

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

INGRID REIS CAMPOS

**Influência de um mineroduto de Bauxita nas assembleias de Ephemeroptera,
Plecoptera e Trichoptera (EPT) (Insecta) em riachos da Amazônia Oriental**

Belém

2024

INGRID REIS CAMPOS

**Influência de um mineroduto de Bauxita nas assembleias de
Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) (Insecta) em riachos
da Amazônia Oriental**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia do convênio da Universidade Federal do Pará e Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ecologia.
Área de concentração: Ecologia
Linha de Pesquisa: Ecologia de Comunidades e Ecossistemas

Orientadora: Dra. Yulie Shimano
Co-orientador: Dr. Leandro Juen

Belém

2024

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

C198i Campos, Ingrid Reis.

Influência de um mineroduto de Bauxita nas assembleias de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) (Insecta) em riachos da Amazônia Oriental / Ingrid Reis Campos. — 2024.
43 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^ª. Dra. Yulie Shimano

Coorientador(a): Prof. Dr. Leandro Juen

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Biológicas, Mestrado Profissional em Ensino de Biologia, Belém, 2024.

1. Ecologia de riachos. 2. Macroinvertebrados bentônicos.
3. Filtro ambiental. 4. Sistema lótico. I. Título.

CDD 577.09811

INGRID REIS CAMPOS

**Influência de um mineroduto de Bauxita nas assembleias de
Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) (Insecta) em riachos
da Amazônia Oriental**

Dissertação ou Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia do convênio da Universidade Federal do Pará e Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ou Doutor em Ecologia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof^ª Dra. Yulie Shimano Feitoza
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Prof^ª. Dra. Ana Luiza Andrade
Universidade Federal de Rondônia (UNIR)

Prof^ª. Dra. Ana Paula Justino de Faria
Universidade Estadual do Piauí (UESPI)

Prof. Dr. Diego Marcel Parreira de Castro
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Prof. Dr. Marcos Callisto de Faria Pereira
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Prof. Dr. Raphael Ligeiro Barroso Santos
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Aprovada em: 29 de fevereiro de 2024

Local da defesa: Online (google meet).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me mantido firme em todo o processo e ter permitido que eu finalizasse essa jornada.

À Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação (PPGECO) pela infraestrutura e suporte que possibilitaram o desenvolvimento dessa pesquisa e contribuição na minha formação acadêmica.

Ao CNPq (processo 304710/2019-9) 105 pelo financiamento da bolsa para execução do mestrado. À empresa Hydro Paragominas (processo 106 20/19) pelo apoio e financiamento do projeto ao qual esse estudo faz parte e por ter oportunizado a realização dessa pesquisa dentro dos domínios da empresa.

À minha orientadora Yulie Shimano sou imensamente grata pelas contribuições, pelos conselhos e apoio, inclusive emocional. Sou muito feliz por ter tido essa experiência com uma orientação tão humana, gentil e acessível. Saiba que foi muito importante para mim ter seu suporte neste trabalho e neste capítulo da minha jornada.

Ao coorientador Leandro Juen sou eternamente grata pela paciência e pelos ensinamentos repassados. Mesmo na correria sempre se apresentou disposto a ajudar no que fosse necessário. Obrigada por ter contribuído na minha carreira acadêmica e pessoal, e pela confiança durante esses dois anos.

Aos doutores (as) avaliadores desta dissertação nas duas semanas da pós-graduação e na qualificação: Lenize Calvão, Ana Paula Faria, Raphael Ligeiro, Victor Saito pelo seu tempo e suas contribuições nas versões anteriores para o aperfeiçoamento deste trabalho.

À minha mãe, Valdirene Reis que sempre será minha inspiração e meu porto seguro. Obrigada pelos conselhos, as risadas, pelas histórias leves do dia a dia que me faziam rir quando meus olhos estavam marejados. Por cuidar de mim mesmo de longe. O seu “vai dar tudo certo” finalmente está se concretizando, essa conquista é nossa.

Ao meu pai, José Campos que sempre acreditou que eu conseguiria chegar até aqui quando as vezes nem eu acreditava. Obrigada pelos conselhos sábios, pelas palavras de carinho e pelo apoio. Obrigada por sempre me lembrar: “filha, tamo junto nessa”, essa conquista é nossa.

Aos meus irmãos, Geovanna e Gabriel, e também que são parte do meu cantinho feliz. Obrigada por terem sido meu suporte por tantas vezes, pelo carinho e pelas ligações de vídeo e pelos momentos de descontração e alegria. Obrigada também Matheus e Mariana por serem parte de tudo isso.

Ao meu namorado Endre Hagen, que conheci no meio da floresta amazônica, em um curso de ecologia de campo no mestrado. Obrigada por estar ao meu lado, mesmo estando na Noruega, a 8.540 km de distância, me apoiando, e me lembrando que tudo dá certo no final. Obrigada pelos momentos felizes, pelas conversas e risadas e por ter embarcado nessa jornada comigo.

À minha amiga Natália com quem eu morei assim que cheguei em Belém que foi meu anjo da guarda. Eu não ia durar um dia aqui se não fosse por ti. Obrigada por ter sido a irmã mais velha que eu nunca tive, pelas conversas e conselhos, pelo arroz de cuxá com vinagrete, pelas caminhadas na Batista Campos, por ter se tornado minha amiga e um presente que eu quero levar para a vida.

À minha amiga Emmy com a qual eu também dividi o teto e muitas histórias. Obrigada pelas conversas, pelo apoio emocional, por ter sido minha parceira de academia e pelas aulas de dança latina. Obrigada pelos momentos felizes que tivemos e por ter sido minha amiga. Te quero.

À minha Gaby que foi a primeira pessoa do mestrado com quem eu conversei, minha “irmã” de orientadora. Obrigada por me aceitar do “jeitin” que eu sou, por ter cuidado de mim, pelos divinos bolos de cenoura com chocolate e por ter sido abraço quando eu precisei. Sou muito grata em ter te conhecido, Gabrielly!

Aos meus amigos e colegas que me acompanharam durante o mestrado, Luiza, Carol, Manu, Ana, Bea, Thaiz, seu Jorge, Júlia, Josi, Cristian, Fabio, pelas conversas de motivação, pela companhia e experiência trocadas.

Ao Gabriel, Juan Matteo, Maria Fernanda com a ajuda estatística e/ou interpretativa dos dados, e prof. Raphael Ligeira, Neto e Maria pela ajuda com os bichinhos.

Aos meus tios, Luiz, Elizete e Zé, que me receberam em sua casa na etapa final do mestrado e foram meu pedacinho de casa por alguns meses. Sou imensamente grata por terem cuidado tão bem de mim, pela companhia e pelos momentos leves e felizes.

A todos que não citei o nome, mas que contribuíram de forma direta ou indireta, para a realização desse trabalho.

Influência de um mineroduto de Bauxita nas assembleias de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) (Insecta) em riachos da Amazônia Oriental

RESUMO

Os ecossistemas aquáticos na Amazônia Oriental, apesar de serem reconhecidos por sua notável biodiversidade e complexidade, enfrentam ameaças significativas, especialmente devido à atividade mineradora, que embora em menor escala comparada a outros usos da terra possui potencial para causar danos ambientais consideráveis. Diante disso, nosso objetivo foi avaliar os efeitos da presença do mineroduto no ambiente, na diversidade taxonômica e funcional de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) em riachos na Amazônia Oriental. A pesquisa foi realizada em 32 riachos (16 com e 16 sem influência de mineroduto) entre os municípios de Paragominas até Barcarena, no estado do Pará. Foram coletados 828 indivíduos de EPT, pertencentes a 13 famílias e 29 gêneros. Os resultados indicam que o mineroduto causou diferenças no sobre o ambiente e a composição taxonômica de EPT, mas não na diversidade funcional, riqueza e abundância. Apesar da ausência de diferença na riqueza e abundância de EPT entre os tratamentos estudados, é possível que tenha havido uma dinâmica de substituição de espécies, corroborada pela diferença que encontramos na composição taxonômica. A diversidade funcional não capturou o efeito da presença do mineroduto e estradas, possivelmente em virtude da similaridade funcional dos gêneros encontrados. Essas diferenças de respostas ou de sensibilidade em detectar as alterações no hábitat e na paisagem destacam a necessidade de utilizar diferentes métricas de diversidade em estudos ecológicos porque a resposta pode variar de acordo com o distúrbio e a intensidade dele no ambiente e na biota.

Palavras-Chave: Ecologia de riachos, Macroinvertebrados bentônicos, Filtro ambiental Sistema lótico

Influence of a bauxite pipeline on the EPT Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera (EPT) community in streams of the Eastern Amazon

ABSTRACT

Aquatic ecosystems in the Eastern Amazon, despite being recognized for their remarkable biodiversity and complexity, face significant threats, particularly due to mining activities. Although mining occurs on a smaller scale compared to other land uses, it has the potential to cause considerable environmental damage. In light of this, our objective was to evaluate the effects of the presence of a mining pipeline on the environment, as well as on the taxonomic and functional diversity of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera (EPT) in streams in the Eastern Amazon. The research was conducted in 32 streams (16 influenced by the pipeline and 16 not influenced) between the municipalities of Paragominas and Barcarena, in the state of Pará. A total of 828 EPT individuals were collected, belonging to 13 families and 29 genera. The results indicate that the pipeline caused differences in the environment and the taxonomic composition of EPT, but not in functional diversity, richness, and abundance. Despite the absence of differences in the richness and abundance of EPT between the studied treatments, it is possible that a species turnover dynamic occurred, corroborated by the difference we found in taxonomic composition. Functional diversity did not capture the effect of the presence of the pipeline and roads, possibly due to the functional similarity of the genera found. These differences in responses or sensitivity in detecting habitat and landscape changes highlight the need to use different diversity metrics in ecological studies because the response can vary according to the disturbance and its intensity in the environment and biota.

Keywords: Stream ecology, benthic macroinvertebrates, environmental filter, lotic system

Sumário

RESUMO	7
<i>ABSTRACT</i>	8
Sumário	9
Introdução	10
Material e métodos	12
3.1 Área de estudo	12
3.4 Coleta biológica	14
3.2 Mensuração de variáveis ambientais	15
3.5 Características funcionais	16
Resultados	20
Discussão	23
Conclusão	27
Anexos	42

Influência de um mineroduto de Bauxita nas assembleias de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) (Insecta) em riachos da Amazônia Oriental

Este trabalho está formatado nas normas da revista *Hydrobiologia*

Introdução

Um dos principais objetivos dos estudos ecológicos é aumentar a eficiência das ações de conservação de biodiversidade (Mendes et al., 2020). Os ecossistemas aquáticos são conhecidos por sua complexidade ambiental (Bernardo & Britto, 2016) e sensibilidade ambiental (Dijkstra; Monaghan; Pauls, 2014). Esses ecossistemas sofrem constantemente com as mudanças decorrentes de atividades antropogênicas. Na Amazônia Oriental, tais atividades resultam na conversão de áreas florestais em espaços urbanos, áreas destinadas à agricultura ou pecuária e, em alguns casos, são direcionadas às atividades de mineração (Juen et al., 2016). Essas transformações têm o potencial de provocar mudanças significativas no solo e nos riachos, impactando negativamente a biodiversidade local (Martins et al., 2014).

Apesar da mineração ocorrer em uma menor escala quando comparada com outros usos da terra, é uma atividade com potencial de causar danos consideráveis ao meio ambiente (Rico-Sánchez et al., 2022). A bauxita é dos principais focos de exploração, porém sua extração envolve a retirada de grandes quantidades de solo superficial, causando impactos no solo, no ar, nos ambientes aquáticos e nas comunidades biológicas (Kusin et al., 2017). O tipo de transporte de bauxita adotado pela mineradora norueguesa Hydro Aluminium no estado do Pará foi através de um mineroduto enterrado de 244 km cortando sete municípios paraenses: Paragominas, Ipixuna do Pará, Tomé-Açu, Acará, Moju, Abaetetuba e Barcarena (Menezes et al., 2014).

Mesmo sendo menos danosos do que outros sistemas de transporte de minério, esse tipo de implantação pode levar ao vazamento de rejeitos no solo e nos corpos d'água próximos do duto, uso de grandes quantidades de água para o escoamento do minério no duto (Castro & Carmo, 2019). Os riachos cortados pelo mineroduto também necessitam de pontes e estradas laterais para manutenção do duto. A construção das pontes envolve também a implementação de manilhas de concreto para canalização dos riachos, podendo interferir no fluxo de água. Enquanto as estradas laterais provocam a

35 retirada ou modificação da vegetação marginal, causando fragmentação florestal e
36 tornando os riachos mais suscetíveis a impactos. Essa vegetação atua diretamente na
37 proteção da morfologia do canal, estabilidade de barrancos e margens, disponibilidade
38 de luz, temperatura da água (Astudillo et al., 2016) e na entrada de material alóctone de
39 folhas, galhos e troncos caídos da vegetação marginal (Russo et al., 2002). Mudanças
40 nesse ambiente têm efeitos diretos na disponibilidade de recursos alimentares e abrigos
41 para esses organismos (Gonçalves Júnior et al., 2014; Leal et al., 2016), como a entrada
42 de sedimentos finos nos riachos causada pela retirada de vegetação marginal
43 (Yoshimura, 2012), soterrar microhabitats importantes para a biota aquática (Azevedo-
44 Santos et al., 2021).

45 Os insetos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) são
46 usados em estudos ecológicos por serem importantes bioindicadores ambientais, dado
47 sua alta especificidade de hábitat, diversidade e ampla distribuição (Brasil et al., 2020).
48 São importantes elos no fluxo de energia (Suter & Cormier, 2015), desempenhando
49 funções ecossistêmicas através do processamento da matéria orgânica e reciclagem dos
50 nutrientes, (Suter & Cormier, 2015; Cummins & Merritt, 2005; Lima et al., 2022). Os
51 gêneros de EPT possuem diferentes níveis de tolerância frente a distúrbios causados
52 pela mineração, sendo alguns táxons mais tolerantes à contaminação por metais e
53 poluição inorgânica do que outros (Espinosa et al., 2016; Rivera-Pérez et al., 2023).
54 Muitos estudos ecológicos têm como base a abordagem taxonômica, funcional ou
55 ambas, sendo capazes de detectar diferentes respostas ecológicas das comunidades de
56 EPT (e.g. Luiza-Andrade et al., 2017a; Brasil et al 2019; .

57 A diversidade funcional relaciona-se aos componentes da biodiversidade que
58 têm influência sobre como um ecossistema funciona (Tilman, 2001) por meio dos
59 organismos. Características funcionais ou *traits* são definidos como qualquer
60 característica fisiológica, fenológica ou morfológica que impactam indiretamente na
61 aptidão do indivíduo, por meio dos seus efeitos na reprodução, crescimento e
62 sobrevivência do mesmo (Violle et al., 2007). Dessa forma, estudos utilizando *traits*
63 como proxy têm contribuído para identificar quais características funcionais respondem
64 aos filtros ambientais (Rosenfield; Müller, 2020) e/ou às modificações antrópicas,
65 porém ainda é uma abordagem pouco explorada nos grupos de invertebrados aquáticos
66 (Brasil et al., 2020a).

67 Os componentes da abordagem de diversidade funcional mais usados incluem:
68 riqueza funcional (FRic), que mensura o tamanho do espaço funcional que as espécies

69 da comunidade ocupam (Villéger et al., 2008), assim como a faixa de valores das
70 características funcionais (Zhang et al, 2012); a uniformidade funcional (FEve), que se
71 refere ao grau de biomassa que a comunidade ocupa dentro do espaço multidimensional
72 de características para fazer uso dos recursos disponíveis (Villéger et al., 2008; Mason
73 et al., 2005), e a alta divergência funcional (Fdiv) que indica que há baixa competição
74 por recursos, e é resultado do elevado nível de diferenciação de nicho (Mason et al.,
75 2005).

76 Devido a esse potencial, estudos utilizando essa abordagem têm contribuído
77 para identificar quais características funcionais respondem a filtros ambientais
78 (Rosenfield; Müller, 2020) e às modificações antrópicas, porém ainda é uma abordagem
79 pouco explorada nos grupos de invertebrados aquáticos (Brasil et al., 2020).

80 A abordagem taxonômica, ao longo das décadas, trouxe *insights* valiosos sobre a
81 dinâmica das comunidades de EPT em riachos (Price et al., 1995; Wickramasinghe et al.,
82 2004; Faria et al., 2021). Da mesma forma, mais recentemente a abordagem funcional
83 de EPT tem se destacado e demonstrado eficiência em apresentar respostas importantes
84 sobre os impactos trazidos pelas alterações antrópicas no ambiente (Castro et al., 2018;
85 Lima et al., 2022). Essas abordagens, de forma complementar, podem fornecer um
86 melhor entendimento sobre as relações entre a biota aquática e impactos humanos
87 (Luiza-Andrade et al., 2017a).

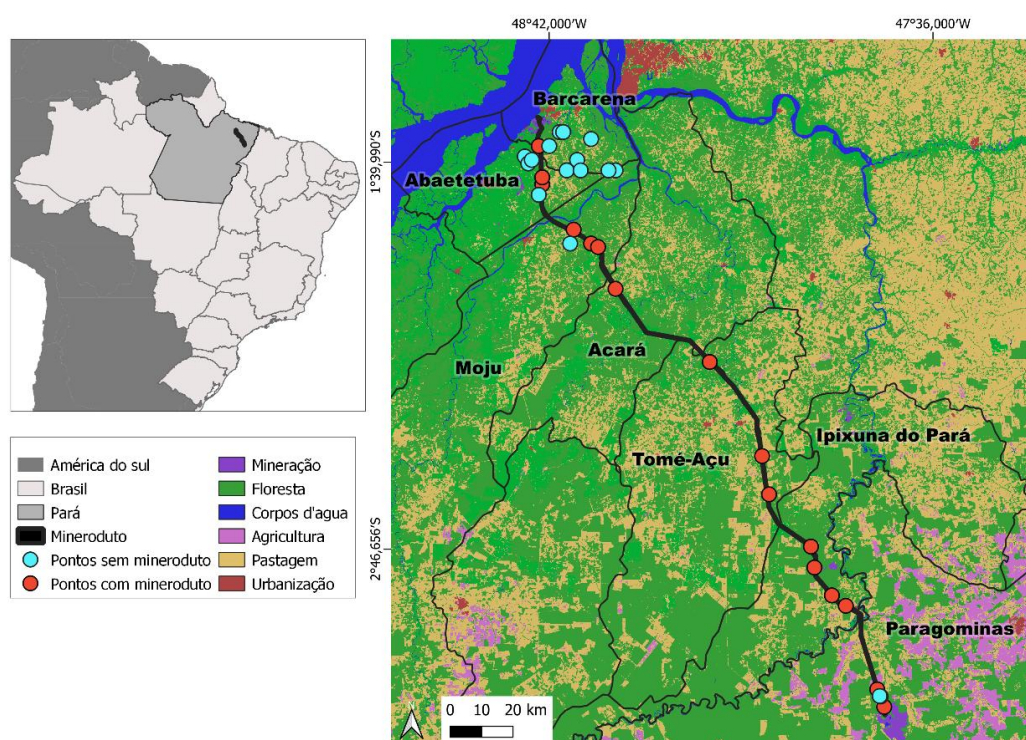
88 Diante disso, o objetivo dessa dissertação foi avaliar os efeitos da presença do
89 mineroduto no ambiente, na diversidade taxonômica e funcional de Ephemeroptera,
90 Plecoptera e Trichoptera (EPT) em riachos na Amazônia Oriental. A principal hipótese é
91 que alterações ambientais promovidas pela presença do mineroduto são deletérias para o
92 habitat e para a biota aquática. Sendo assim, nossas hipóteses são que: (1) Riachos com
93 presença de mineroduto têm menor riqueza taxonômica, abundância e diversidade
94 funcional do que riachos sem a presença do mineroduto; (2) As variáveis ambientais e
95 composição de gêneros de EPT são diferentes entre os tratamentos (riachos com e sem
96 presença do mineroduto); (3) As variáveis ambientais influenciam na riqueza
97 taxonômica e abundância de EPT.

98

99 **Material e métodos**

100 *3.1 Área de estudo*

101 O estudo foi conduzido em sete municípios: Paragominas, Ipixuna do Pará,
 102 Tomé-açu, Acará, Moju, Abaetetuba e Barcarena, localizados no nordeste do estado do
 103 Pará, Brasil (Fig. 1). A paisagem natural da região é formada por uma densa floresta
 104 ombrófila com manchas pequenas de florestas aluviais e de várzea (De Paula et al.,
 105 2021). O clima prevalente na região é 'Af', de acordo com a classificação de Köppen-
 106 Geiger, ou seja, tropical úmido, grande precipitação anual acumulada (Andrade Moreira
 107 et al., 2019), que pode alcançar 2.200 mm, e mensalmente com médias de 180 mm (Vale,
 108 2008). A média de temperatura anual na região é de 27,2 °C e a umidade relativa média
 109 é de 81% (Oliveira-Junior et al., 2015). Os riachos coletados são pertencentes as bacias
 110 do Rio Capim, do Rio Tomé-açu, do Rio Mariquita e bacia do Rio Moju.



111
 112 **Fig.1** Mapa da área de estudo destacando os pontos de coleta com mineroduto (em vermelho) e sem
 113 mineroduto (em azul) mostrando os principais usos do solo na região.

114
 115 Historicamente, a mesorregião Nordeste Paraense tem sofrido um processo de
 116 descaracterização em consequência do desmatamento que se iniciou e se intensificou
 117 durante a construção da rodovia BR-010 Belém-Brasília (Cordeiro et al., 2017; Vale,
 118 2008). Nesse período, a extração mineral, o extrativismo madeireiro, a agropecuária e a
 119 agricultura passaram a ser determinantes na mudança da paisagem amazônica na região
 120 (Gardner et al., 2013; Cordeiro et al., 2017), variando de áreas muito impactadas a
 121 florestas ombrófila densa. Apesar da área de estudo sofrer com diversos tipos de uso da

122 terra, as áreas de preservação permanente das matas ciliares dos riachos coletados são
123 conservadas, com pelo menos 5 metros de largura. Para não desconsiderar essas
124 influências, utilizamos as métricas de porcentagem de uso do solo e um índice de
125 integridade de hábitat em conjunto com as demais variáveis ambientais preditoras para
126 verificar se elas também atuam sobre as comunidades EPT em associação com a
127 presença do mineroduto.

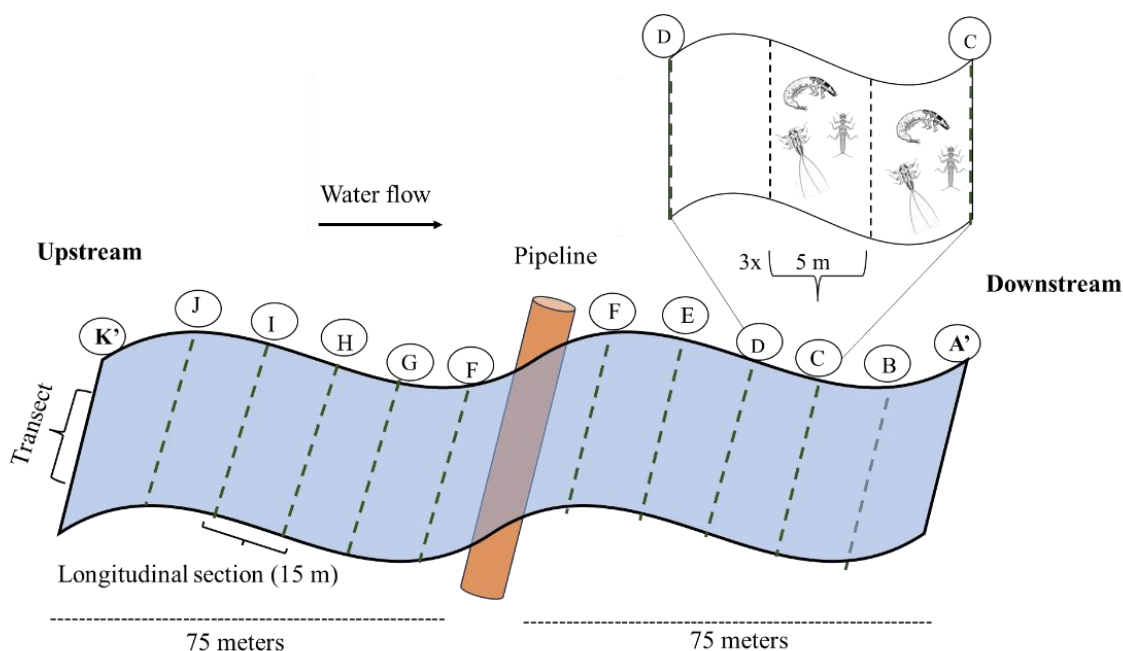
128

129 *3.4 Coleta biológica*

130 A coleta biológica foi feita em 32 riachos de 1^a a 3^a ordem, segundo a
131 classificação proposta por Strahler (1957), em outubro de 2022, durante a estação seca
132 da região que vai de junho a novembro (Lima et al., 2014). Foram selecionados 16
133 riachos em áreas florestadas, sem interceptação do mineroduto, e 16 riachos cortados
134 pelo mineroduto e por estradas que permitem o acesso para manutenção desses dutos.
135 Em cada riacho amostrado foi definido um trecho de 150 m, dividido por 11 transectos
136 equidistantes em 10 seções longitudinais de 15 metros, cada um subdividido em 3
137 segmentos de 5 metros. Os espécimes imaturos foram coletados apenas nos dois
138 primeiros segmentos de cada seção onde o terceiro segmento foi utilizado para evitar
139 perturbação dos segmentos seguintes (Faria et al., 2021) (Fig. 2). Os transectos foram
140 nomeados das letras de “A” (mais a jusante) a “K” (mais a montante) e as seções
141 definidas entre os transectos seguiram a nomenclatura dos mesmos (AB, BC, CD..., JK)
142 (Juen et al., 2016). Os riachos cortados pelo mineroduto foram divididos em 75 metros
143 acima (montante) e 75 metros abaixo (jusante) da tubulação.

144 As comunidades de EPT foram coletadas utilizando uma rede de mão circular
145 denominada como “rapiché” (18 cm de diâmetro e malha de 250 µm). Os organismos
146 coletados foram triados ainda em campo e fixados em álcool 85% (Shimano et al.,
147 2018).

148 Os espécimes de EPT coletados foram identificados até o nível de gênero, com
149 as chaves taxonômicas para cada ordem a partir da literatura para organismos da região
150 amazônica (Domínguez, 2006; Hamada et al., 2014; Salles et al., 2014). O material
151 biológico foi tabulado para a etapa de análise estatística e os exemplares foram
152 depositados na coleção zoológica do Laboratório de Ecologia e Conservação da
153 Universidade Federal do Pará.



154

155 **Fig.2** Delineamento amostral do trecho de coleta de larvas de EPT em riachos com mineroduto na área de
 156 mineração de bauxita da empresa Norsk Hydro situada no nordeste da Amazônia.

157

158 3.2 Mensuração de variáveis ambientais

159 Dentro do trecho delimitado foi utilizado o protocolo de avaliação ambiental de
 160 riachos de Peck et al. (2006). Este protocolo já foi utilizado em vários estudos na
 161 Amazônia (Cruz et al., 2022; Faria et al., 2021; Juen et al., 2016). Ele avalia métricas
 162 sobre a morfologia do canal, hidrodinâmica, substratos, vegetação ribeirinha,
 163 disponibilidade de abrigos para a biota aquática, influências antrópicas, entre outras
 164 (Peck et al., 2006). Adicionalmente, foram mensuradas as variáveis físico-químicas
 165 oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), potencial hidrogeniônico
 166 (pH), e temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) nas extremidades e no meio de cada trecho (transectos
 167 A, F e K) através de uma sonda multiparâmetro Horiba U-5000.

168 Além das métricas do protocolo de Peck et al., (2006), também utilizamos o
 169 Índice de Integridade de Hábitat (IIH) com variável ambiental (Anexo 1). Esse índice é
 170 um questionário constituído por 12 questões que avaliam as condições do ambiente,
 171 levando em conta aspectos como: uso da terra, vegetação ripária, características do leito,
 172 vegetação aquática, estrutura do canal, detritos entre outros (Nessimian et al., 2008;
 173 Anexo 1). Essas métricas são apontadas na literatura como importantes preditoras da
 174 distribuição de insetos aquáticos (Brasil et al., 2020)

175

176 A caracterização dos usos e coberturas de terra foi realizada nos buffers dos trechos de
177 riachos avaliados neste estudo utilizando três *softwares* de geoprocessamento.

178 O ArcGis 10.1 (Esri, 2014) foi utilizado para delimitar os limites das redes de
179 drenagem das microbacias de cada trecho. Elas foram revisadas por imagens de satélite
180 Landsat de 2018 e do Google Earth de 2008 (<http://earth.google.com>), com modelos
181 digitais de elevação do terreno (SRTM) com resolução espacial de 30 metros. Para o
182 Processamento Digital de Imagens foram utilizadas imagens do conjunto de satélites
183 Landsat do ano de 2021. Todas as etapas de manipulação das imagens foram realizadas
184 através dos *softwares* ArcGis 10.1 (Esri, 2014), PCI Geomatica V10.1 (PCI, 2007) e
185 Ecognition (Definiens, 2009), onde foram efetuados os seguintes procedimentos:
186 correção atmosférica, confecção de mosaicos, classificação supervisionada orientada ao
187 objeto e validação com imagens do MapBiomas dos mesmos períodos. As classes de
188 usos e coberturas de terra (UCT) foram identificadas por meio do processamento
189 imagens de satélite (PDI). As classes identificadas usadas neste trabalho foram:
190 formação florestal e pastagem. Elas foram usadas nas análises. Após a classificação das
191 imagens e posterior validação dos usos e coberturas de terra, as dimensões de cada
192 classe foram quantificadas em km², na escala espacial da paisagem, segundo
193 metodologias adaptadas de Wang et al. (2000), Clapcott et al., (2012) e Feld (2013):
194 *Buffer* de 150 m.

195

196 3.5 Características funcionais

197 Foram selecionadas quatro características funcionais relacionadas à ecologia,
198 mobilidade e morfologia dos insetos que potencialmente respondem as variações
199 ambientais de acordo com a literatura: hábito alimentar (coletor-agarrador, fragmentador,
200 raspador, coletor-filtrador e predador); refúgio (vida livre, construtores de redes de seda,
201 construtores de refúgio de areia e madeira e construtores de abrigo de folhas);
202 locomoção (escavador, reptante, agarrador e nadador) e respiração (cutícula e brânquias)
203 (Luiza-Andrade et al., 2017; Poff et al., 2006). As características funcionais foram
204 quantificadas tendo como base o banco de dados funcionais de Santos et al., (2024)
205 (Tabela 1; Tabela suplementar 1)

206

207 Tabela 1 Características funcionais de insetos aquáticos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e
208 Trichoptera (EPT) selecionadas para o presente estudo e sua respectiva importância ecológica
209 relacionadas com as hipóteses testadas no nosso estudo.

210

Características funcionais	Traços funcionais	Referências
	Coletor-agarrador	
Grupo funcional alimentar	Fragmentador Coletor-filtrador Raspadores Predador	Castro et al., 2016
Refúgio	Vida livre Construtores de redes de seda Construtores de refúgio de areia e madeira Construtores de abrigo de folhas	Malacarne et al., 2023
Locomoção	Escavador Reptante Agarrador Nadador	Hamada et al., 2014
Respiração	Cutícula Brânquia	Jesus & Monteiro, 2022

211

212

213 *3.7 Análise de dados*

214 Em nosso estudo cada riacho foi considerado uma unidade amostral
215 independente, totalizando 32 amostras. Foi realizada uma seleção das variáveis
216 ambientais (físico-químicas, ITH, variáveis de estrutura de habitats físicos e uso da terra),
217 que pudessem ser relevantes para os grupos estudados. Inicialmente foram retiradas
218 aquelas com frequência de zero em mais que 70% das amostras. A fim de diminuir a
219 multicolinearidade entre as variáveis quantificadas, foi feita uma matriz de correlação
220 de Pearson com todas as variáveis tendo como valor de corte variáveis altamente
221 correlacionadas $|\geq 0,7|$ utilizando como critério de permanência na análise aquelas com
222 maior importância ecológica para os grupos estudados de acordo com a literatura (Juen
223 et al., 2016). Ao final, restaram 18 variáveis ambientais incluindo variáveis físico-

224 químicas, de uso da terra morfologia do canal, substrato, cobertura de dossel, madeira
225 submersa no canal, abrigo, impacto humano (Tabela suplementar 2).

226 Para testar a hipótese (1), de que riachos com a presença do mineroduto têm
227 menor riqueza taxonômica, abundância e diversidade funcional do que riachos sem a
228 presença do mineroduto, foi realizado um Modelo Linear Generalizado Misto (GLMM).
229 Para as métricas de riqueza e abundância utilizou-se a família de distribuição Poisson.
230 Os modelos foram ranqueados de acordo com os valores de *Akaike Information*
231 *Criterion* (AIC) para selecionar o modelo mais parcimonioso. Enquanto para avaliar a
232 diversidade funcional, inicialmente foram gerados os índices de diversidade funcional:
233 riqueza funcional (FRiq), uniformidade funcional (FEve) e divergência funcional (FDiv).
234 Cada um desses componentes da abordagem funcional fornece informações
235 independentes quanto à distribuição dos gêneros no espaço de características funcionais
236 (Mason et al., 2013). O índice de riqueza funcional diz respeito à quantidade de nicho
237 ocupado por espécies numa comunidade (Mason et al., 2005). Esse índice depende não
238 só do tamanho do nicho funcional que as espécies ocupam, mas também da faixa de
239 valores das características funcionais (Zhang et al., 2012), e independe da abundância.
240 Uma baixa riqueza funcional indica que alguns dos recursos disponíveis não estão
241 sendo utilizados pela comunidade. (Mason et al., 2005), e uma maior riqueza funcional
242 indica que mais nichos são preenchidos por táxons (Castro et al., 2018). Já a
243 uniformidade funcional, também chamada regularidade funcional, mede o quão
244 uniforme as espécies estão distribuídas no espaço funcional, com ponderação pela
245 abundância de indivíduos (Zhan et al., 2012).

246 O índice de divergência funcional é calculado utilizando o valor médio das
247 características funcionais para cada uma das espécies de uma comunidade (Mason et al.,
248 2005). Dessa forma, as comunidades com a alta divergência funcional podem aumentar
249 a função ecossistêmica devido ao uso mais eficiente de recursos (Zhan et al., 2012).
250 Após gerados os índices, utilizou-se o GLMM com a família de distribuição beta, na
251 qual é a mais adequada quando as variáveis resposta são de natureza contínua que
252 variam de 0 a 1 (Silva et al., 2022), que é o caso dos índices de diversidade funcional
253 usados nesse estudo. Em ambas as análises, as variáveis de uso da terra e IHH foram
254 utilizadas como variáveis aleatórias afim de controlar um possível efeito dessas
255 variáveis e testar apenas o efeito do mineroduto, tendo como preditores categóricos os
256 riachos com e sem mineroduto. Foi utilizado o modelo global como critério de seleção
257 do modelo.

258 Para testar a hipótese (2), de que as variáveis ambientais e composição de
259 gêneros de EPT são diferentes entre os tratamentos, foi utilizada uma Análise de
260 Componentes Principais (PCA), inicialmente para verificar a variação ambiental das
261 variáveis amostradas, destacando aquelas com valor de explicação >0.600 nos dois
262 primeiros eixos. O método do Broken-stick foi usado para escolher os componentes
263 principais mais significantes. Para verificar se havia diferença das variáveis ambientais
264 entre os tratamentos foi utilizada uma Análise Multivariada de Variância de Permutação
265 (PERMANOVA) com 999 permutações, onde as variáveis ambientais foram
266 padronizadas com o método *standardize* e o cálculo da dissimilaridade foi feito a partir
267 da distância euclidiana. Já para a testar a composição entre os tratamentos, também foi
268 utilizada a PEMANOVA, mas com a matriz de distância de Bray-Curtis, usando dados
269 de abundância.

270 Para testar a hipótese (3), de que as variáveis ambientais influenciam a riqueza
271 taxonômica abundância e nas características funcionais de EPT foram utilizados
272 modelos lineares generalizados (GLM), com a família de distribuição Poisson, para
273 riqueza e abundância como variáveis resposta. Os modelos foram ranqueados conforme
274 os valores de *Akaike Information Criterion* (AIC).

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

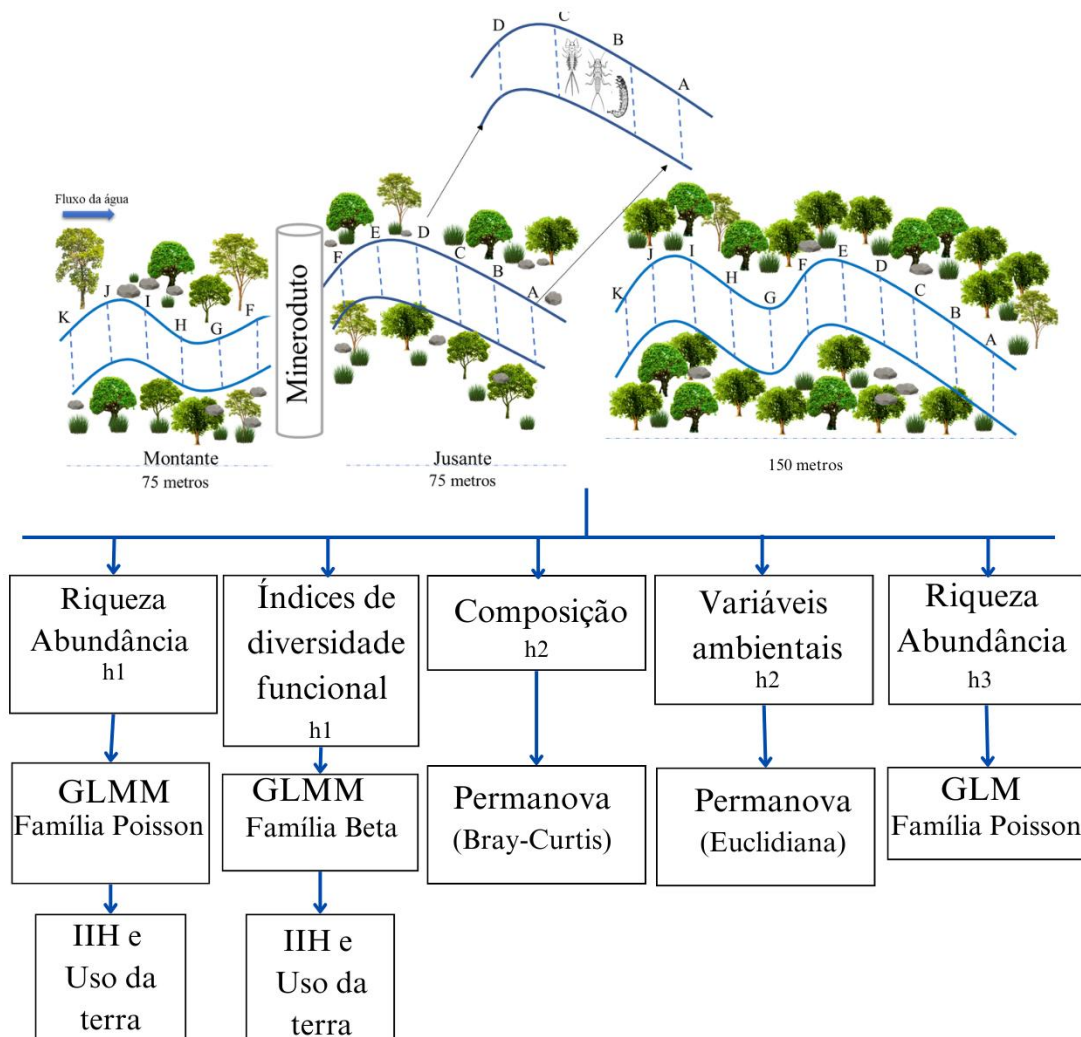
287

288

289

290

291



292

293

294 **Fig. 3** Fluxograma das análises estatísticas realizadas para testar as hipóteses (h1, h2, h3 e h4) propostas
 295 no estudo sobre a influência da presença do mineroduto e da estrada de acesso lateral, na diversidade
 296 taxonômica e funcional de EPT na Amazônia Oriental
 297

298 Todas as análises foram realizadas no programa estatístico R. Para rodar a PCA
 299 foi usada função *prcomp* do pacote *vegan*. A PERMANOVA foi feita usando a função
 300 *adonis* do pacote *vegan*. A significância dos modelos da RLQ foi verificada por meio da
 301 função *fourthcorner* do pacote *ade4* baseada em 9999 repetições. Foram calculados os
 302 índices *Fric*, *Feve* and *Fdis* usando a função *dbFD* do pacote *FD* e o pacote *vegan*,
 303 baseado na dissimilaridade funcional de Gower. O GLMM usou o pacote *glmmTLB*,
 304 *lme4* car e para o GLM o pacote *MASS*.

305

306

307

Resultados

308

309

310

O resultado do GLMM não corroborou com hipótese (1), já que não houve
 diferença na riqueza e abundância de EPT ($R^2=0.04$, $z= -1.112$, $p=0.265$; $R^2=0.02$, $z=-$
 0.819 , $p=0.413$) nos riachos com e sem influência do mineroduto. Os índices de

311 diversidade funcional também não apresentaram diferença entre os tratamentos
 312 estudados: riqueza funcional ($R_2=0.278$, $z= -0.496$, $p=0.620$), uniformidade funcional
 313 ($R_2=0.965$, $z= 0.540$, $p=0.589$) e divergência funcional ($R_2=0.590$, $z= -0.533$, $p=0.594$).

314 A hipótese (2) foi corroborada, onde houve diferença nas variáveis ambientais
 315 entre os riachos com e sem mineroduto (PERMANOVA, Pseudo-F=5.999; DF= 1;
 316 $p<0.01$), bem como houve uma diferença significativa na composição de gêneros nos
 317 tratamentos estudados (PERMANOVA, Pseudo-F=1.720; DF= 1; $p=0.04$). Os
 318 resultados da Análise de Componentes Principais (PCA) representou 48.63% de
 319 explicação da variabilidade total dos dados nos dois primeiros eixos. Os riachos sem
 320 mineroduto demonstraram uma distribuição mais dispersa no gráfico, enquanto que os
 321 riachos associados à presença do mineroduto estão mais agrupados à esquerda do
 322 mesmo. (Fig. 4).

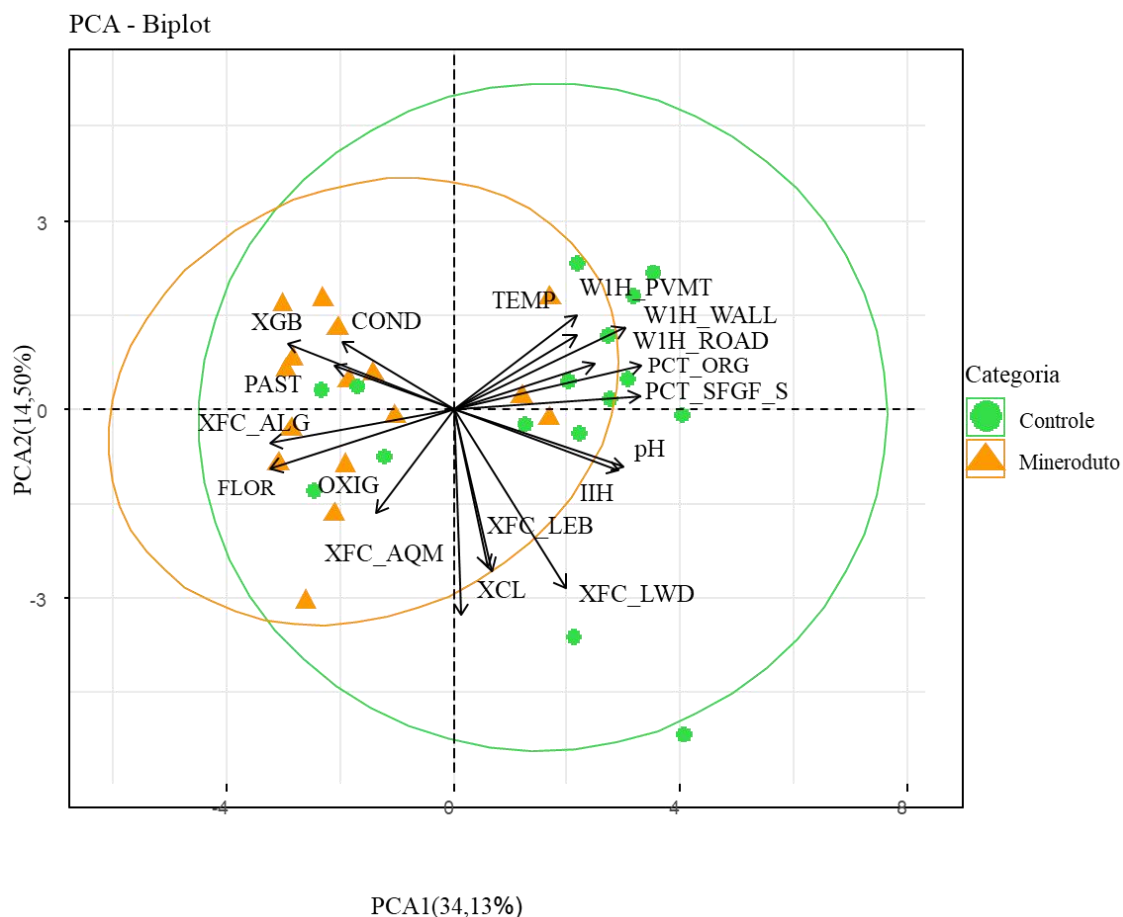


Fig.4 Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis ambientais selecionadas (ver materiais e métodos) nos riachos amostrados. Substrato < 16 mm (%) (PCT_SFGF_S), Matéria Orgânica (%) (PCT_ORG), Dossel Árvores Grandes (XCL), Solo Exposto (XGB), Abrigo - Alga Filamentosa (XFC_ALG C), Abrigo – Macrófita (XFC_AQM), Abrigo - Madeira Grande (XFC_LWD), Abrigo - Banco de Folhas (XFC_LEB), Proximidade Construção (WIH_WALL), Proximidade Estrada (WIH_PVMT) e Proximidade Rodovia (WIH_ROAD), Condutividade elétrica (COND), Oxigênio dissolvido (OXIG), Temperatura da água (TEMP), Índice de Integridade de hábitat (III), Floresta (FLOR) e Pastagem (PAST).

332

333 As variáveis que tiveram maior contribuição no primeiro eixo foram
 334 "Substrato >16 mm" (PCT_SFGE_S) e "Matéria orgânica" (PCT_ORG) relacionando
 335 positivamente, e "Abrigo – Alga filamentosa" (XFC_ALG) e "Floresta" (FLOR) tendo
 336 relação negativa. No segundo eixo, variáveis que mais contribuíram foram "Dossel –
 337 Árvores grandes" (XCL), "Abrigo – Madeira Grande" (XFC_LWD) e "Abrigo –
 338 Macrófita" (XFC_AQM) relacionando negativamente, e "Proximidade Construção"
 339 (W1H_ROAD) e "Temperatura da água" (TEMP) relacionadas positivamente (Tabela 2).
 340

341 Tabela 2 Resultado da Análise de Componentes Principais, mostrando valores de *Broken Stick*,
 342 autovalores e percentual de explicação nos dois primeiros eixos da análise, e a variação ambiental entre os
 343 riachos com e sem mineroduto dos municípios estudados. Os valores em negrito referem-se as variáveis
 344 com maior contribuição para a formação dos eixos (≥ 0.600)

Sigla	Variáveis	Eixo I	Eixo II
PCT_SFGE_S	Substrato < 16 mm	0.783	0.049
PCT_ORG	Matéria Orgânica (%)	0.792	0.164
XCL	Dossel de árvores Grandes	0.034	-0.776
XGB	Solo exposto	-0.695	0.250
XFC_ALG	Alga filamentosa	-0.769	-0.129
XFC_AQM	Abrigo de macrófita	0.159	-0.607
XFC_LWD	Abrigo de madeira grande	0.471	-0.672
XFC_LEB	Abrigo de banco de folhas	0.143	-0.594
W1H_WALL	Proximidade de construção	0.721	0.309
W1H_PVMT	Proximidade de estrada	0.517	0.281
W1H_ROAD	Proximidade de rodovia	0.594	0.171
pH	pH	0.717	-0.219
COND	Condutividade elétrica	-0.468	0.255
OXIG	Oxigênio dissolvido	-0.321	-0.391
TEMP	Temperatura	0.518	0.355
III	Índice de Integridade de hábitat	0.695	-0.232
FLOR	Floresta	-0.766	-0.223
PAST	Pastagem	-0.497	0.166
	Autovalor	6.145	2.610
	Broken Stick	3.495	2.495
	Explicação (%)	34.137	14.501

345

346 *Valores em negrito representam as variáveis com maior contribuição na formação dos eixos.

347

348 Foram coletados um total de 831 indivíduos de EPT, pertencentes a 13 famílias e
 349 29 gêneros. A ordem mais representativa foi Ephemeroptera (n=402) com maior
 350 abundância do gênero *Campylocia* Needham & Murphy (1924) (n=140) e *Miroculis*
 351 Edmunds, 1963 (n=104), seguido da ordem Trichoptera (n=383) com os gêneros
 352 *Leptonema* Guérin (1843) (n=107) e *Macrostemum* Kolenati, 1859 (n=57) sendo os

353 mais abundantes, e a ordem Plecoptera (n=61) com o gênero *Anacroneturia* Klapálek
354 (1909) (n=60) (Tabela suplementar 3).

355 Para a hipótese (3), ao analisarmos se houve influência das variáveis ambientais
356 sobre a riqueza e abundância de EPT, observamos no modelo de GLM, a influência das
357 variáveis: “Solo exposto”, “Abrigo – Madeira Grande” e “pH”, tendo influência positiva
358 e “Abrigo – Macrófita” influência negativa na riqueza de EPT ($R^2= 0.759$; $F_{15,16}=3.364$;
359 $p=0.01$). A abundância de indivíduos foi influenciada positivamente pelas variáveis
360 “Proximidade Estrada” e “pH”, e negativamente pelas variáveis “Matéria Orgânica (%)”,
361 “Abrigo – banco de Folhas” e “Proximidade Construção”, na riqueza de EPT ($R^2=$
362 0.576 ; $F_{16,15}=3.636$; $p=0.01$) (Tabela 3; Tabela suplementar 4).

363 Tabela 3 Variáveis preditoras que influenciaram as variáveis resposta analisadas (Riqueza e Abundância)
364 em comunidades de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera de riachos com e sem a presença de
365 mineroduto do nordeste da Amazônia brasileira.
366

Métrica	Variáveis ambientais	Beta	Std. Error	t value	p value
Riqueza	Solo Exposto	0.178	0.077	2.301	0.035
	Abrigo – Macrófita	-0.238	0.065	-3.642	0.002
	Abrigo - Madeira Grande	0.167	0.063	2.635	0.018
	pH	1.737	0.643	2.700	0.016
Abundância	Matéria Orgânica (%)	-0.498	0.224	-2.226	0.043
	Abrigo - Banco de Folhas	-1.576	0.367	-4.294	0.001
	Construção	-67.351	19.633	-3.431	0.004
	Estrada	78.990	24.792	3.186	0.007
	pH	26.854	7.577	3.544	0.003

367

368 **Discussão**

369

370 Riachos com e sem mineroduto não possuem diferença na riqueza, abundância e
371 na diversidade funcional, apesar de eles terem diferenças nas variáveis ambientais e
372 composição de gêneros. Também encontramos que as variáveis ambientais possuem
373 influência na riqueza e composição de espécies. A primeira hipótese não foi corroborada
374 uma vez que a riqueza e abundância de EPT não diferiram entre os riachos com e sem
375 mineroduto, bem como os índices funcionais não apresentaram diferença. É sabido que
376 o volume de nicho ecológico ocupado pela fauna é influenciado pela adição ou remoção
377 de espécies com características distintas (Villéger et al., 2008). Portanto, é possível que
378 os gêneros que ocupam os nichos disponíveis nesses ambientes possuam características
379 funcionais semelhantes, ou seja, são funcionalmente similares (Luiza-Andrade et al.,
380 2017) e por isso não contribuam para expandir espaço ocupado no nicho e, assim não
381 apresentando diferença nos índices testados (Villéger et al., 2008). Como foi encontrada

382 diferença nas condições ambientais e na composição de gêneros entre os tratamentos, é
383 possível que os gêneros estejam ocupando nichos ecológicos semelhantes ou
384 sobrepostos (Luiza-Andrade., 2023). Por exemplo, o corpo achatado, comumente
385 encontrado em ninfas de Ephemeroptera taxonomicamente diferentes, permite que elas
386 ocupem habitats parecidos em qualquer riacho (Hamada et al., 2014). Castro et al. (2020)
387 demonstraram em seu estudo que, apesar da alta taxa de substituição de espécies,
388 identificada através da métrica de composição taxonômica, o componente de
389 aninhamento se destacou ao avaliar a diversidade funcional. Ou seja, embora haja
390 substituição das espécies, ainda há a manutenção da estrutura funcional das espécies
391 subjacentes, onde as espécies funcionalmente mais semelhantes tendem a ocorrer em
392 locais semelhantes, mesmo com a mudança na composição taxonômica (Castro et al.,
393 2020). Por outro lado, ao contrário de nossos resultados, Espinosa et al. (2023),
394 encontrou diferença entre a diversidade beta funcional entre áreas alteradas pela
395 mineração e áreas conservadas, que por sua vez foi maior em locais alterados. Porém,
396 vale ressaltar que a área estudada pelos autores não foi incorporada o uso de
397 minerodutos para a movimentação dos minérios, podendo estar relacionado com a
398 intensidade do distúrbio nos diferentes locais de estudo

399 Atividades de uso da terra, como a mineração, causam mudanças físicas na
400 estrutura dos ambientes aquáticos (Rivera-Pérez et al., 2023), consequentemente
401 alterando as variáveis e as condições ambientais (Hrovat et al., 2014). Resultados
402 semelhantes foram encontrados em outros estudos que avaliaram o efeito direto ou
403 indireto da mineração (Espinosa et al., 2016; Rivera-Pérez et al., 2023). A “matéria
404 orgânica (%)” e a “temperatura” foram as métricas com maior diferença entre os
405 tratamentos, possivelmente em virtude da alteração da vegetação ripária em algumas
406 áreas, influenciando a quantidade de matéria orgânica que adentra o corpo d’água, e
407 também causando o aumento da temperatura da água (Lima et al., 2022), o que pode
408 favorecer a ocorrência de gêneros tolerantes de EPT (Shimano & Juen, 2016). Tais
409 alterações poderiam explicar a diferença encontrada nas variáveis ambientais entre os
410 riachos com e sem a presença do mineroduto.

411 A composição de gêneros também foi diferente entre os tratamentos,
412 corroborando com diversos estudos em que composição taxonômica se apresenta como
413 uma métrica bastante responsiva para avaliar como as comunidades são afetadas por
414 diferentes usos da terra (Rivera-Pérez et al., 2017; Luiza-Andrade et al., 2017; Brasil et
415 al., 2014). De acordo com o estudo realizado por Monteiro-Júnior et al. (2013), a

416 composição de EPT foi o parâmetro mais eficiente para caracterizar as mudanças no
417 ambiente, alterando a comunidade através da dinâmica colonização-extinção de gêneros.
418 Devido à construção do mineroduto ter ocorrido há aproximadamente 16 anos, é
419 provável que ele tenha atuado como um filtro ambiental antropogênico na comunidade,
420 favorecendo a ocorrência ou ausência de certas espécies no decorrer do tempo. Sendo
421 assim, a substituição de espécies sensíveis por espécies mais tolerantes pode gerar a
422 similaridade de riqueza e abundância entre áreas conservadas e alteradas. Espinosa et al.
423 (2020) trabalhando com a comunidade de Ephemeroptera em áreas influenciadas pela
424 mineração de ferro no Pará encontraram que a substituição de gêneros é maior em
425 riachos preservados do que em riachos influenciados por essa atividade. Além disso,
426 Castro et al. (2018) concluíram que nos ambientes de água doce a substituição de
427 especialistas por generalistas de habitat ocorre como resposta à pressão antrópica de
428 degradação do hábitat e mudanças da cobertura da terra. Portanto, acreditamos que
429 atualmente alguns gêneros possam ter sido substituídos por gêneros com resistência e
430 resiliência, e que por isso as métricas de riqueza e abundância não foram capazes de
431 detectar o efeito do mineroduto.

432 A hipótese de que as variáveis ambientais teriam influência na riqueza,
433 abundância foi corroborada. A riqueza, por exemplo, teve até mesmo uma influência
434 positiva da variável “solo exposto”. Também detectamos uma relação negativa de
435 macrófitas com a riqueza de EPT. Nos riachos amostrados, foi registrado a presença
436 tanto de macrófitas nativas quanto de espécies potencialmente invasoras, exemplificadas
437 pela *Urochloa arrecta* (Hack. ex T. Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga (Fares et al.,
438 2020a). A perda de vegetação ripária, proveniente principalmente de atividades de uso
439 da terra, acarreta a diminuição do sombreamento, favorecendo a entrada de espécies
440 invasoras de macrófitas (Fares et al., 2020). Esta categoria de plantas tem rápido
441 crescimento vegetativo, reduzindo heterogeneidade do substrato, recursos alimentares e
442 concentração de oxigênio, resultando na exclusão de grupos taxonômicos sensíveis,
443 como ninfas de Ephemeroptera, por exemplo (Stiers et al., 2011).

444 Além disso, houve uma relação positiva entre a riqueza de gêneros de EPT e
445 “abrigo - Madeira grande”, que pode estar associado ao uso deste recurso para
446 alimentação da madeira em si, e biofilme agregado, além de auxiliar no refúgio,
447 oviposição, muda, pupação, deriva e emergência por diferentes táxons (Testa et al.,
448 2011). Dessa forma, esse tipo de abrigo aumenta a heterogeneidade do canal, criando
449 micro-habitat com condições ambientais bastante específicas, o que também poderia

450 explicar a maior riqueza nos riachos sem mineroduto. Detectamos uma relação positiva
451 entre o pH e a riqueza e abundância corroborando estudos anteriores (Jonsson et al.,
452 2017), onde a riqueza de táxons e abundância de indivíduos foram relacionados
453 positivamente com maiores valores de pH. Ademais, os insetos da ordem EPT são
454 sensíveis a mudanças físico-químicas da água, tendo baixa tolerância a baixos valores
455 de pH, que normalmente estão associados a riachos impactados (Hepp et al., 2023). É
456 sabido também que os altos valores de pH favorecem a proliferação de microrganismos,
457 promovendo mais recursos para as larvas de Ephemeroptera que possuem essa
458 alimentação (Boyero et al., 2012).

459 Variáveis ambientais relacionadas ao aumento da matéria orgânica e de banco de
460 folhas nos riachos influenciaram de forma negativa a abundância de EPT. Apesar do
461 banco de folhas compor um substrato favorável para a maioria dos insetos aquáticos, o
462 excesso de matéria orgânica pode levar a diminuição de oxigênio disponível na água,
463 que é essencial para muitos gêneros das ordens EPT, favorecendo o estabelecimento de
464 táxons de macroinvertebrados mais tolerantes (Espinosa et al., 2023).

465 Praticamente todos os tipos de mineração fazem uso de estradas, seja para
466 transportar insumos (Azevedo-Santos et al., 2021) ou, no caso do uso do mineroduto, as
467 estradas e pontes facilitam o acesso para realizar a manutenção do duto e facilitar a
468 supervisão da área. Notamos que a abundância de EPT diminuiu com a presença de
469 construções nos locais estudados. Uma possível explicação é que a construção de pontes
470 para acesso ao mineroduto, por exemplo, interfere o fluxo da água, criando um ambiente
471 lântico e desfavorável para os gêneros de Ephemeroptera e Trichoptera, que possuem
472 preferência por ambientes lóticos (Pastuchová et al., 2008). O represamento da água ,
473 tanto a montante quanto a jusante do mineroduto, também leva à submersão permanente
474 das raízes da mata ciliar, que apodrecem e morrem (White et al., 2007), causando
475 abertura do dossel e favorecendo a proliferação de macrófitas (Brejão et al., 2020).
476 Esses fatores isolados ou atuando em sinergia podem explicar a relação negativa
477 encontrada entre a abundância e a presença de construções. Contrariamente ao que
478 esperávamos, houve uma relação positiva entre a abundância e a presença de estradas.
479 Isso pode ser resultado de gêneros mais tolerantes terem tendência a aumentar sua
480 abundância em ambientes favoráveis para si e sem competidores, como é o caso de
481 locais impactados pela presença de estradas e pela supressão florestal (Rivera-Pérez et
482 al., 2023).

483

484 **Conclusão**

485

486 Os resultados deste estudo indicam que as atividades humanas realizadas na
487 região exercem um impacto significativo sobre o ambiente e a comunidade de
488 Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera. As variáveis ambientais diferiram entre os
489 riachos com e sem mineroduto têm o poder exercer influência sobre a riqueza e
490 abundância de EPTs. Apesar da ausência de diferença na riqueza e abundância de EPT
491 entre os tratamentos estudados, é possível que tenha havido uma dinâmica de
492 substituição de espécies, corroborada pela diferença que encontramos na composição
493 taxonômica. A diversidade funcional não capturou o efeito da presença do mineroduto e
494 estradas, possivelmente em virtude da similaridade funcional dos gêneros encontrados.
495 Essas diferenças de respostas ou de sensibilidade em detectar as alterações no hábitat e
496 na paisagem destacam a necessidade de utilizar diferentes métricas de diversidade em
497 estudos ecológicos porque a resposta pode variar de acordo com o distúrbio e a
498 intensidade dele no ambiente e na biota.

499 Sugerimos que estudos futuros devam investigar mais detalhadamente como a
500 dinâmica da comunidade de EPT e os processos de colonização e extinção das espécies
501 podem ser influenciados pelo mineroduto e seus impactos indiretos ao longo do tempo.
502 Estudos futuros devem também considerar o papel das características funcionais dos
503 gêneros na resposta ao impacto do mineroduto, visando uma compreensão mais
504 abrangente na comunidade de EPTs. Essas informações são essenciais para o
505 desenvolvimento de estratégias de manejo eficazes e implementação de medidas de
506 mitigação adequadas que promovam a conservação da biodiversidade em ambientes
507 afetados pela atividade mineradora e outros usos da terra.

508

509

510

511

512

513

514

515

516

517 **Referências**

518

519 Andrade Moreira, F. D. S., G. R. B. Ferreira, L. C. Dias & M. I. Vitorino, 2019.
 520 Variabilidade espaço temporal da precipitação na Cidade de Belém-PA e sua relação
 521 com a incidência de Leptospirose (Variability temporal space of precipitation in the City
 522 of Belém-PA and its relation with the incidence of Leptospirosis). *Revista Brasileira de*
 523 *Geografia Física*, 12(1), 071-080.

524

525 Astudillo, M. R., G. Novelo-Gutiérrez, Vázquez, J. G. García-Franco & A. Ramírez,
 526 2016. Relationships between land cover, riparian vegetation, stream characteristics, and
 527 aquatic insects in cloud forest streams, Mexico. *Hydrobiologia*, 768, 167-181.

528

529 Azevedo-Santos, V. M., M. S. Arcifa, M. F. Brito, A. A. Agostinho, R. M. Hughes, J.
 530 R. Vitule, D. Simberloff, J. D. Olden & F. M. Pelicice, 2021. Negative impacts of
 531 mining on Neotropical freshwater fishes. *Neotropical Ichthyology*, 19.

532

533 Bernardo, C. H. & Y. C. T. Britto, 2016. Comparação da macrofauna aquática em
 534 estação seca e chuvosa em um riacho da APA Tejupá, em Timburi (SP). *Ciência ET*
 535 *Praxis*, 9(17), 37-42. Bilia, C. G., Pinha, G. D., Petsch, D. K., & Takeda, A. M. (2015).
 536 Influência da heterogeneidade ambiental sobre os atributos da comunidade de
 537 Chironomidae em lagoas de inundação neotropicais. *Iheringia. Série Zoologia*, 105, 20-
 538 27Brasil, L. S., A.

538

539 Boyero, L., R.G. Pearson, , D. Dudgeon, , V.Ferreira, M.A. Graça, , M.O. Gessner, , A.
 540 Ramírez, et al., 2012. Global patterns of stream detritivore distribution: implications for
 541 biodiversity loss in changing climates. *Global Ecol. Biogeogr.* 21, 134–141. [http://dx.](http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00673.x)
 542 [doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00673.x](http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00673.x).

543

544 Brasil, L. S., E. L de Lima, Z. A. Spigoloni, D. R. G. Ribeiro-Brasil & L. Juen, 2020.
 545 The habitat integrity index and aquatic insect communities in tropical streams: A meta-
 546 analysis. *Ecological Indicators*, 116, 106495.

547

548 Brasil, L. S., Juen, L. & H. S. Cabette, 2014. The effects of environmental integrity on
 549 the diversity of mayflies, Leptophlebiidae (Ephemeroptera), in tropical streams of the
 550 Brazilian Cerrado. In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol.
 551 50, No. 4, pp. 325-334). EDP Sciences.

552

553 Brejão, G. L., F. B. Teresa, , & P. Gerhard, 2020. When roads cross streams: fish
 554 assemblage responses to fluvial fragmentation in lowland Amazonian
 555 streams. *Neotropical Ichthyology*, 18.

556

557 Castro, D. M. P., S. Dolédec & M. Callisto, 2018. Land cover disturbance homogenizes
 558 aquatic insect functional structure in neotropical savanna streams. *Ecological*
 559 *Indicators*, 84, 573-582.

560

561 Castro, F. S. D., P. G. Da Silva, R. Solar, G. W. Fernandes & F. D. S. Neves, 2020.
 562 Environmental drivers of taxonomic and functional diversity of ant communities in a
 563 tropical mountain. *Insect Conservation and Diversity*, 13(4), 393-403.

564

- 565 Clapcott J. E, K. J., R. G. Collier, E. O. Death , J. S. Goodwin, D. Harding, J. R. Kelly,
566 Leathwick & R. G. Young, 2012. Quantifying relationships between land-use gradients
567 and structural and functional indicators of stream ecological integrity. *Freshw Biol*
568 57:74–90.doi: 10.1111/j.1365-2427.2011.02696.
- 569
570 Connell, J. H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs: high diversity of
571 trees and corals is maintained only in a nonequilibrium state. *Science*, 199(4335), 1302-
572 1310.
- 573
574 Cordeiro, I. M. C. C., L. G. T. R. Vasconcelos, G. Schwartz & F. D. A. Oliveira, 2017.
575 Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias.
- 576 Courtney, L. A. & W. H. Clements, 1998. Effects of acidic pH on benthic
577 macroinvertebrate communities in stream microcosms. *Hydrobiologia*, 379(1-3), 135-
578 145.
- 579
580 Cruz, G. M., A. P. J. Faria & L. Juen, 2022. Patterns and metacommunity structure of
581 aquatic insects (Trichoptera) in Amazonian streams depend on the environmental
582 conditions. *Hydrobiologia*, 849(12), 2831-2843.
- 583
584 Cummins, K. W., R. W. Merritt & P.C. Andrade, 2005. The use of invertebrate
585 functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in
586 south Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 40(1), 69-89.
- 587
588 Dias-Silva, K., A. Luiza-Andrade, R. Guillermo, A. Cordero-Rivera & L. Juen, 2021.
589 Impact of environmental changes on the behavioral diversity of the Odonata (Insecta) in
590 the Amazon. *Scientific Reports*, 11(1), 9742.
- 591
592 Dijkstra, K. D. B., M. T. Monaghan, , & S. U. Pauls, 2014. Freshwater biodiversity and
593 aquatic insect diversification. *Annual review of entomology*, 59, 143-163.
- 594
595 Dolédec, S., D. Chessel, C. J. Ter Braak, , & S. Champely, 1996. Matching species
596 traits to environmental variables: a new three-table ordination method. *Environmental*
597 and Ecological Statistics, 3, 143-166.
- 598
599 Dominguez, E., 2006. *Ephemeroptera of south America* (Vol. 2). Pensoft Publishers.
600 Espinosa, A. C. E., Cunha, E. J., Shimano, Y., Rolim, S., Mioli, L., Juen, L., & Dunck,
601 B. (2023). Functional diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in streams in
602 mining areas located in the Eastern Amazon. *Hydrobiologia*, 850(4), 929-945.
- 603
604 Environmental Systems Research Institute – ESRI, 2014. ArcGIS 10.1. Environmental
605 Systems Research Institute Inc., Redlands, CA, USA.
- 606
607 Fares, A. L. B., L. B. Calvao, , N. R. Torres, , E. S. C. Gurgel, , & T. S. Michelan, 2020.
608 Environmental factors affect macrophyte diversity on Amazonian aquatic ecosystems
609 inserted in an anthropogenic landscape. *Ecological Indicators*, 113, 106231.
- 610
611 Fares, A.L.B; F.A.S. Nonato, ; T.S. Michelan, 2020. New records of the invasive
612 macrophyte, *Urochloa arrecta* extend its range to eastern Brazilian Amazon altered
613 freshwater ecosystems. *Acta Amazonica* 50: 133-137.

- 611 Faria, A. P. J., C. K. S. Paiva, L. B. Calvão, G. M. Cruz, & L. Juen, 2021. Response of
612 aquatic insects to an environmental gradient in Amazonian streams. *Environmental*
613 *Monitoring and Assessment*, 193, 1-12. Feld CK (2013) Response of three lotic
614 assemblages to riparian and catchment-scale land use: Implications for designing
615 catchment monitoring programmes. *Freshw Biol* 58:715–729. doi: 10.1111/fwb.12077.
- 616 Ferreira, V. M. B., J. L. D. C. Souza & M. Moraes, 2020. Estrutura da comunidade de
617 macroinvertebrados bentônicos em diferentes tipos de habitats em um trecho de rio de
618 Mata Atlântica. *Research, Society and Development*, 9(2), 94.
- 619 Ferreira V.R.S, B.O. Resende , R.C. Bastos, J da S. Brito , F.G. Carvalho de, L.B.
620 Calvão, J.M.B. Oliveira-Junior, U.G. Neiss, Ferreira, R.G.N, Juen, L (no prelo).
621 Amazonian Odonata Trait Bank. *Ecology and Evolution*.
622
- 623 Fiepa Federação das Indústrias do Estado do Pará. Hydro Paragominas completa 15
624 anos de operação. Belém, 2022. Disponível em:
625 <https://www.fiepa.org.br/noticia/hydro-paragominas-completa-15-anos-de-operacao#>.
626 Acesso 23 fev. 2024.
627
- 628 Gimenez, B. C., & J. Higuti, 2017. Land use effects on the functional structure of
629 aquatic insect communities in Neotropical streams. *Inland Waters*, 7(3), 305-313.
630
- 631 Gardner, T. A., J. Ferreira, J. Barlow, A.C. Lees, L. Parry, I. C. G. Vieira & J. Zuanon,
632 2013. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological*
633 *Sciences*, 368(1619), 20120166.
634
- 635 Gonçalves Júnior, J. F., R. T. Martins, B.M.P Ottoni & S.R.M Couceiro, 2014. Uma
636 visão sobre a decomposição foliar em sistemas aquáticos brasileiros. *Insetos aquáticos:*
637 *biologia, ecologia e taxonomia*. Manaus: Editora INPA.
- 638 Hamada, N., J. L. Nessimian, R. B. Querino, 2014. *Insetos aquáticos na Amazônia*
639 *brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. Manaus: Editora do INPA, 2014.
640
- 641 Hrovat, M., G. Urbanič, & I. Sivec, 2014. Aquatic insects along environmental
642 gradients in a karst river system: a comparative analysis of EPT larvae assemblage
643 components. *International review of hydrobiology*, 99(3), 222-235.
644
- 645 Jonsson, M., R. M. Burrows, Lidman, J., E. Fältström, H. Laudon, , & R. A. Sponseller.
646 2017. Land use influences macroinvertebrate community composition in boreal
647 headwaters through altered stream conditions. *Ambio*, 46, 311-323.
- 648 Juen, L., E. J. Cunha, F.G. Carvalho, M. C. Ferreira, T. O. Begot, A. Luiza-Andrade, Y.
649 Shimano, H. Leão, P. S. POMPEU & L. F. A. Montag, L. F. A, 2016. Effects of oil palm
650 plantations on the habitat structure and biota of streams in Eastern Amazon. *River*
651 *Research and Applications*, 32(10), 2081-2094.
- 652 Kusin, F. M., M. S. A. Rahman, Z. Madzin, S. Jusop, F. Mohamat-Yusuff & M. Ariffin
653 2017. The occurrence and potential ecological risk assessment of bauxite mine-
654 impacted water and sediments in Kuantan, Pahang, Malaysia. *Environmental Science*
655 *and Pollution Research*, 24, 1306-1321.

- 656 Laliberté, E., P. Legendre, B. Shipley & M.E Laliberté, 2014. Measuring functional
657 diversity from multiple traits, and other tools for functional ecology. *R Package FD*.
- 658 Leal, C. R. O., J. Oliveira Silva, L. Sousa-Souto & F. de Siqueira Neves, F. 2016.
659 Vegetation structure determines insect herbivore diversity in seasonally dry tropical
660 forests. *Journal of Insect Conservation*, 20, 979-988.
- 661 Lima, M., V. C. Firmino, C. K. S. de Paiva, L. Juen & L. S. Brasil, 2022. Land use
662 changes disrupt streams and affect the functional feeding groups of aquatic insects in
663 the Amazon. *Journal of Insect Conservation*, 26(2), 137-148.
- 664 Liu, Z., Z. Li, D. M. Castro, X. Tan, X. Jiang, X. Meng, Y. Ge & Z. Xie, 2021. Effects
665 of different types of land-use on taxonomic and functional diversity of benthic
666 macroinvertebrates in a subtropical river network. *Environmental Science and Pollution
667 Research*, 28, 44339-44353.
- 668
669 Luiza-Andrade, A., L. S. Brasil, N. L. Benone, Y. Shimano, A. P. J., Farias, L. F.
670 Montag, S. Dolédec & Juen, L., 2017. Influence of oil palm monoculture on the
671 taxonomic and functional composition of aquatic insect communities in eastern
672 Brazilian Amazonia. *Ecological indicators*, 82, 478-483 a.
- 673 Luiza-Andrade, A., L. F. D. A. Montag & L. Juen, 2017. Functional diversity in studies
674 of aquatic macroinvertebrates community. *Scientometrics*, 111, 1643-1656 b.
- 675 Luiza-Andrade, L. B. Calvão, K. Dias-Silva, A. P. J. Faria, Y. Shimano, J. M. B.
676 Oliveira-Junior, M. N. Cardoso & L. Juen, 2020. Aquatic insects and their
677 environmental predictors: a scientometric study focused on environmental monitoring in
678 lotic environmental. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(3), 194.
- 679
680 Marques, N. C., Jankowski, K. J., Macedo, M. N., Juen, L., Luiza-Andrade, A., &
681 Deegan, L. A. (2021). Riparian forests buffer the negative effects of cropland on
682 macroinvertebrate diversity in lowland Amazonian streams. *Hydrobiologia*, 848(15),
683 3503-3520.
- 684 Malacarne, T. J., N. R., Machado, & Y. Moretto, 2023. Influence of land use on the
685 structure and functional diversity of aquatic insects in neotropical
686 streams. *Hydrobiologia*, 851(2), 265-280.
- 687
688 Martins, R. T., V. C. de Oliveira & A. K. M. Salcedo, 2014. Uso de insetos aquáticos na
689 avaliação de impactos antrópicos em ecossistemas aquáticos.
- 690 Mason, N. W., D. Mouillot, W. G. Lee, & J. B. Wilson, J. B. 2005. Functional richness,
691 functional evenness and functional divergence: the primary components of functional
692 diversity. *Oikos*, 111(1), 112-118.
- 693
694 Menezes, M. C., Barbosa, C. W. S., da Silva, G., T. V. Cavalcante, & T. V. Almeida,
695 2014. Uso Tradicional da Floresta para a Extração de Madeira por populações
696 tradicionais e desafios para o manejo sustentável. *Estado, Sistemas Produtivos e
697 Populações Tradicionais*, 187.
- 698
699 Monteiro, M. D. A., 2005. Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas
700 implicações para o desenvolvimento regional. *Estudos avançados*, 19, 187-207.

- 701
 702 Monteiro Júnior, C.S., S. R. M. Couceiro, N. Hamada, , & L. Juen, 2013. Effect of
 703 vegetation removal for road building on richness and composition of Odonata
 704 communities in Amazonia, Brazil. *International Journal of Odonatology*, 16(2), 135-144.
- 705 Mendes, T. P., L. L. R. A. B. Amado, Ribeiro, & L. Juen, 2020. Morphological diversity
 706 of Odonata larvae (Insecta) and abiotic variables in oil palm plantation areas in the
 707 Eastern Amazon. *Hydrobiologia*, 847, 161-175.
- 708 Oliveira-Junior, J. M. B., Y. Shimano, T. A Gardner, R. M. Hughes, P. de Marco Júnior
 709 & L. Juen, L. 2015. Neotropical dragonflies (Insecta: O donata) as indicators of
 710 ecological condition of small streams in the eastern A mazon. *Austral Ecology*, 40(6),
 711 733-744.
- 712 Parreira de Castro, D. M., D. Reis de Carvalho, Pompeu, P. D. S., M. Z. Moreira, G.
 713 B.Nardoto, & M. Callisto, 2016. Land use influences niche size and the assimilation of
 714 resources by benthic macroinvertebrates in tropical headwater streams. *PLoS One*, 11(3),
 715 e0150527.
 716
- 717 Paula, F. R., C. G. Leal, R. P. Leitaó, S. F. D. B. Ferraz, P. S. Pompeu, J. A. S. Zuanon, ,
 718 & Hughes, R. M. 2021. The role of secondary riparian forests for conserving fish
 719 assemblages in eastern Amazon streams. *Hydrobiologia*, 1-18.
 720
- 721 Pastuchová, Z., M. Lehotský, & A. Grešková,, 2008. Influence of morphohydraulic
 722 habitat structure on invertebrate communities (Ephemeroptera, Plecoptera and
 723 Trichoptera). *Biologia*, 63, 720-729.
 724
- 725 Peck, D. V., J. M Lazorchak & D. J. Klemm, 2002. *Environmental monitoring and*
 726 *assessment program--surface waters: western pilot study field operations manual for*
 727 *wadeable streams*. National Health and Environmental Effects Research Laboratory
 728 [and] National Exposure Research Laboratory, Office of Research and Development,
 729 US Environmental Protection Agency.
 730
- 731 Pereira-Moura, L., W. S. de Sena, U. G. Neiss, & S. R. M. Couceiro, 2021.
 732 Environmental integrity as a modeler of the composition of the Odonata
 733 community. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1-12.
 734
- 735 Peters, W. L., 1969. Askola froehlichii a new genus and species from southern Brazil
 736 (Leptophlebiidae: Ephemeroptera). *Florida Entomologist*, p. 253-258.
 737
- 738 Peters, W. L., 1971. A revision of the Leptophlebiidae of the West Indies
 739 (Ephemeroptera).
 740
- 741 PCI Geomatics Inc. PCI Geomatica version 10.1., 2007. PCI Geomatics. Richmond Hill,
 742 Ontario - Canadá, CD-ROM
 743
- 744 Poff, N. L., Olden, J. D., Vieira, N. K., Finn, D. S., Simmons, M. P., & Kondratieff, B.
 745 C. (2006). Functional trait niches of North American lotic insects: traits-based
 746 ecological applications in light of phylogenetic relationships. *Journal of the North*
 747 *American Benthological Society*, 25(4), 730-755.
 748

- 749 Resende, B. O., V. R. S. Ferreira, L. S. Brasil, L. B. Calvão, T. P. Mendes, F. G. de
750 Carvalho, C. C. Mendoza-Penagos, R. C. Bastos, J. S. Brito, J. M. B. Oliveira-Junior, K.
751
- 752 Rico-Sánchez, A. E., A. J. Rodríguez-Romero, J. E. Sedeño-Díaz, E. López-López, &
753 A. Sundermann, 2022. Aquatic macroinvertebrate assemblages in rivers influenced by
754 mining activities. *Scientific Reports*, 12(1), 3209.
755
- 756 Rivera-Pérez, J. M., Y. Shimano, A. Luiza-Andrade, N. Silva Pinto, L. G. Dias, K. S.
757 Ferreira, S. Rolim & L. Juen, 2023. Effect of mining on the EPT (Ephemeroptera,
758 Plecoptera and Trichoptera) assemblage of Amazonian streams based on their
759 environmental specificity. *Hydrobiologia*, 850(3), 645-664.
- 760 Rosenfield, M. F., & S. C. Müller, 2020. Ecologia funcional como ferramenta para
761 planejar e monitorar a restauração ecológica de ecossistemas. *Oecologia*
762 *Australis*, 24(3), 550-565.
763
- 764 Russo, M. R., A. Ferreira, & R. M. Dias, 2002. Disponibilidade de invertebrados
765 aquáticos para peixes bentófagos de dois riachos da bacia do rio Iguazu, Estado do
766 Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 24, 411-417.
- 767 Santos, N. B. B., G. M. Cruz, J. S. Monteles, , A. P. J. de Faria, Firmino, V. C., Y.
768 Shimano & Juen, L. 2024. Database of immature stage traits of Ephemeroptera,
769 Plecoptera, and Trichoptera (EPT) genera for the Amazon. *Aquatic Sciences*, 86(2), 35.
- 770 Silva, F. R., T. Gonçalves-Silva, G. B. Paterno, D. B. Provete, M. H. Vancine, 2022.
771 Análises ecológicas no R. Recife, PE: Nupeea; São Paulo: Canal 6.
- 772 Siqueira-Gay, J., L. J. Sonter, & L. E. Sánchez, 2020. Exploring potential impacts of
773 mining on forest loss and fragmentation within a biodiverse region of Brazil's
774 northeastern Amazon. *Resources Policy*, 67, 101662.
- 775 Shimano, Y., & L. Juen, 2016. How oil palm cultivation is affecting mayfly
776 assemblages in Amazon streams. In *Annales de Limnologie-International Journal of*
777 *Limnology* (Vol. 52, pp. 35-45). EDP Sciences.
- 778 Shimano, Y., M. Cardoso, & L. Juen, L., 2018. Ecological studies of mayflies (Insecta,
779 Ephemeroptera): Can sampling effort be reduced without losing essential taxonomic and
780 ecological information?. *Acta Amazonica*, 48, 137-145.
- 781 Stiers, I., Crohain, N., G. Josens, & L. Triest, 2011. Impact of three aquatic invasive
782 species on native plants and macroinvertebrates in temperate ponds. *Biological*
783 *Invasions*, 13, 2715-2726.
- 784 Strahler, A. N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos*,
785 *Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913-920.
786
- 787 Suter, G. W. & S. M. Cormier, 2015. Why care about aquatic insects: Uses, benefits, and
788 services. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 11(2), 188-194.
789
- 790 Testa, I. S., Jr, F. Douglas Shields, & C. M. Cooper, 2011. Macroinvertebrate response
791 to stream restoration by large wood addition. *Ecohydrology*, 4(5), 631-643.

- 792
793 Theel, H. J., E. D. Dibble & J. D. Madsen, 2008. Differential influence of a monotypic
794 and diverse native aquatic plant bed on a macroinvertebrate assemblage; an
795 experimental implication of exotic plant induced habitat. *Hydrobiologia*, 600, 77-87.
796
- 797 Vale, P., 2008. Geology, mining operation and scheduling of the Paragominas bauxite
798 mine. In *Proceedings of the 8th International Alumina Quality Workshop* (p. 11).
799
- 800 Villéger, S., N. W. Mason & D. Mouillot, 2008. New multidimensional functional
801 diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*, 89(8),
802 2290-2301.
- 803 Violle, C., M. L. Navas, D. Vile, E. Kazakou, C. Fortunel, I. Hummel & E. Garnier,
804 2007. Let the concept of trait be functional!. *Oikos*, 116(5), 882-892.
- 805 Wang L., J. Lyons, P. Kanehi, R. Bannerman, E. Emmons, 2000 Watershed Urbanization
806 and Changes in Fish Communities in Southeastern Wisconsin Streams. *J Am Water*
807 *Resour Assoc* 36:1173– 1189.doi: 10.1111/j.1752-1688.2000.tb05719
- 808 White, T. C. R., 2007. Flooded forests: death by drowning, not herbivory. *Journal of*
809 *Vegetation Science*, 18(1), 147-148.
- 810 Wilson, R. J., & R. Fox, 2021. Insect responses to global change offer signposts for
811 biodiversity and conservation. *Ecological Entomology*, 46(4), 699-717.
812
- 813 Yoshimura, M., 2012. Effects of forest disturbances on aquatic insect assemblages.
814 *Entomological Science*, 15(2), 145-154.
815
816

818 **Apêndices**

819 Tabela suplementar 1. Características funcionais de insetos aquáticos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) selecionadas
 820 para o presente estudo com os respectivos valores em *Fuzzy* com base no banco de dados funcionais de Santos et al., (2024).

Genus	Respiração		Locomoção				Grupo alimentar Funcional				Refúgio		
	SK	BH	BW	SW	CLG	SWM	SH	SC	CF	FL	SB	SRB	LB
<i>Anacroneuria</i>	0,00	1,00	0,00	0,50	0,33	0,17	0,20	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Apobaetis</i>	0,00	1,00	0,00	0,29	0,29	0,43	0,33	0,50	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Askola</i>	0,00	1,00	0,24	0,38	0,08	0,30	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Aturbina</i>	0,00	1,00	0,00	0,29	0,29	0,43	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Baetodes</i>	0,00	1,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Caenis</i>	0,00	1,00	0,29	0,43	0,29	0,00	0,00	0,40	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Callibaetis</i>	0,00	1,00	0,00	0,00	0,40	0,60	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Campsurus</i>	0,00	1,00	0,75	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Campylocia</i>	0,00	1,00	0,43	0,29	0,29	0,00	0,33	0,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cloeodes</i>	0,00	1,00	0,00	0,43	0,29	0,29	0,00	0,60	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Coryphorus</i>	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Enderleina</i>	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00

<i>Farrodes</i>	0,00	1,00	0,00	0,29	0,29	0,43	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
<i>Hagenulopsis</i>	0,00	1,00	0,67	0,33	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Helicopsyche</i>	0,00	1,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,25	0,75	0,00
<i>Leptonema</i>	0,00	1,00	0,00	0,33	0,50	0,17	0,20	0,00	0,60	0,00	1,00	0,00	0,00
<i>Macrogynoplax</i>	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Macronema</i>	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00
<i>Macrostemum</i>	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,13	0,00	0,73	0,00	0,50	0,50	0,00
<i>Miroculis</i>	0,00	1,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nectopsyche</i>	0,00	1,00	0,00	0,50	0,33	0,00	0,43	0,29	0,00	0,00	0,00	0,75	0,25
<i>Neotrichia</i>	1,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
<i>Oecetis</i>	0,00	1,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
<i>Phylloicus</i>	0,00	1,00	0,00	0,75	0,25	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
<i>Polyplectropus</i>	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,07	0,00	0,40	0,00	1,00	0,00	0,00
<i>Simothraulopsis</i>	0,00	1,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,60	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Smicridea</i>	0,00	1,00	0,00	0,33	0,50	0,17	0,20	0,00	0,60	0,00	1,00	0,00	0,00
<i>Triplectides</i>	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
<i>Ulmeritoides</i>	0,00	1,00	0,24	0,38	0,08	0,30	0,04	0,54	0,01	1,00	0,00	0,00	0,00
<i>Zelusia</i>	0,00	1,00	0,00	0,38	0,25	0,38	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00

822

823 Tabela suplementar 2. Variáveis ambientais selecionadas para o estudo após as etapas de
 824 seleção (ver em Análise de dados) dos riachos com e sem mineroduto.

Variáveis	Controle		Mineroduto	
	Média	SD	Média	SD
Substrato < 16 mm	28.351	25.812	6.012	17.085
Matéria Orgânica (%)	35.766	27.763	10.833	26.852
Dossel de árvores				
Grandes	5.568	2.116	5.028	2.624
Solo exposto	5.291	4.398	11.811	8.435
Alga filamentosa	1.705	3.160	4.091	3.042
Abrigo de macrófita	9.332	10.438	5.653	3.145
Abrigo de madeira grande	11.037	10.351	6.207	8.401
Abrigo de banco de folhas	20.568	12.263	19.304	5.710
Proximidade de construção	0.300	0.301	0.045	0.099
Proximidade de estrada	0.131	0.227	0.072	0.151
Proximidade de rodovia	0.261	0.321	0.002	0.008
pH	5.445	1.104	4.716	0.491
Condutividade elétrica	12.375	8.803	17.642	3.702
Oxigênio dissolvido	4.523	1.502	12.427	17.802
Temperatura	26.391	0.780	25.734	0.706
Índice de Integridade de hábitat	0.606	0.054	0.487	0.073
Floresta	0.237	0.379	0.487	0.396
Pastagem	0.023	0.038	0.134	0.170

825

826

827

828

829

830

831

832

833

834

835

836

837

838

839

840 Tabela suplementar 3. Abundância de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera
 841 coletados em 16 riachos com a presença do mineroduto (C/M) e 16 riachos sem a
 842 presença do mineroduto (S/M).
 843

Ordem	Família	Gênero	C/M	S/M
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Apobaetis</i> Day, 1955	1	0
		<i>Callibaetis</i>	6	1
		<i>Cloeodes</i> Traver, 1938	1	1
		<i>Harpagobaetis</i> Mol, 1986	1	0
		<i>Zelusia</i> Lugo-Ortiz & McCaferty, 1998	7	0
	Caenidae	<i>Caenis</i> Stephens, 1835	2	0
	Coryphoridae	<i>Coryphorus</i> Peters, 1981	1	1
	Eutyplociidae	<i>Campylocia</i> Needham & Murphy, 1924	74	66
	Leptophlebiidae	<i>Askola</i> Peters, 1969	0	3
		<i>Farrodes</i> Peters, 1971	29	3
<i>Hagenulopsis</i> Ulmer, 1920		0	2	
<i>Miroculis</i> Edmunds, 1963		51	53	
<i>Simothraulopsis</i> Demoulin, 1966		55	8	
<i>Ulmeritoides</i> Traver, 1959		25	63	
Polymitarciidae	<i>Campsurus</i> Eaton, 1868	5	4	
	<i>Anacroneuria</i> Klapálek, 1909	37	23	
	Perlidae	<i>Enderleina</i> Jewett, 1960	0	1
		Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i> Mueller, 1880	16
	Leptoceridae	<i>Nectopsyche</i> Mueller, 1879	1	0
<i>Oecetis</i> McLachlan, 1877		4	0	
<i>Triplectides</i> Kolenati, 1859		25	3	
Hydroptilidae		<i>Neotrichia</i> Morton 1905	3	8
	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i> von Siebold, 1856	1	0
Hydropsychidae		<i>Leptonema</i> Guerin-Meneville, 1843	80	27
	<i>Macronema</i> Pictet, 1836	27	5	
	<i>Macrostemum</i> Kolenati 1859	24	33	
	<i>Smicridea</i> McLachlan, 1871	4	36	
Polycentropodidae	<i>Polyplectropus</i> Ulmer, 1905	0	1	
13			478	350

845 Tabela suplementar 4. Relações lineares entre a abundância e riqueza de Ephemeroptera,
 846 Plecoptera e Trichoptera (EPT) e as variáveis ambientais mensuradas no nordeste da
 847 Amazônia.

		Estimate	Std. Error	t value	P value
Abundância de EPT R ² =	(Intercept)	337.005	1.612.936	0.209	0.83800
	Tipo de riacho	-102.473	106.474	-0.962	0.35483
	Substrato < 16 mm	0.2619	0.2400	1.091	0.29670
	Matéria Orgânica (%)	-0.4012	0.2409	-1.665	0.12171
	Dossel de árvores Grandes	14.969	21.995	0.681	0.50905
	Solo exposto	0.4702	0.6702	0.702	0.49631
	Alga filamentosa	27.389	18.471	1.483	0.16390
	Abrigo de macrófita	-0.8487	0.5310	-1.598	0.13597
	Abrigo de madeira grande	0.2965	0.5265	0.563	0.58368
	Abrigo de banco de folhas	-15.885	0.4200	-3.782	0.00261
	Proximidade de construção	-745.533	215.661	-3.457	0.00474
	Proximidade de estrada	790.833	252.942	3.127	0.00875
	Proximidade de rodovia	-114.224	176.111	-0.649	0.52882
	pH	275.251	80.024	3.440	0.00490
	Condutividade elétrica	0.9493	0.7696	1.234	0.24097
	Oxigênio dissolvido	-0.3419	0.3256	-1.050	0.31437
	Temperatura	-78.246	52.877	-1.480	0.16470
	Índice de Integridade de hábitat	1.417.800	652.649	2.172	0.05058
	Floresta	62.688	134.768	0.465	0.65015
	Pastagem	-365.338	327.589	-1.115	0.28659
Riqueza de EPT R ² =	Intercept	1.938.921	2.051.434	-0.945	0.36322
	Tipo de riacho	-150.857	135.420	-1.114	0.28710
	Substrato < 16 mm	0.04916	0.03053	1.610	0.13332
	Matéria Orgânica (%)	-0.04117	0.03064	-1.344	0.20392
	Dossel de árvores Grandes	-0.16133	0.27974	-0.577	0.57479
	Solo exposto	0.15518	0.08524	1.820	0.09371
	Alga filamentosa	0.09973	0.23492	0.425	0.67869
	Abrigo de macrófita	-0.25950	0.06754	-3.842	0.00234
	Abrigo de madeira grande	0.14944	0.06696	2.232	0.04547
	Abrigo de banco de folhas	-0.06765	0.05342	-1.266	0.22940
	Proximidade de construção	-597.265	274.291	-2.177	0.05012
	Proximidade de estrada	268.828	321.707	0.836	0.41969
	Proximidade de rodovia	-389.460	223.989	-1.739	0.10764
	pH	287.565	101.780	2.825	0.01531
	Condutividade elétrica	0.11846	0.09788	1.210	0.24948
Oxigênio dissolvido	-0.01225	0.04142	-0.296	0.77251	
Temperatura	0.20133	0.67252	0.299	0.76978	

Índice de Integridade de hábitat	1.242.581	830.080	1.497	0.16024
Floresta	131.991	171.406	0.770	0.45616
Pastagem	-435.798	416.648	-1.046	0.31619

848

849

850

851

852

853

854

855

856

857

858

859

860

861

862

863

864

865

866

867

868

869

870

871

872

873

874

875

876

877

878

879

880

881

882

883

884 **Anexos**

885

886 Anexo 1. Índice de Integridade de Habitat (IIH).

887 Local: _____

888 Data: ____/____/____ Hora ____:____

889 Localidade: _____ Coordenadas: _____

890

891 1) Padrão de Uso da Terra além da zona de vegetação ribeirinha

892 0 Cultivos Agrícolas de ciclo curto.

893 1. Pasto.

894 2. Cultivos Agrícolas de ciclo longo.

895 3. Capoeira.

896 4. Floresta Contínua.

897 2) Largura da Mata Ciliar

898 0 Vegetação arbustiva ciliar ausente.

899 1. Mata ciliar ausente com alguma vegetação arbustiva.

900 2. Mata ciliar bem definida de 1 a 5 m de largura.

901 3. Mata ciliar bem definida entre 5 e 30 m de largura.

902 4. Mata ciliar bem definida com mais de 30 m.

903 5. Continuidade da mata ciliar com a floresta adjacente.

904 3) Estado de preservação da Mata Ciliar

905 0 Cicatrizes profundas com barrancos ao longo do seu comprimento.

906 1. Quebra frequente com algumas cicatrizes e barrancos.

907 2. Quebra ocorrendo em intervalos maiores que 50 m.

908 3. Mata Ciliar intacta sem quebras de continuidade.

909 4) Estado da Mata ciliar dentro de uma faixa de 10 m

910 0 Vegetação constituída de grama e poucos arbustos.

911 1. Mescla de grama com algumas árvores pioneiras e arbustos.

912 2. Espécies pioneiras mescladas com árvores maduras.

913 3. Mais de 90% da densidade é constituída de árvores não pioneiras ou

914 nativas.

915 5) Dispositivos de retenção

916 0 Canal livre com poucos dispositivos de retenção.

917 1. Dispositivo de retenção solto movendo-se com o fluxo.

918 2. Rochas e/ou troncos presentes mas, preenchidas com sedimento.

919 3. Canal com rochas e/ou troncos firmemente colocadas no local.

920 6) Sedimentos no canal

921 0 Canal dividido em tranças ou rio canalizado.

922 1. Barreira de sedimento e pedras, areia e silte comuns.

923 2. Algumas barreiras de cascalho e pedra bruta e pouco silte.

924 3. Pouco ou nenhum alargamento resultante de acúmulo de sedimento.

925 7) Estrutura do barranco do rio

926 0 Barranco instável com solo e areia soltos, facilmente perturbável.

927 1. Barranco com solo livre e uma camada esparsa de grama e arbustos.

928 2. Barranco firme, coberto por grama e arbustos.

929 3. Barranco estável de rochas e/ou solo firme, coberto de grama, arbustos

930 e raízes.

931 4. Ausência de barrancos.

932 8) Escavação sob o barranco

933 0 Escavações severas ao longo do canal, com queda de barrancos.

934 1. Escavações frequentes.

935 2. Escavações apenas nas curvas e constrições.

936 3. Pouca ou nenhuma evidência, ou restrita a áreas de suporte de raízes.

937 9) Leito do rio

- 938 0 Fundo uniforme de silte e areia livres, substrato de pedra ausente.
939 1. Fundo de silte, cascalho e areia em locais estáveis.
940 2. Fundo de pedra facilmente móvel, com pouco silte.
941 3. Fundo de pedras de vários tamanhos, agrupadas, com interstício óbvio.
942 10) Áreas de corredeiras e poções ou meandros
943 0 Meandros e áreas de corredeiras/poções ausentes ou rio canalizado.
944 1. Longos poções separando curtas áreas de corredeiras, meandros
945 ausentes.
946 2. Espaçamento irregular.
947 3. Distintas, ocorrendo em intervalos de 5 a 7 vezes a largura do rio.
948 11) Vegetação Aquática
949 0 Algas emaranhadas no fundo, plantas vasculares dominam o canal.
950 1. Emaranhados de algas, algumas plantas vasculares e poucos musgos.
951 2. Algas dominantes nos poções, plantas vasculares semi-aquáticas ou
952 aquáticas ao longo da margem.
953 3. Quando presente consiste de musgos e manchas de algas.
954 12) Detritos
955 0 Sedimento fino anaeróbio, nenhum detrito bruto.
956 1. Nenhuma folha ou madeira, matéria orgânica bruta e fina com
957 sedimento.
958 2. Pouca folha e madeira, detritos orgânicos finos, floculentos, sem
959 sedimento.
960 3. Principalmente folhas e material lenhoso com sedimento.
961 4. Principalmente folhas e material lenhoso sem sedimento.
962
963