures to fit in the column width.
2. For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.
3. 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

1. All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)

2. Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (colorblind users would then be able to distinguish the visual elements)
3. 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**

1. Supply all supplementary material in standard file formats.
2. Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.
3. 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**

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

### **Text and Presentations**

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

### **Spreadsheets**

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

### **Specialized Formats**

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

### **Collecting Multiple Files**

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

### **Numbering**

3. If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.
4. 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”.
5. Name the files consecutively, e.g. “ESM\_3.mpg”, “ESM\_4.pdf”.

### **Captions**

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

### **Processing of supplementary files**

2. 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

3. The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material
4. 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.

## **ETHICAL RESPONSIBILITIES OF AUTHORS**

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

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

The manuscript has not been submitted to more than one journal for simultaneous consideration.

The manuscript has not been published previously (partly or in full), unless the new work concerns an expansion of previous work (please provide transparency on the re-use of material to avoid the hint of text-recycling (“self-plagiarism”)).

A single study is not split up into several parts to increase the quantity of submissions and submitted to various journals or to one journal over time (e.g. “salami-publishing”).

No data have been fabricated or manipulated (including images) to support your conclusions

No data, text, or theories by others are presented as if they were the author’s own (“plagiarism”). Proper acknowledgements to other works must be given (this includes material that is closely copied (near verbatim), summarized and/or paraphrased), quotation marks are used for verbatim copying of material, and permissions are secured for material that is copyrighted.

Important note: the journal may use software to screen for plagiarism.

Consent to submit has been received explicitly from all co-authors, as well as from the responsible authorities - tacitly or explicitly - at the institute/organization where the work has been carried out, before the work is submitted.

Authors whose names appear on the submission have contributed sufficiently to the scientific work and therefore share collective responsibility and accountability for the results.

In addition:

Changes of authorship or in the order of authors are not accepted after acceptance of a manuscript.

Requesting to add or delete authors at revision stage, proof stage, or after publication is a serious matter and may be considered when justifiably warranted. Justification for changes in authorship must be compelling and may be considered only after receipt of written approval from all authors and a convincing, detailed explanation about the role/deletion of the new/deleted author. In case of changes at revision stage, a letter must accompany the revised manuscript. In case of changes after acceptance or publication, the request and documentation must be sent via the Publisher to the Editor-in-Chief. In all cases, further documentation may be required to support your request. The decision on accepting the change rests with the Editor-in-Chief of the journal and may be turned down. Therefore authors are strongly advised to ensure the correct author group, corresponding author, and order of authors at submission.

Upon request authors should be prepared to send relevant documentation or data in order to verify the validity of the results. This could be in the form of raw data, samples, records, etc.

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

If the article is still under consideration, it may be rejected and returned to the author.

If the article has already been published online, depending on the nature and severity of the infraction, either an erratum will be placed with the article or in severe cases complete retraction of the article will occur. The reason must be given in the published erratum or retraction note.

The author's institution may be informed.

## **COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS**

To ensure objectivity and transparency in research and to ensure that accepted principles of ethical and professional conduct have been followed, authors should include information regarding sources of funding, potential conflicts of interest (financial or non-financial), informed consent if the research involved human participants, and a statement on welfare of animals if the research involved animals.

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

1. Disclosure of potential conflicts of interest
2. Research involving Human Participants and/or Animals
3. Informed consent

Please note that standards could vary slightly per journal dependent on their peer review policies (i.e. double blind peer review) as well as per journal subject discipline. Before submitting your article check the Instructions for Authors carefully.

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

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

## **DISCLOSURE OF POTENTIAL CONFLICTS OF INTEREST**

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

1. Research grants from funding agencies (please give the research funder and the grant number)

2. Honoraria for speaking at symposia
3. Financial support for attending symposia
4. Financial support for educational programs
5. Employment or consultation
6. Support from a project sponsor
7. Position on advisory board or board of directors or other type of management relationships
8. Multiple affiliations
9. Financial relationships, for example equity ownership or investment interest
10. Intellectual property rights (e.g. patents, copyrights and royalties from such rights)
11. Holdings of spouse and/or children that may have financial interest in the work

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

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

here:

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

See below examples of disclosures:

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

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

If no conflict exists, the authors should state:

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

### **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

