

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**

**GABRIELLY SILVA MELO**

**Efeito do mineroduto de bauxita sobre a comunidade de larvas de Odonata  
(Insecta) em igarapés na Amazônia Oriental**

Belém/PA  
2024

GABRIELLY SILVA MELO

**Efeito do mineroduto de bauxita sobre a comunidade de larvas de Odonata  
(Insecta) em Igarapés na 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 obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Área de concentração: Ecologia.

Linha de Pesquisa: Ecologia de Comunidades e Ecossistemas

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Yulie Shimano Feitoza**

**Coorientador: Prof. Dr. Leandro Juen**

Belém/PA

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)**

---

M528e Melo, Gabrielly Silva.  
Efeito do mineroduto de bauxita sobre a comunidade de larvas  
de Odonata (Insecta) em igarapés na Amazônia Oriental / Gabrielly  
Silva Melo. — 2024.  
37 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>ª</sup>. Dra. Yulie Shimano Feitoza  
Coorientador(a): Prof. Dr. Leandro Juen  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em  
Ecologia, Belém, 2024.

1. bauxita, imaturos, mineração, Anisoptera, Zygoptera,  
alumínio. I. Título.

CDD 595.7

---

GABRIELLY SILVA MELO

**Efeito do mineroduto de bauxita sobre a comunidade de larvas de Odonata  
(Insecta) em Igarapés na 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 obtenção do título de Mestre em Ecologia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

**COMISSÃO JULGADORA**

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Yulie Shimano Feitoza

Instituto Nacional de Pesquisa do Pantanal (Presidente)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lenize Batista Calvão Santos

Universidade Federal do Pará

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Karina Dias da Silva

Universidade Federal do Pará

Prof Dr. Leandro Schlemmer Brasil

Universidade Federal de Mato Grosso (Suplente)

Aprovada em: 30 de janeiro de 2024.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a UFPA e ao PPGEÇO por todo o suporte e estrutura que permitiram o desenvolvimento do meu trabalho e contribuição na minha formação acadêmica. A CNPq (processo 304710/2019-9) ao financiamento da bolsa para conclusão do mestrado. A empresa Hydro Paragominas (processo 20/19) pelo apoio e financiamento ao projeto e ter disponibilizado o local para realização da pesquisa.

Agradeço a minha orientada Yulie Shimano, que mesmo longe, me proporcionou todo o suporte e apoio. Obrigada pela confiança no meu trabalho, e por ter me ajudado na produção de um trabalho lindo.

Agradeço ao meu coorientador, Leandro Juen, faltam palavras para agradecer por todo o apoio, ajuda e ensinamentos que o senhor me proporcionou ao longo do mestrado. Por todas as vezes que o senhor conversava comigo, e me incentivava a ser menos tímida e falava para eu acreditar no meu potencial.

Agradecer aos membros da banca Lenize Santos, Karina Dias e Leandro Brasil, por disponibilizarem seu tempo para contribuir com meu trabalho.

Ao pessoal do Laboratório de Ecologia e Conservação – LABECO, por todo o companheirismo, e pelo acolhimento. Pela ajuda nas coletas em campo, pelos momentos de descontração e risadas. Obrigada Antonio, Izabella, Fábio, Silvia, Thaiz, Josi, Dayanne, Erlane, Fernando.

Agradeço ao grupo dinâmico que o mestrado me proporcionou, as minhas amigas, entramos juntas e desde sempre, trabalhamos juntas em disciplinas, campos e na dissertação. Apoiamos uma as outras para todas chegarmos no final do mestrado.

Ana Beatriz Alencastre, uma amizade que mesmo a distância continua a mesma, obrigada amiga, por me ouvir, pelos conselhos e palavras de acolhimento.

Beatriz Luz, uma amiga que o campo me proporcionou, que me apresentou a cultura de Belém. Obrigada amiga, por me ajudar e me incentivar em momentos que parecia que nada daria certo. E nunca deixar o R studio nos vencer.

Emmy Medina, uma amiga incrível, obrigada por me ouvir e me aconselhar em momentos que me sentia insegura. Pela ajuda na dissertação e me mostrar a importância do meu trabalho. Obrigada pelas conversas e risadas, e por me deixar participar da sua vida e pela sua amizade.

Ingrid Reis, ainda lembro quando me mandou mensagem falando sobre o mestrado, naquele dia eu nem imaginava na pessoa especial que você se tornaria para mim. Só tenho a agradecer a pessoa incrível que você é, atenciosa, amorosa, sempre cuidando das pessoas. Obrigada por todo carinho e cuidado.

Obrigada por todas as memórias e momentos que vivi com vocês.

Agradeço ao Juan Mateo pela ajuda nas análises que mesmo ocupado e cheio de coisas, arrumava um tempo para conversar e tentar me ensinar um pouco de análise estatística, sempre muito paciente comigo, aprendi muito com você. Você é incrível! E um ótimo dançarino.

Um agradecimento especial a Bethânia Resende, além de ter me acolhido em 2018, me apresentou um mundo lindo dos insetos, principalmente das libélulas, me ensinou tudo que sei hoje de identificação (mesmo eu sendo um pouco rebelde). Tivemos muitas fases, colegas de laboratório, professora, orientadora, moramos juntas e amigas. Obrigada por acompanhar meu crescimento.

Agradeço ao Victor Rennan, por toda ajuda em campo, na dissertação e na escrita do projeto pro doutorado.

Agradeço a Luísa Victória, Ana Julia e Francisco Maciel pela companhia no laboratório, risadas e conservas.

Gostaria de agradecer a minha família, minha mãe Selma Lúcia e meu pai Valdivino Honório, por acreditar e confiar em mim. Quando disse que queria estudar em Belém, mesmo sabendo da distância e dos custos, me apoiaram e vibraram comigo. Mesmo não entendendo muito das minhas pesquisas, fazem questão de acompanhar e assistir cada apresentação do meu projeto. A minha irmã Ana Carolliny, mesmo eu sendo mais velha, ela sempre foi mais sensata, vendo potencial em mim. Amo vocês.

Agradeço ao Carlos Daniel, Carla Heloisa e Renilson Locatelli, amigos que fiz ao longo da vida que mesmo longe ficam feliz pelo meu crescimento acadêmico.

Agradecer a Deus, por ter cuidado de mim nesse período, por ter colocado essas pessoas na minha vida, sem elas nada seria possível.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram com este trabalho, mas não foram citados acima.

“And the dragonfly in light  
Burnished armor shinning bright,  
Came tilting down the river  
In a wild bewildered flight”.

James Whitcomb Riley

# **Efeito do mineroduto de bauxita sobre a comunidade de larvas de Odonata (Insecta) em igarapés na Amazônia Oriental**

## **RESUMO**

O aumento das atividades antrópicas tem ocasionado alterações significativas na superfície terrestre, resultando na fragmentação de habitat. Esse fenômeno não afeta apenas os ecossistemas terrestres, mas também incide sobre os corpos d'água, promovendo mudanças na estrutura física dos riachos devido à remoção da mata ciliar, assoreamento e erosões das margens. A região Amazônica, conhecida por sua rica biodiversidade, enfrenta intensa exploração dos recursos minerais, com destaque a bauxita, cuja extração e transporte é facilitada por sistemas de dutos, os minerodutos. A implantação de minerodutos podem promover alterações na dinâmica e na biodiversidade dos organismos aquáticos mais sensíveis, como os insetos da ordem Odonata. Diante disso, o estudo buscou avaliar se a estrutura do mineroduto afeta as condições ambientais e a comunidade de larvas de Anisoptera e Zygoptera em riachos amazônicos. Foram amostradas 432 larvas de Odonata e mensuradas 17 métricas ambientais em 36 riachos, dos quais 16 utilizados como controles e 20 que eram cortados pelo mineroduto, situados no nordeste da Amazônia brasileira. Os resultados indicam que o mineroduto afeta as características ambientais, como o fluxo e maior quantidade de madeira no leito à montante, a abundância de Anisoptera também foi impactada, mostrando maior abundância no trecho a montante. A comparação entre riachos controle e com mineroduto revelou que a riqueza e abundância de Anisoptera e Zygoptera não diferiram entre os tratamentos, e a composição de Zygoptera mostraram-se similares em riachos com mineroduto. Porém, a composição de Anisoptera foi afetada pelas variáveis ambientais entre os tratamentos. Embora os principais impactos identificados na área de estudo não sejam exclusivamente relacionados à presença do mineroduto, destacamos a influência de pontes e a canalização do fluxo da água. Destacamos a necessidade de avaliações mais aprofundadas para compreender de maneira abrangente os impactos do mineroduto no ambiente, considerando não apenas sua presença, mas também todas as outras modificações estruturais associadas à sua presença, como pontes e canalizações. Sendo assim, inferimos que a avaliação do impacto gerado pelo mineroduto foi mais perceptível quando avaliado através das variáveis ambientais e não só pela presença ou ausência do mesmo.

**Palavras-chave:** bauxita, imaturos, mineração, Anisoptera, Zygoptera, alumínio.



# **Effect of Bauxite Slurry Pipeline on the Larval Odonata (Insecta) Community in Streams of Eastern Amazon**

## ***ABSTRACT***

The increase in anthropogenic activities has led to significant alterations in the Earth's surface, resulting in habitat fragmentation. This phenomenon affects not only terrestrial ecosystems but also impacts water bodies, causing changes in the physical structure of streams due to the removal of riparian vegetation, sedimentation, and erosion of banks. The Amazon region, renowned for its rich biodiversity, faces intense exploitation of mineral resources, particularly bauxite, whose extraction and transportation are facilitated by pipeline systems known as slurry pipelines. The implementation of these pipelines may induce changes in the dynamics and biodiversity of sensitive aquatic organisms, such as Odonata insects. In light of this, the study aimed to assess whether the structure of the slurry pipeline affects environmental conditions and the community of Anisoptera and Zygoptera in Amazonian streams. We collected a total of 432 Odonata larvae, and 17 environmental metrics were measured across 36 streams, including 16 designated as controls and 20 intersected by the slurry pipeline, located in the northeastern Brazilian Amazon. Results indicate that the pipeline influences environmental parameters, such as increased flow and greater wood quantity in the upstream. The abundance of Anisoptera was also impacted, showing higher abundance in the upstream section. Comparisons between control streams and pipeline stream, revealed no significant differences in the richness and abundance of Anisoptera and Zygoptera. Additionally, the composition of Zygoptera remained similar in streams with the pipeline. However, the composition of Anisoptera was influenced by environmental variables between the treatments. Although the identified main impacts in the study area are not exclusively related to the presence of the pipeline, we emphasize the influence of bridges and water flow channelization. It is crucial to conduct more in-depth assessments to comprehensively understand the impacts of the pipeline on the environment, considering not only its presence but also all other associated structural modifications, such as bridges and channelizations. Thus, we infer that the assessment of the impact generated by the pipeline was more noticeable when evaluated through environmental variables rather than solely its presence or absence.

**Keywords:** bauxite, immatures, mining, Anisoptera, Zygoptera, aluminum.

# SUMÁRIO

1. Introdução.....	11
2. Material e métodos.....	14
2.1 Área de estudo.....	14
2.2 Amostragem biológica e variáveis abióticas.....	16
2.3 Índice de Integridade do Habitat (IIH) e protocolo de Peck .....	18
2.4 Análise de dados .....	19
3. Resultados .....	22
3.1 Montante e Jusante.....	23
3.2 Riachos com mineroduto e controle .....	25
4. Discussão .....	26
4.1 Montante e jusante.....	26
4.2 Controle e mineroduto .....	27
5. Conclusão .....	29
6. Referências .....	30

## 1. Introdução

O uso intensivo da terra para atividades antrópicas tem gerado significativas transformações na superfície terrestre, geralmente resultando em consequências negativas para a biodiversidade (Leadley et al., 2022; Gardner et al., 2013). Embora as práticas de uso da terra variem em tipos, frequência e intensidade em escala global, seu objetivo comum é a exploração de recursos naturais para atender às necessidades humanas imediatas, frequentemente acarretando custos ambientais substanciais (Leadley et al., 2022; Foley et al., 2005). As principais consequências dessas modificações incluem a redução e/ou fragmentação dos habitats naturais. Essas alterações predominantemente ocorridas em ambientes terrestres, têm impactos nos ambientes aquáticos, em virtude de sua estreita interdependência com os sistemas terrestres adjacentes na bacia de drenagem. Essas alterações se refletem nos corpos d'água principalmente através de mudanças na estrutura física dos riachos, resultantes da remoção da mata ciliar, assoreamento e erosões das margens, transição de riachos lóticos para semi-lênticos, culminando em mudanças na qualidade de água (e.g., aumento da turbidez, temperatura da água) e na biodiversidade (Callisto et al., 2019). A retirada da mata ciliar e da cobertura do dossel afetam a sobrevivência da biodiversidade aquática, devido ao seu papel de proteção, além de fornecer matéria orgânica alóctone provenientes de galhos, folhas e frutos (Vannote et al., 1980). Sua remoção altera a dinâmica de produção de matéria autóctone, influenciando diretamente as espécies e grupos capazes de persistirem sob essas novas condições (Vannote et al., 1980). Com consequências ainda nos tipos de substratos que servem como abrigo, locais reprodutivos e fonte de recurso alimentar.

A Amazônia além de abrigar uma grande biodiversidade, é uma região rica em recursos alimentares, fármacos e energéticos, sujeita a diversos tipos de usos do solo, merecendo destaques a agricultura, pecuária, retirada de madeira, urbanização, geração de energia e a mineração (Fearnside, 2005; Gardner et al., 2013). A mineração, embora ocorra em escala mais concentrada se comparada a outros tipos de uso do solo, tem potencial de impactar a biodiversidade em escalas local, regional e global (Boldy et al., 2021; Narangarvuu et al., 2023). Os impactos diretos incluem a descarga de resíduos de mineração (poeiras e aerossóis), retirada da vegetação e/ou de corpos hídricos para a extração dos minérios, enquanto os efeitos indiretos envolvem sobre-exploração, como caça e extração ilegal de madeira, e o aumento de entrada de espécies invasoras (Sonter et al., 2018; Murguía et al., 2016). A intensidade e o tamanho da mineração afetam as espécies e o ecossistema de maneira diversas (Erskine et al., 2012), resultando em impactos ambientais como a disseminação de resíduos e a degradação da qualidade da água (Lamare & Singh, 2014). Por exemplo, resíduos da bauxita, um dos minerais mais extraídos na Amazônia brasileira (ABAL, 2017), geram uma pasta de íons de aluminato conhecida como "lama vermelha", que é separada por processo de filtração de uma mistura

de óxidos básicos de ferro e silício (Zhukov & Bogatyrev, 2012; Gow & Lozej, 1993). Esses resíduos apresentam alta alcalinidade, alto teor de sódio e pH elevado, podendo alterar os fatores abióticos nos ambientes aquáticos provocando, por exemplo, alta condutividade, baixa concentração de oxigênio dissolvidos e aumento de turbidez (Kusin et al., 2017). Em consequência, alguns rios e riachos que recebem esses rejeitos tendem a apresentar baixa densidade e de riqueza de invertebrados (Fonseca & Esteves, 1999; Callisto et al., 1998).

Para que as atividades de mineração possam acontecer é necessário a existência ou a construção de infraestruturas, como por exemplo a abertura de grandes áreas para o processamento e instalação da planta de beneficiamento, a construção de reservatórios para rejeitos e a construção de estradas e de sistemas de dutos (minerodutos) para possibilitar o transporte dos minérios (Liu, 2003). Atualmente, há uma tendência mundial em direção a sustentabilidade do meio ambiente, levando a diversas empresas a assumirem um compromisso ambiental. Para tal, estas estabelecem diversos protocolos para reduzirem seus impactos, investem grande quantidade de recurso para o desenvolvimento de novas técnicas e tecnologias para tornar a mineração menos danosa ao meio ambiente e de forma mais sustentável (Naliati et al., 2019). Por isso, muitas empresas utilizam os dutos ou minerodutos para o transporte de seus produtos, por ser uma alternativa mais viável para transportar minério (e.g. minério de ferro, carvão, bauxita, entre outros) em larga escala, com menor emissão de poluentes de gases de efeitos estufas e contribuindo para a diminuição de congestionamento do tráfego (Behari et al., 2022; Das et al., 2020). Esses dutos formam sistemas conectados por centenas de quilômetros, que ao longo de sua extensão passam ou cruzam as paisagens naturais como riachos e florestas, permanecendo enterrado por quase toda sua extensão (Liu, 2003).

No ambiente aquático, a implantação desses dutos pode resultar na remoção da vegetação, aumento da entrada de luz e de calor, contribuindo para o aumento da temperatura da água, da entrada de sedimentos e na diminuição da concentração de oxigênio dissolvido (Davies-Colley, 1997). Embora esses impactos possam ser pontuais, possuem potencial para homogeneizar o habitat físico dos sistemas aquáticos (Bleich et al., 2014, Moi et al., 2023), causando mudanças na comunidade ao longo da paisagem exposta a essa ação. Variações nos fatores e condições ambientais ao longo do riacho podem afetar os padrões de distribuição de espécies e suas características morfológicas e comportamentais (Brasil et al., 2017; Moi et al., 2023), mesmo daquelas mais resistentes.

Estas modificações podem promover alterações na dinâmica e na biodiversidade dos organismos aquáticos mais sensíveis (Danze & Vercellino 2018), entre esses se destacam os insetos pertencentes à ordem Odonata. A ordem Odonata é um grupo de insetos hemimetabólicos e territorialistas, os adultos são terrestres alados, e as larvas são aquáticas. No Brasil são registradas 911 espécies distribuídas em 152 gêneros (Pinto, 2022). Na região neotropical, esta ordem é dividida

em duas subordens, Anisoptera e Zygoptera (Corbet, 1999), onde os adultos da subordem Anisoptera, usualmente, sustentam voos mais longos e rápidos enquanto que os adultos de Zygoptera geralmente, são esguios e realizam pequenos voos perto da superfície da água (Corbet, 1999). As larvas também possuem diferenças morfológicas e ecológicas entre as subordens (Mendes et al., 2017). Ninfas de Anisoptera são mais robustas, possuindo nas terminações do abdômen uma pirâmide anal, já Zygoptera possuem o corpo delgado e possui três grandes brânquias na extremidade do abdômen (Neiss & Hamada, 2014). Em relação aos seus requerimentos ecológicos, as ninfas podem estar presentes em vários tipos de habitats, tanto lênticos quanto lóticos (Juen et al., 2007). Em virtude da capacidade de dispersão limitada, as ninfas apresentam algumas vantagens sobre os adultos como bioindicadores. Principalmente por serem fortemente associadas as condições ambientais, onde qualquer alteração podem alterar a estrutura e a comunidade desses organismos (Corbet, 1999; Valente-Neto et al., 2016; Mendes et al., 2019; Silva et al., 2021).

Os Anisoptera são considerados mais tolerantes às mudanças ambientais (Ribeiro et al., 2021), alguns gêneros apresentam maior resistência às mudanças na temperatura da água (Fulan et al., 2011) e a ambientes com pouca mata ciliar e maior luminosidade (Silva et al., 2021). Estão presentes em ambientes com maior quantidade de sedimentos (Carvalho & Nessimian, 1998), e ambientes com macrófitas, que servem como abrigo (Juen et al., 2007; Brito et al., 2021). As larvas de Zygoptera, são consideradas mais sensíveis aos impactos ambientais (Ribeiro et al., 2021), onde alguns gêneros necessitam de ambiente conservado com maior concentração de oxigênio (Fulan et al., 2011), ambiente com mata ciliar preservada para o controle de temperatura corporal (Silva et al., 2021), e presença de matéria orgânica que pode ser utilizada como de abrigo e substrato de emergência (Pires et al., 2020a). Essas diferenças de respostas entre as subordens, foi base para levantar algumas hipóteses, como a proporção de Zygoptera/Anisoptera em áreas alteradas (Oliveira-Júnior & Juen, 2019) e a diferença de tamanhos corporais e composição das libélulas diante de gradiente de luz encontrados entre as diferentes ordens de riachos (De Marco et al., 2015). Levando em consideração que a utilização de dutos para o transporte de minério é uma tendência na indústria da mineração e que não há estudos testando os impactos dos minerodutos sobre a biota aquática, o objetivo desse estudo avaliou se a estrutura do mineroduto afeta as condições ambientais e a comunidade de larvas de Anisoptera e Zygoptera em riachos amazônicos. Essa avaliação foi realizada de duas formas: (i) verificando as variações na estrutura das comunidades de larvas de Odonata e nas variáveis ambientais entre trechos à montante e à jusante de riachos com presença de mineroduto e, (ii) comparando a estrutura da comunidade, variáveis ambientais e seus efeitos sobre as larvas de Odonata entre riachos cortados pelo mineroduto e riachos sem essa intervenção. Testaremos as seguintes hipóteses: (i<sub>1</sub>) abundância e riqueza de gêneros de Anisoptera será maior na jusante, por ser uma área

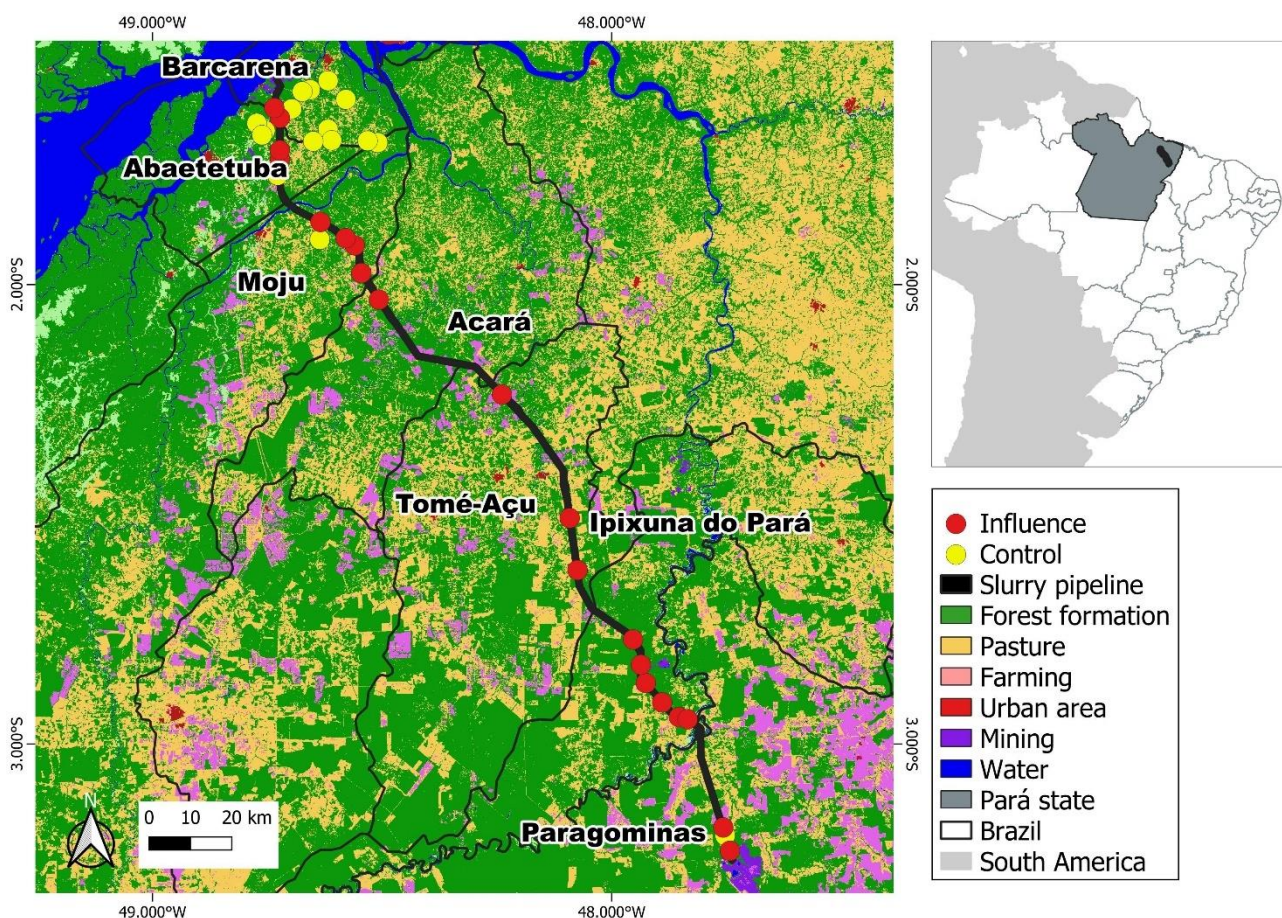
mais alterada pode favorecer o estabelecimento de gêneros tolerantes; (i<sub>2</sub>) abundância e riqueza de gêneros de Zygoptera será menor na jusante, por serem sensíveis as alterações ambientais, pela redução da integridade do habitat ocasionada pela presença do mineroduto; (i<sub>3</sub>) as condições ambientais e (i<sub>4</sub>) composição de gêneros serão diferentes entre trechos a jusante e montante, pois a jusante está constantemente sob pressão antrópica pela estrutura do mineroduto comparada com a montante. Além disso, iremos comparar os riachos controles e riachos cortados pelo mineroduto, com as seguintes hipóteses: (ii<sub>1</sub>) abundância e riqueza de gêneros de Anisoptera serão maiores em riachos com presença do mineroduto uma vez que esse grupo apresenta alguns gêneros que toleram mudanças na temperatura da água e variação nos fatores abióticos da água; (ii<sub>2</sub>) por outro lado, abundância e riqueza de gêneros de Zygoptera será menor em riachos com presença de mineroduto, pois as alterações das condições ambientais afetam alguns gêneros de Zygoptera, que são mais sensíveis, e por fim, acreditamos que (ii<sub>3</sub>) as variáveis ambientais influenciam a composição das larvas de Anisoptera e Zygoptera entre os tratamentos, pois apesar das subordens apresentarem requisitos ecológicos e fisiológicos diferentes, ambas são influenciadas pelas alterações nas condições ambientais.

## **2. Material e métodos**

### **2.1 Área de estudo**

O estudo foi realizado em 36 riachos localizados nos municípios de Paragominas, Ipixuna do Pará, Tomé-Açu, Acará, Moju, Abaetetuba, Barcarena, Pará, Brasil (Figura 1). As coletas ocorreram em outubro de 2022 na estação de menor precipitação na região em riachos de 1° a 3° ordem (Strahler, 1957) em microbacias diferentes, garantindo assim, a independência espacial e buscando contemplar a variação das condições ambientais e da biodiversidade existente na região. Dos riachos amostrados, 20 riachos são cortados pelo mineroduto de bauxita (Figura 2) e 16 não são cortados pelo mineroduto. A região contém uma paisagem florestal tropical densa, florestas aluviais e com grandes extensões de habitat florestal. No entanto, a vegetação vem sofrendo nas últimas três décadas alta pressão antrópicas e altas taxas de desmatamento, principalmente pelo avanço da mineração, agropecuária e extrativismo, além da rápida expansão do uso da terra para agricultura de ciclo curto (principalmente soja) e ciclo longo para a plantação de dendê, eucalipto, pastagens para a alimentação de gado (Gardner et al., 2013). Seguindo a classificação de Köppen (Peel et al., 2007), o clima da região é predominante do tipo *Af*, caracterizada por floresta tropical densa. A temperatura média anual de 27,2°C, umidade relativa do ar de 81% e precipitação média anual de 2000 mm. O período de menor

disponibilidade hídrica se estende de junho a dezembro (Calvão et al., 2020; Oliveira-Junior & Juen, 2019).



**Figura 1.** Distribuição dos riachos (com e sem mineroduto) onde foram amostradas larvas de Odonata em área de extração de bauxita da empresa Hydro, nos municípios de Paragominas, Ipixuna do Pará, Tomé-Açu, Acará, Moju, Abaetetuba, Barcarena, Pará, Brasil.

## Mineroduto

Desde 2007, a cidade de Paragominas é o local onde a empresa de Mineração Hydro possui uma sede industrial e uma jazida de exploração de bauxita em atividade. Segundo dados fornecidos pela Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), suas jazidas possuem uma vida útil de pelo menos 41 anos de mineração. O mineroduto foi construído utilizando centenas de tubos de 12 m de comprimento e 60 cm de diâmetro interconectados por soldas especiais, além de diversas estações de bombeamento (Augusto, 2012). Ao total, a estrutura possui 244 km de extensão, ao longo de todo o trecho do mineroduto há uma estrada lateral para o acesso e manutenção da estrutura que o acompanha, e além disso, sempre que ele passa por um riacho, foram construídos pontes ou aterros

que podem afetar o fluxo de água, representando parcialmente o fluxo e até mesmo aumentar a entrada de sedimentos no canal do riacho (Ferreira et al., 2024).



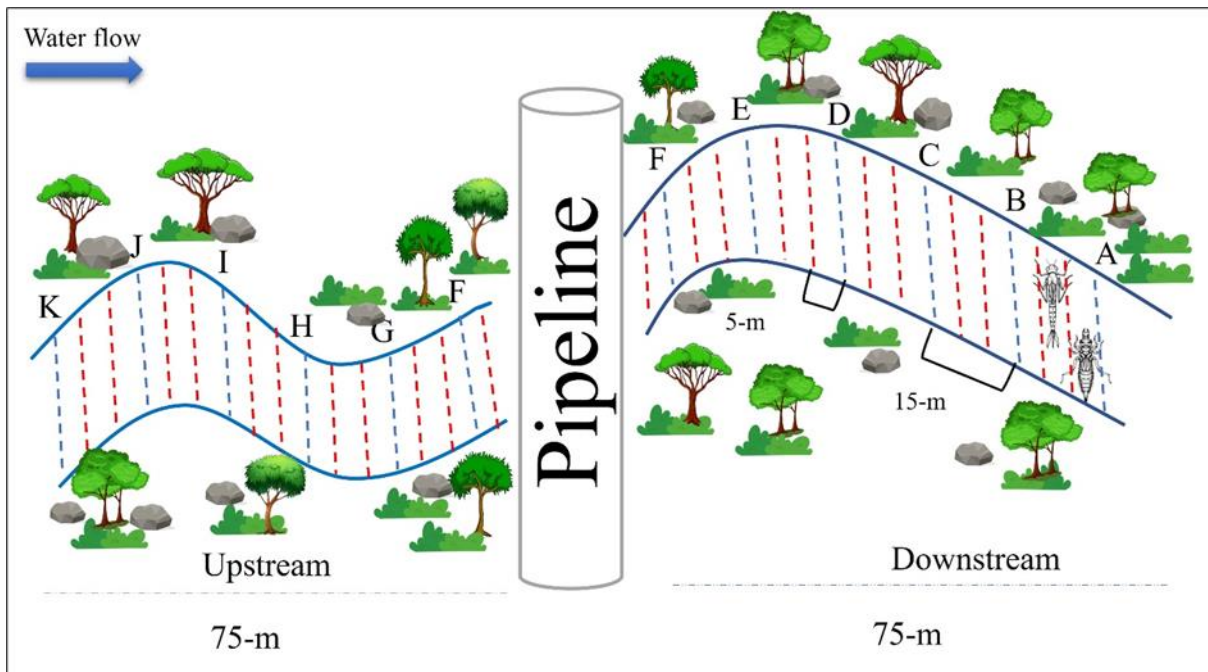
**Figura 2.** A) Mineroduto transportador de bauxita em processo de instalação e em sua lateral, a estrada de acesso na região de mineração de bauxita da empresa Hydro. Tubos de 12 m de comprimento e 60 cm de diâmetro são interconectados e enterrados. B) Manilhas de concreto ou C) galerias de madeira que são frequentemente utilizadas como meio de transposição da água pelas estradas e pontes de acesso ao mineroduto.

## 2.2 Amostragem biológica e variáveis abióticas

Em cada riacho foi demarcado um trecho de 150 metros, dividido em 11 transecções transversais equidistantes formando dez sessões longitudinais de 15 metros cada. O trecho de 15



metros foi subdividido em três trechos de cinco metros, totalizando 30 trechos, aonde somente os dois primeiros de cada seção foram amostrados. O terceiro segmento é usado somente para acessar os demais segmentos, para evitar a perturbação dos segmentos seguintes, totalizando, assim, 20 segmentos amostrados por riacho. Os riachos cortados pelo mineroduto também tiveram os mesmos 150 metros de amostragem, mas divididos em 75 metros acima (a montante) e 75 metros abaixo (a jusante) da tubulação, conforme demonstrado na figura esquemática abaixo (Figura 3), e nos riachos controles a coleta foi realizada de forma contínua (Shimano et al., 2018).



**Figura 3.** Delineamento amostral da área de coleta de larvas de Odonata em riachos com mineroduto na região de mineração de bauxita da empresa Hydro, no nordeste da Amazônia. Em cada riacho foi demarcado um trecho de 150 metros, sendo dividido em 10 segmentos de 15 metros cada, sendo que cinco segmentos foram a montante e cinco a jusante do mineroduto.

Para coleta dos imaturos utilizamos rede de imersão rapiché (18 cm de diâmetro, 15 cm de profundidade e malha de 250  $\mu$ m) que foi passado duas vezes nas margens e no centro do riacho em cada um dos 20 segmentos, sempre buscando amostrar todos os diferentes tipos de substratos presentes (Shimano & Juen, 2016). A pré-triagem do material foi realizada em campo com auxílio de bandejas brancas e pinças, após esse processo o material foi conservado em álcool 85% para posterior identificação em laboratório. Em função da grande variação morfológica que as larvas de Odonata possuem ao longo do seu ciclo de vida devido aos seus diferentes instares (até 15), a identificação até o nível de espécie é muito imprecisa e difícil, por isso recomendam o uso da resolução taxonômica até gênero (Mendes et al., 2017). A identificação foi realizada em laboratório com uso de chaves

dicotômicas de Neiss & Hamada (2014) e Hamada et al. (2018) que foram propostas para a região Amazônica. Posteriormente, as larvas foram depositadas na coleção de insetos aquáticos do Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO) da Universidade Federal do Pará, Brasil.

Foram coletadas as variáveis abióticas aquáticas frequentemente apontadas como importantes nos estudos ecológicos de riachos (Brasil et al., 2022), essas medidas foram mensuradas em três pontos equidistantes (Segmentos “A”, “F”, “K”). As variáveis abióticas aquáticas selecionadas para representar as condições ambientais foram pH, oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade elétrica (mS/cm) e temperatura (°C) foram medidas com auxílio da sonda multiparâmetro portátil de modelo HORIBA® U-5000. Em cada ponto as métricas foram medidas três vezes e realizada a média geral dos pontos para representar cada uma das variáveis avaliadas.

### **2.3 Índice de Integridade do Habitat (IIH) e protocolo de Peck**

Para analisar a integridade dos riachos, utilizamos o Índice de Integridade do Habitat (IIH) (Nessimian et al., 2008). O IIH é composto por 12 métricas qualitativas com o objetivo de avaliar visualmente as condições ambientais dos riachos, de acordo com as características: largura e estado de preservação da mata ciliar; padrão de uso do solo adjacente à mata ciliar vegetação; vegetação ribeirinha dentro de 10 m do canal; dispositivos de retenção e sedimentos dentro do canal; corte inferior da margem do rio; estrutura da margem do rio; aparência de substrato de pedra; leito do rio; fluxo de água (*riffle*, *pool* e meandro); e as características da vegetação aquática e detritos. Cada item é composto por quatro a seis alternativas ordenadas em relação aos aspectos observados na integridade do habitat. Os valores parciais são obtidos pela razão entre o valor atribuído para cada índice e seu valor máximo possível. Os valores de IIH variaram de 0 a 1; os valores mais próximos de 1 significam que a integridade física do habitat é maior (Nessimian et al., 2008).

Além do IIH, também foi aplicado o protocolo adaptado de Peck et al. (2006). No protocolo são coletadas 238 métricas do hábitat físico, com base nos cálculos de Kaufmann et al. (1999), como as dimensões do canal, características do substrato, caracterização da zona ripária, fluxo do canal, cobertura e estrutura de dossel, alterações causadas pela ação antrópicas, entre outras. O protocolo é formado por sete partes, sendo que o perfil longitudinal é avaliado em todas as secções longitudinais (dez vezes) e a caracterização transversal do canal é realizada 11 vezes (em todas as transecções). As métricas são divididas também por categorias sendo elas: morfologia do canal, substrato, hidráulica e substrato, unidade do canal (tipos de fluxo), declividade, sinuosidade, cobertura da vegetação ripária (densidade), cobertura da vegetação ripária (avaliação visual), madeira, abrigo e impacto humano.

Para execução do protocolo são utilizados instrumentos como: densiômetro, mangueira, bússola, trena, clinômetro e canos de policloreto de vinil (PVC) graduado.

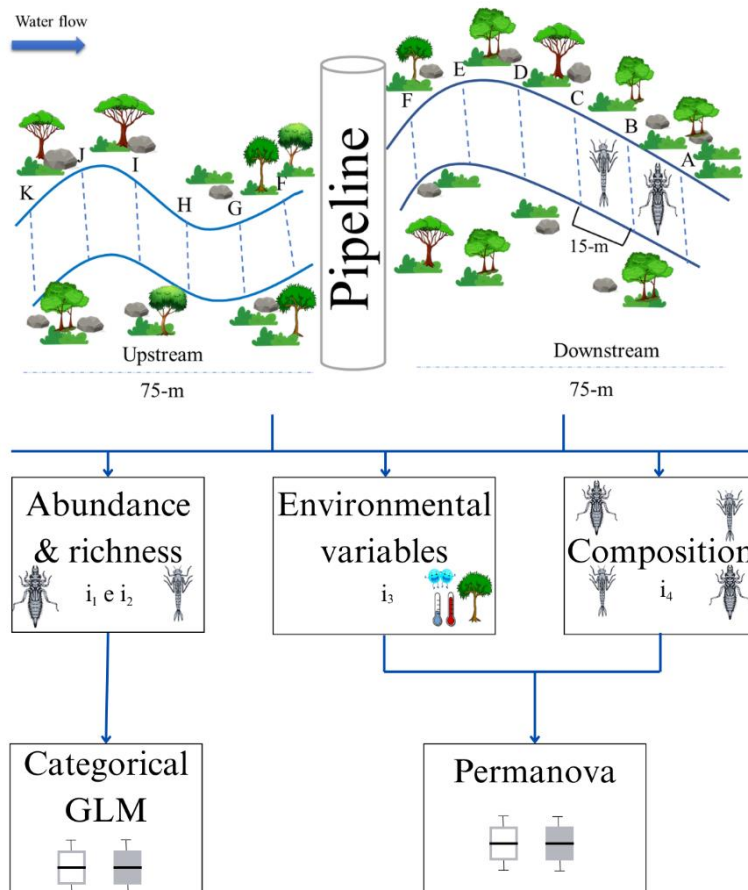
Para tentar diminuir a multicolinearidade utilizamos um subconjunto extraído a partir de uma seleção das 249 (protocolo + parâmetros aquáticos + IHH + uso do solo) variáveis ambientais supracitadas utilizado o procedimento analítico já utilizado com sucesso em outros estudos na região Amazônica (Ribeiro et al., 2022; Mendes et al., 2020; Pires et al., 2020b). Que consiste em três passos: 1) calculamos coeficientes (%) de zero e retiramos as variáveis com mais de 70% de seus dados sendo constituído por zeros; 2) realizamos análise de correlações de Pearson (Faria et al., 2017), entre as variáveis, para avaliar alta correlação (<70%), quando detectado sempre selecionamos aquela variável apontada como mais relevantes para a comunidade de Odonata de riachos Amazônicos. 3) Finalmente, calculamos os Fatores de Inflação da Variância (VIF) (Stine, 1995), retirando sequencialmente as variáveis com valores superiores a cinco. Após essa filtragem, o subconjunto final contou com 17 variáveis abiótica contínuas (IHH, profundidade, largura molhada, ângulo da margem, areia, banco de folhas, raízes, fluxo, dossel da margem, solo exposto, número de madeira, volume de madeira, estrada, condutividade, oxigênio dissolvido, temperatura e floresta) (Tabela suplementar 1, 2).

## 2.4 Análise de dados

Para as análises, cada riacho representa uma unidade amostral, totalizando, portanto, 36 amostras, categorizados como controle (n=16) e mineroduto (n=20). Para demonstrar a variação nas características ambientais entre os riachos contemplados no estudo, nós usamos Análises de Componentes Principais (PCA) (Legendre & Legendre, 1998), utilizando os dois primeiros eixos com os maiores valores de explicação da variabilidade dos dados em um plano cartesiano. Os dados de entrada desses ordenamentos foram matrizes de distâncias euclidiana padronizadas (escala Z) para as variáveis contínuas. Para essa avaliação das variáveis abióticas, em virtude de representarem processos ou características diferentes do ambiente aquático, dividimos as variáveis em três categorias: morfologia do canal e cobertura (IHH, profundidade, largura molhada, ângulo da margem, fluxo, dossel da margem, solo exposto e floresta), condição da água (condutividade, oxigênio dissolvido, temperatura) e substrato (areia, banco de folhas, raízes, número de madeira e volume de madeira). Os agrupamentos foram testados através da Análise de Permutação multivariada PERMANOVA utilizando a mesma matriz gerada acima, com 999 permutações e  $\alpha = 0.05$ .

**Montante e jusante.** Para testar as hipóteses ( $i_1$  e  $i_2$ ), de que a abundância e riqueza de gêneros de Anisoptera será maior na jusante, a abundância e riqueza de gêneros de Zygoptera será menor na jusante, utilizamos Modelos Lineares Generalizados (GLM) (McCullagh & Nelder, 1989),

considerando jusante e montante como variável preditora categórica. Utilizamos a família Poisson para a riqueza e quasepoisson para abundância. Os resíduos das análises foram avaliados, bem como possíveis casos de superdispersão dos dados. Para avaliar as hipóteses ( $i_3$  e  $i_4$ ), detectando padrões ambientais entre os tratamentos, nós utilizamos Análises Permutacionais de Variância (PERMANOVA), com 999 permutações e  $\alpha = 0.05$  (Gower, 1966) (Figura 4).

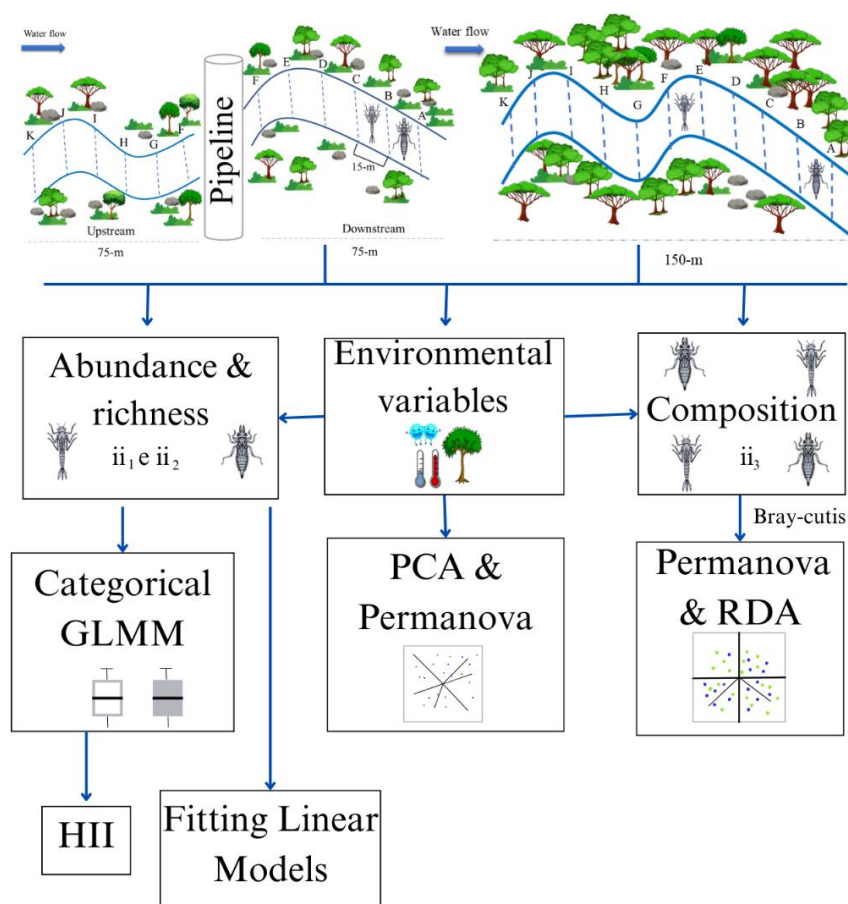


**Figura 4.** Fluxograma das análises estatísticas utilizado para testar hipóteses ( $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  e  $i_4$ ) referentes ao efeito do mineroduto a estrutura da comunidade das subordens de Odonata.

**Controle e mineroduto.** Testamos a autocorrelação entre os pontos amostrados com o Índice de Moran (Moran, 1948), onde usamos os dados das coordenadas geográficas dos pontos amostrados e os dados de riqueza e abundância dos gêneros (Figura suplementar 1). Nós testamos as hipóteses ( $ii_1$ ) e ( $ii_2$ ), de que a abundância e a riqueza das subordens respondem de forma antagônicas entre as categorias de riachos através de Análises Lineares Generalizadas Mista (GLMM) (Zuur et al., 2017), onde consideramos os tratamentos controle e mineroduto como variáveis predictoras. Dado que nossos pontos “controle” apresentam variabilidade no status de preservação ambiental, adicionamos aos modelos o HII como um fator aleatório, para tentar controlar possíveis efeitos das alterações

antrópicas na bacia de drenagem. Utilizamos a família Poisson para riqueza e abundância, os resíduos das análises sempre foram analisados, bem como possíveis casos de superdispersão (ratio~1). Com a intenção de identificar as variáveis preditoras que influenciam a abundância e a riqueza das subordens de Odonata da região, independentemente do tratamento em que se encontra essas comunidades (controle ou mineroduto), ajustamos Regressão Linear Múltipla com a função (lm) utilizando um subconjunto das variáveis ambientais selecionadas como preditoras e a riqueza e abundância observada como resposta. Utilizamos esse mesmo subconjunto de variáveis ambientais para selecionar as variáveis que afetam a composição das larvas através de um *forward selection*, sendo a abundância a variável resposta e as variáveis ambientais as preditoras.

Em seguida, realizamos uma Permanova, com 999 permutações e  $\alpha = 0.05$  para testar a variação da composição entre os tratamentos e a Análise de Redundância (RDA) (Wollenberg, 1977) para testar (ii<sub>3</sub>) se as variáveis ambientais influenciam a composição de gêneros de Odonata (Figura 5). Todas as análises foram realizadas no software R (R Development Core Team, 2022), utilizando os pacotes “vegan”, “lme4”, “ggplot2”, “MuMIn”, “adespatial”, “ape”, “spdep”, “ggcorrplot”.

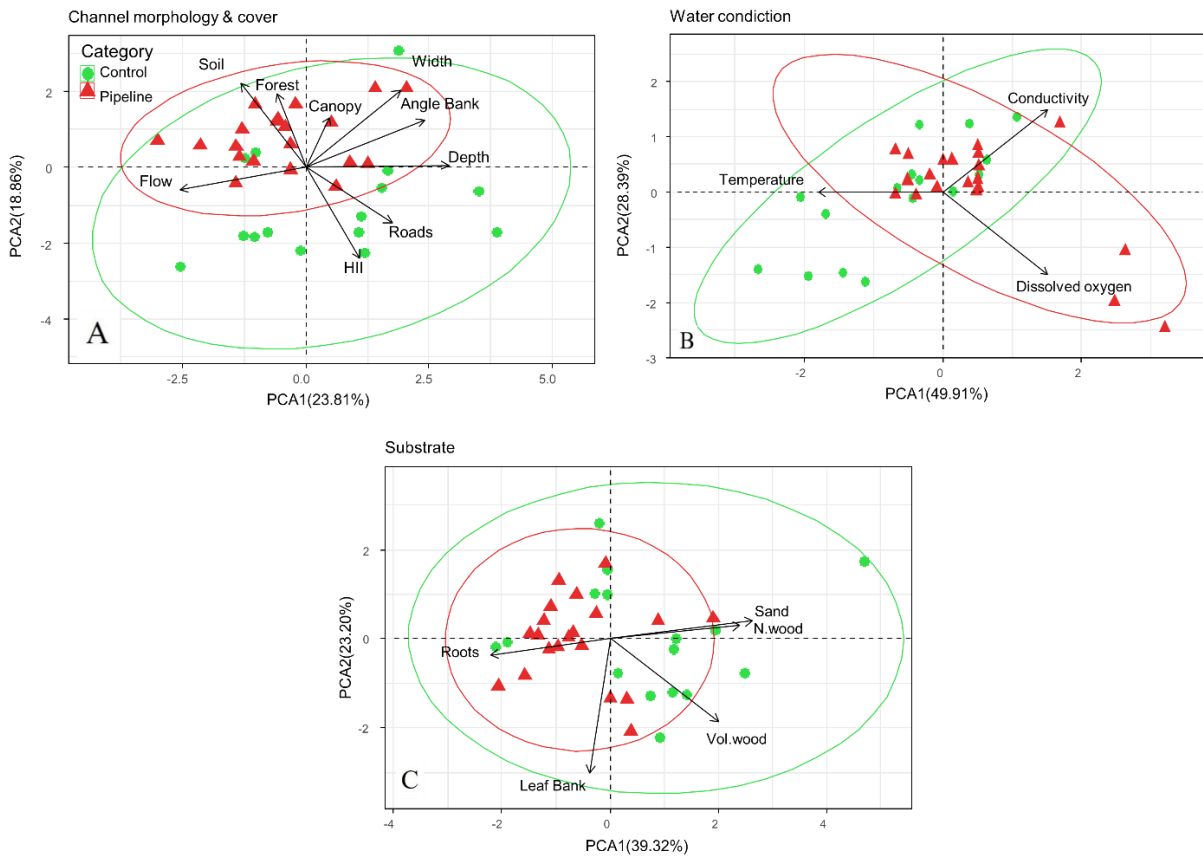


**Figura 5.** Fluxograma das análises estatísticas utilizado para testar hipóteses (ii<sub>1</sub>, ii<sub>2</sub> e ii<sub>3</sub>) referentes ao efeito dos riachos controle e com mineroduto na estrutura da comunidade das subordens de Odonata.

### 3. Resultados

Coletamos 432 larvas de Odonata, a subordem Anisoptera apresentou uma abundância de 293 indivíduos, pertencentes a três famílias e 31 gêneros, onde os mais abundantes foram *Phyllogomphoides* (n=51), *Zonophora* (n=47) e *Phyllocycla* (n=34). Coletamos 139 indivíduos de Zygoptera, distribuídos em cinco famílias e 11 gêneros, onde os mais abundantes foram *Argia* (n=42), *Heteragrion/Oxystigma* (n=35) e *Neoneura* (n=16). Os riachos controles (16 riachos) apresentaram uma abundância total de 141 indivíduos de Anisoptera e de 71 indivíduos de Zygoptera. Os riachos cortados pelo mineroduto (20 riachos) apresentaram uma abundância total de 152 indivíduos na subordem Anisoptera e 68 da subordem Zygoptera (Tabela suplementar 4). Nos riachos cortados pelo mineroduto, à montante ao mineroduto, foram registrados 47 indivíduos pertencentes a Anisoptera e 26 para Zygoptera. Na jusante foram amostrados 76 Anisoptera e 34 Zygoptera (Tabela suplementar 5). A autocorrelação dos pontos amostrados não influenciou as variáveis respostas (abundância e riqueza de Anisoptera  $p=0.68$  e  $0.92$ , respectivamente; abundância e riqueza de Zygoptera  $p=0.18$  e  $0.59$ , respectivamente).

A PCA realizada para a categoria de variáveis ambientais representadas pela Morfologia e Cobertura do canal explicaram em seus dois primeiros eixos 42.67% da variação. O primeiro eixo explicou 23.81%, onde as métricas que mais contribuíram foram: profundidade e ângulo da margem (positivamente) e fluxo (negativamente), o segundo explicou 18.86% dos dados e as métricas que contribuíram com a formação do eixo foram: largura e solo (positivamente) e HII (negativamente) (Figura 6A). Evidenciamos que as variáveis de Morfologia do Canal e Cobertura são diferentes entre os tratamentos ( $R^2=0.12$ , *Pseudo F*=4.893,  $p=0.001$ ). A ordenação realizada para a categoria Condição da Água explicou 78.30% nos dois primeiros eixos. O primeiro eixo explicou 49.91% dessa variação, onde a métrica que contribuiu com a formação do eixo foi temperatura (negativamente). O segundo eixo explicou 28.39% dessa variação com as seguintes variáveis: condutividade (positivamente) e DO (negativamente) (Figura 6B). As variáveis da Condição da Água são diferentes entre os tratamentos ( $R^2=0.11$ , *Pseudo F*=4.49,  $p=0.007$ ). Por fim, os dois eixos primeiros eixos explicaram 62.52% da categoria Substrato. O primeiro eixo explicou 39.32% onde as variáveis que mais contribuíram para essa formação foram: areia (positivamente) e raízes (negativamente), e o segundo eixo explicou 23.20%, sendo banco de folhas e volume de madeira (negativamente) que mais contribuíram para a formação do eixo (Figura 6C). As variáveis de substrato também são diferentes entre os tratamentos ( $R^2=0.08$ , *Pseudo F*=3.07,  $p=0.015$ ) (Tabela suplementar 3).



**Figura 6.** Análise de ordenação (PCA) das variáveis ambientais de riachos com (triângulos vermelhos) e sem (círculos verdes) a presença de mineroduto relacionadas a A) morfologia do canal e cobertura, B) condições da água e C) substrato. Os conjuntos de variáveis ambientais foram significativas ( $p < 0.05$ ).

### 3.1 Montante e Jusante

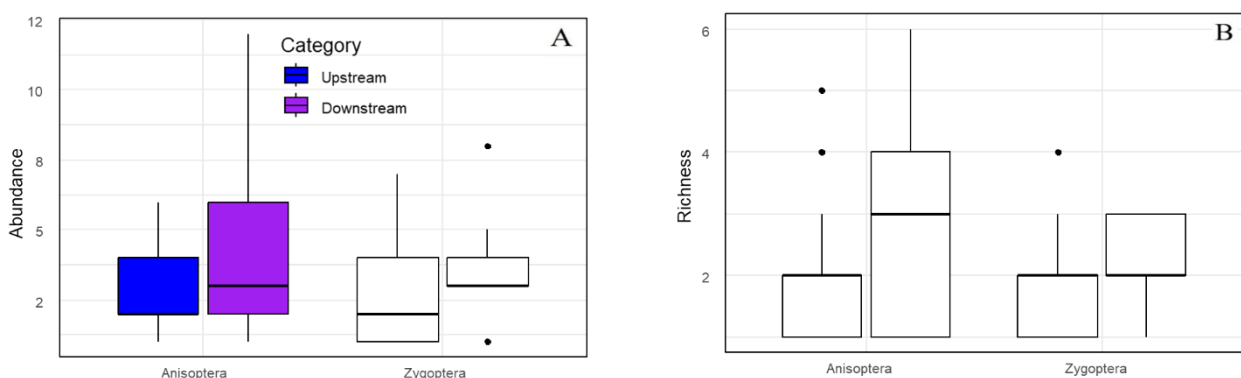
A hipótese ( $i_1$ ) de efeito do mineroduto à jusante do riacho para a comunidade de Anisoptera foi parcialmente corroborada, havendo efeito somente na abundância ( $z = -2.08$ ,  $p = 0.04$ ). A jusante apresentou, em média, quatro indivíduos a mais do que a montante. A riqueza não foi diferente entre os tratamentos ( $z = -1.19$ ,  $p = 0.2$ ).

Contrariamente à hipótese ( $i_2$ ), a presença do mineroduto não influenciou significativamente a abundância ( $z = -0.87$ ,  $p = 0.4$ ) e nem a riqueza ( $z = -0.34$ ,  $p = 0.74$ ) de Zygoptera (Figura 7). Os resultados indicam uma aparente resistência dessa subordem às modificações introduzidas pelo mineroduto, diferenciando-se da resposta observada em Anisoptera.

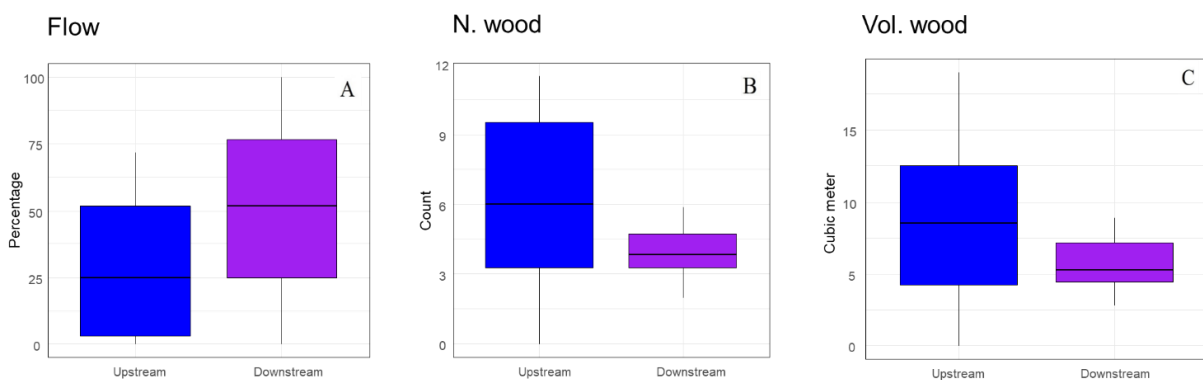
Nossos resultados evidenciaram que de 16 métricas ambientais analisadas, 13 são similares entre montante e jusante (Figura suplementar 2) e três diferentes entre os trechos, corroborando com nossa hipótese ( $i_3$ ). As métricas que diferenciaram foram: fluxo ( $R^2 = 0.12$ ,  $Pseudo F = 4.38$ ,  $p = 0.04$ ;

Figura 8A), onde o trecho a jusante apresenta fluxo mais rápido que a montante; enquanto que o volume de madeira ( $R^2=0.14$ ,  $Pseudo F=5.23$ ,  $p=0.03$ , Figura 8B) e número de madeira ( $R^2=0.13$ ,  $Pseudo F=5.17$ ,  $p=0.02$ , Figura 8C) e foram mais abundantes no trecho a montante do que a jusante do mineroduto.

Em relação a composição dos gêneros de Odonata, não observamos diferenças entre a montante e a jusante, tanto para a subordem Anisoptera ( $R^2=0.009$ ,  $F=0.30$ ,  $p=0.96$ ), quanto para Zygoptera ( $R^2=0.05$ ,  $F=0.90$ ,  $p=0.51$ ), refutando nossa hipótese (i<sub>4</sub>). Os resultados indicam uma homogeneidade na composição de gêneros de ambas as subordens ao longo dos trechos avaliados, independente da presença do mineroduto.



**Figura 7.** A) Abundância e B) Riqueza de Anisoptera e Zygoptera (Odonata) em função dos tratamentos montante e jusante do mineroduto, na região de mineração de bauxita da empresa Hydro, no nordeste da Amazônia. \*Apenas box plot preenchidos por cor apresentam diferenças estatisticamente significativas ( $p<0.05$ ).



**Figura 8.** Box plot mostrando as variáveis ambientais estatisticamente diferentes ( $p<0.05$ ) em função dos tratamentos montante e jusante do mineroduto, em riachos na região de mineração de bauxita, nordeste da Amazônia. (A) Fluxo; (B) Número de madeira e (C) Volume de madeira.



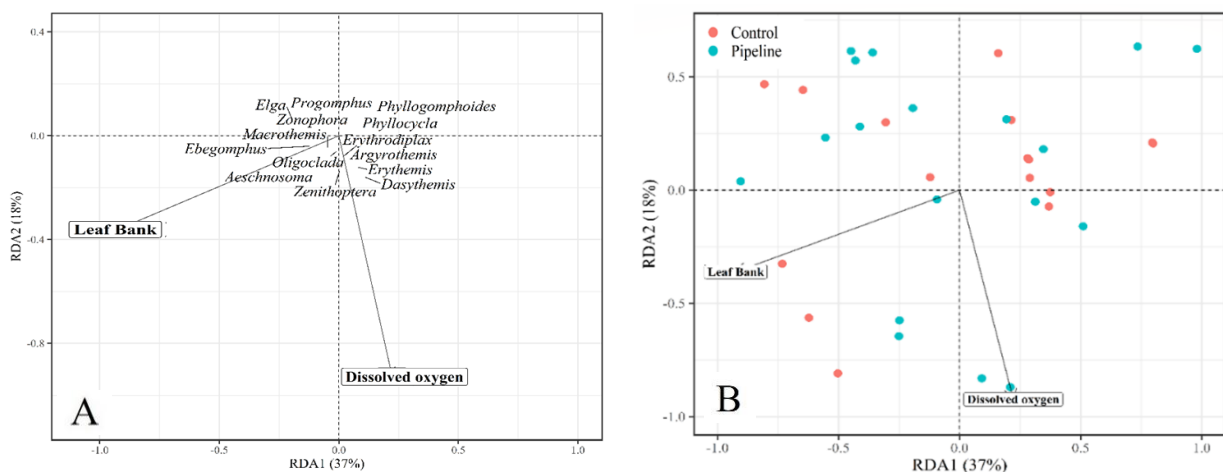
### 3.2 Riachos com mineroduto e controle

Contrariando nossas hipóteses (ii<sub>1</sub> e ii<sub>2</sub>), não encontramos diferença na abundância e riqueza de Anisoptera ( $R^2=0.02$ ,  $z=-0.94$ ,  $p=0.34$ ;  $R^2=0.01$ ,  $z=-0.62$ ,  $p=0.5$ ) entre riachos com mineroduto e controle. Resultado similar foi encontrado para Zygoptera ( $R^2=0.0001$ ,  $z=0.06$ ,  $p=0.95$ ;  $R^2=0.02$ ,  $z=0.84$ ,  $p=0.4$ ) (Figura suplementar 3, 4).

Quatro variáveis ambientais influenciaram a abundância de Anisoptera: ângulo da margem ( $t=-2.57$ ,  $p=0.01$ ), raízes ( $t=-2.6$ ,  $p=0.01$ ), dossel da margem ( $t=2.59$ ,  $p=0.01$ ) e condutividade ( $t=-3.03$ ,  $p=0.007$ ). As variáveis ambientais que influenciaram a riqueza de Anisoptera foram condutividade ( $t=-3.12$ ,  $p=0.005$ ) e oxigênio dissolvido ( $t=2.52$ ,  $p=0.02$ ) (Tabela suplementar 6).

As variáveis ambientais que influenciaram a abundância de Zygoptera foram profundidade ( $t=-3.41$ ,  $p=0.005$ ), banco de folhas ( $t=2.57$ ,  $p=0.02$ ), número de madeira ( $t=2.37$ ,  $p=0.03$ ) e presença de estradas ( $t=3.20$ ,  $p=0.007$ ). As variáveis ambientais que influenciaram a riqueza de Zygoptera foram solo exposto ( $t=2.45$ ,  $p=0.03$ ) e volume de madeira ( $t=-2.41$ ,  $p=0.03$ ) (Tabela suplementar 7).

Não houve diferença na composição de gêneros entre os tratamentos, tanto para Anisoptera ( $R^2=0.02$ ,  $Pseudo F=2.77$ ,  $p=0.10$ ) quanto para Zygoptera ( $R^2=0.03$ ,  $Pseudo F=0.93$ ,  $p=0.53$ ). Porém, nossa hipótese (ii<sub>3</sub>) foi parcialmente corroborada uma vez que as métricas ambientais afetaram somente a composição de Anisoptera entre os riachos com mineroduto e controle ( $F=1.6$ ,  $p=0.03$ ). Duas variáveis influenciaram a composição de Anisoptera, oxigênio dissolvido ( $R^2=0.07$ ,  $F=2.65$ ,  $p=0.001$ ) e banco de folhas ( $R^2=0.04$ ,  $F=1.66$ ,  $p=0.03$ ) (Figura 9).



**Figura 9.** Análise de Redundância relacionando (A) somente as métricas ambientais que influenciaram a composição dos gêneros de larvas de Odonata, e (B) mostrando a relação das variáveis com os pontos amostrados em riachos na região de mineração de bauxita da empresa Hydro, no nordeste da Amazônia.

## 4. Discussão

Nossos resultados mostram que a presença do mineroduto tem efeito direto nas variáveis ambientais, mas apesar disso, houve somente alteração na abundância de Anisoptera entre montante e jusante do mineroduto, e Zygoptera não foi afetada. Entre os riachos controle e com mineroduto a comunidade não foi afetada, no entanto as variáveis ambientais afetaram a comunidade de larvas de Odonata, para Anisoptera a abundância foi influenciada por: ângulo da margem, raízes, dossel da margem e condutividade na riqueza foram condutividade e oxigênio dissolvido. A abundância de Zygoptera foi influenciada por: profundidade, banco de folhas, número de madeira e presença de estradas, para riqueza foram: solo exposto e volume de madeira. Na composição somente Anisoptera foi diferente entre os riachos sendo influenciada pelas variáveis banco de folhas e oxigênio dissolvido. Ambos os tratamentos (controle e mineroduto), sofrem constante pressão antrópica (e.g agricultura, agropecuária, extração de madeira, mineração) que são realizadas há muitas décadas na região. Apesar das larvas de Odonata terem sido pouco alteradas, Anisoptera mostrou ser um bom indicador de alteração ambiental de longo prazo.

### 4.1 Montante e jusante

Nossos resultados mostraram diferença na abundância de Anisoptera entre os trechos, onde as larvas de Anisoptera foram mais abundantes no trecho a montante do mineroduto. Recentemente, um estudo realizado com Odonata no estágio adultos, mostraram um padrão similar (Ferreira et al., 2024), reforçando sua utilidade como uma boa indicadora de alterações causada por mineroduto. Possivelmente esse padrão pode ter ocorrido em virtude de que muitos gêneros de Anisoptera ter preferência por habitat lânticos ou semi-lânticos (e.g. *Progomphus*, *Erythemis*). A presença de estrada e estruturas de pontes pode estar causando um possível represamento, alterando o fluxo de água (Ferreira et al., 2024a), e com isso, criando um novo tipo de habitat que pode favorecer o desenvolvimento de alguns gêneros dessa subordem.

Estudos anteriores mostraram que as larvas de Zygoptera são mais sensíveis às alterações ambientais do que Anisoptera (Ribeiro et al., 2021, Silva et al., 2021). Porém, em nosso estudo elas não foram influenciadas pela presença do mineroduto quando comparadas à jusante e montante. Uma possível explicação, como já mencionado acima, é o intenso e histórico uso do solo na região, situada no centro do chamado ‘arco do desmatamento da Amazônia’ (Aldrich et al., 2012). Esse processo de degradação ao longo dos anos pode ter ocasionado uma restrição do *pool* regional, permanecendo as espécies mais generalistas da comunidade original (Sahlén, 2005). Vale ressaltar que os organismos pertencentes à mesma ordem, podem apresentar diferentes padrões de respostas à variação ambiental

(Chase & Leibold, 2003), como alguns gêneros de Zygoptera que são considerados tolerantes a degradação ambiental, podendo permanecer em ambientes que sofrem ou sofreram pressão antrópicas (Šigutová et al., 2019; Juen et al., 2014).

A diferença das variáveis ambientais encontradas a montante indica um efeito de represamento do fluxo aquático em função da passagem do mineroduto e da estrada, um exemplo seria a própria mudança do fluxo da água que encontramos na região a montante. A maior abundância de troncos e galhos na região a montante, pode ser uma evidência de um processo de fragmentação do fluxo natural (Ferreira et al., 2024a). Os troncos, geralmente em processo de decomposição, funcionam como verdadeiros ecossistemas, pois os organismos utilizam como abrigo, oviposição e desenvolvimento das larvas (Resende et al., 2021; Calvão et al., 2022).

Apesar dos efeitos ambientais apresentados, diversas variáveis se mostraram indiferentes a passagem do mineroduto e da estrada. Uma possível explicação para esta similaridade ambiental entre os tratamentos é a maior proporção florestal encontrada nos entornos dos riachos dentro da zona do mineroduto, uma vez que existe uma faixa de conservação de 30 metros estabelecida pelo próprio empreendimento (Augusto, 2012). Em virtude dos compromissos ambientais da empresa de mineração, ela mantém uma vegetação arbórea bem definida nas margens dos riachos, que pode estar atuando como uma proteção contra outros tipos de alterações ambientais ao longo do trecho do riacho, sendo fiscalizada por órgãos públicos e privados (Nunes et al., 2019).

Além disso, acreditamos que a similaridade da maior parte das variáveis ambientais entre os trechos pode ter contribuído também com a similaridade da composição das larvas, que foi homogênea. O mesmo resultado foi encontrado no trabalho de Juen et al. (2014), que amostraram riachos com alto nível de alteração e degradação, porém apresentaram composição de Odonata similar. Vale ressaltar que o mineroduto começou a operar em 2007, toda a área do mineroduto já passou por alterações ambientais, sendo difícil apontar quais mudanças foram causadas diretamente pela sua instalação ou pelo intenso uso do solo realizado antes de sua existência. Além disso, a restauração ambiental pode estar ajudando a melhorar as condições ambientais na área estudada, uma vez que muitos riachos fora do mineroduto possuem condições ambientais mais alterados, com ausência ou mata ciliar muito estreita e barros muito erodidos com entrada de sedimento no leito do riacho.

## **4.2 Controle e mineroduto**

Os riachos com a presença do mineroduto apresentaram as variáveis ambientais com valores distintos dos riachos controle, porém, apesar disso, a comunidade não foi afetada pelo tratamento estudado. Ambos os riachos (controle e mineroduto) estão localizados em uma área de agricultura,

pasto e plantação de dendê, com alta frequência de alteração ambiental. Assim, é possível que essas alterações criaram filtros na distribuição dos gêneros mais sensíveis, limitando sua ocorrência nos locais. Isto pode muitas vezes levar à simplificação da comunidade, que está diretamente ligada às características funcionais dos organismos, sua capacidade de persistir e a perda de heterogeneidade de habitat (Poff et al., 2006).

O tratamento analisado não influenciou a comunidade, porém, as variáveis ambientais afetaram as larvas de Anisoptera. Os ambientes aquáticos podem variar na morfologia do canal, qualidade da água e substratos, determinando a presença de organismos e micro-habitat, dito isso, as larvas de Anisoptera foram influenciadas pelas variáveis ambientais. Alguns gêneros como *Zonophora*, *Elga*, *Epigomphus* são correlacionadas ao dossel da margem (Mendes et al., 2021). O dossel, ao fornecer material alóctone no riacho, pode favorecer a ocorrência desses gêneros que os utilizam como abrigo para camuflagem (Fleck, 2003; Carvalho & Nessimian, 1998). A mata ciliar também ajuda a controlar a temperatura da água e a oxigenação, duas variáveis muito importantes para as libélulas (Samways & Sharratt, 2010). As mudanças na qualidade da água, ocasionadas por represamento ou sazonalidade, podem aumentar a concentração de sais dissolvidos na água, e diante dessa mudança, as larvas respondem às alterações acelerando seu crescimento para evitar um possível ressecamento (Aristizábal-Botero et al., 2023). Além disso, a comunidade responde às mudanças no habitat e alterações na paisagem favorecendo gêneros mais tolerantes, enquanto os gêneros mais sensíveis podem ser extintos localmente ou se tornar, relativamente raras (Monteiro Júnior et al., 2015). Além disso, como alguns tipos de substrato influenciou abundância (raízes, banco de folhas e madeira), riqueza (madeira) e composição (banco de folhas) de Anisoptera e Zygoptera, a manutenção de diferentes substratos é essencial para a preservação da diversidade deste grupo (Carvalho et al., 2018).

O mineroduto fica subterrado em sua extensão (Liu, 2003). Sendo assim, outros fatores podem estar influenciando a qualidade da água, como as estradas e pontes que fornecem acesso para a manutenção do mineroduto, que por sua vez, ocasiona maior entrada de madeira nos riachos, canalizando o fluxo da água (Ferreira et al., 2024). Outro fator é a entrada de sedimentos nos riachos que afeta a profundidade dos riachos (Leitão et al., 2018), ocasionando um efeito significativo na comunidade de Zygoptera. As larvas de Zygoptera foram influenciadas pela presença de estrada, uma possibilidade seria que os gêneros presentes na região, principalmente *Argia*, conseguem tolerar essa mudança, pois já foram registradas espécies em áreas tanto desmatadas como alteradas (Juen et al., 2014). Segundo o estudo do Ferreira et al. (2024), um indicativo de vegetação ciliar baixa ou ausente, com solo exposto favorece a entrada de macrófitas que cobrem a margem, e os gêneros *Acanthagrion* e *Argia* tem hábito escaladores e estão presente em ambientes com macrófitas (Carvalho &

Nessimian, 1998). Esses gêneros geralmente são relacionados a ambientes que perdem a vegetação nativa (Rodrigues et al., 2016), sendo considerados gêneros tolerantes. A presença de madeira em decomposição e banco de folhas em riachos podem fornecer um grande número de organismos. Para Odonata, serve para poleiro e oviposição, para as larvas, principalmente para Zygoptera, serve para seu desenvolvimento, alimentação, abrigo e apoio para emergir como adulto (Calvão et al., 2022; Resende et al. 2021; Jooste et al., 2020; Carvalho & Nessimian, 1988).

Esperávamos que houvessem mudanças na composição dos gêneros afetados pelas variáveis ambientais entre os tratamentos, no entanto, somente os gêneros pertencentes a Anisoptera se mostraram susceptíveis as variações ambientais geradas pelos impactos do mineroduto. A composição de Anisoptera se relacionou com oxigênio dissolvido, que por sua vez, é importante para as larvas, que apresentam fisiologia branquial que possibilita aumentar a captura de oxigênio da água (Kohnert et al. 2004) possibilitando seu desenvolvimento em lugares com baixa oxigenação. Em relação ao banco de folhas, alguns gêneros são associados a vegetação aquática, como *Epigomphus*, *Phyllogomphoides* (Gomphidae) (Pires et al., 2020a). Além disso, o acúmulo de folhas é comum em águas com fluxo mais lento (McCabe, 2011), sendo bem comum a ocorrência de Anisoptera nesse habitat (Carvalho & Nessimian, 1998). A falta de influência das variáveis ambientais sobre os gêneros de Zygoptera pode ser explicada pelo uso da terra da região, onde os gêneros tolerantes tenham maior abundância e os sensíveis desaparecem, tornando a comunidade mais homogênea, perdendo funções ecológicas (Mendes et al., 2019; Pires et al., 2021).

## 5. Conclusão

Ao avaliar somente os riachos com mineroduto, detectamos alteração das métricas ambientais e na abundância de Anisoptera entre os trechos montante e jusante. Quando avaliamos os riachos com e sem mineroduto, houve diferença nas variáveis ambientais e influência das variáveis ambientais sobre a composição de Anisoptera. Além disso, apesar da presença do mineroduto não ter afetado riqueza e abundância de Anisoptera e Zygoptera, as métricas ambientais analisadas separadamente influenciaram na comunidade. Sendo assim, apesar da extração de recursos minerais utilizando dutos (mineroduto) ser uma alternativa de transporte teoricamente menos nocivo ao meio ambiente (sem ruídos e gases nocivos), observamos a importância de avaliar mais profundamente o seu impacto no ambiente, especialmente na região no norte da Amazônia, que apresenta alta biodiversidade. Além disso, verificamos que Anisoptera foi o grupo que respondeu às alterações geradas pelo mineroduto, apesar de ser muitas vezes considerado um grupo tolerante, conseguiu manter o pool de gêneros originais da região. Os principais impactos identificados no trabalho, não são exclusivamente relacionados pela passagem do mineroduto, mas pela presença de pontes e canalização do fluxo da

água, estratégias para diminuição ou que impeça a entrada de sedimentos nos riachos, mensuração mais apura da vazão. Sendo assim, acreditamos que a avaliação do impacto gerado pelo mineroduto foi mais perceptível quando avaliado através das variáveis ambientais e não só pela presença ou ausência do mineroduto. Estudos como esse são importantes para avançarmos no conhecimento dos impactos da atividade de mineração, reforçamos a necessidade de continuação do estudo, monitoramento e preservação ambiental de igarapés da Amazônia, especialmente considerando a relevância ecológica da ordem Odonata na avaliação de impactos ambientais.

## 6. Referências

- Aldrich, S., R. Walker, C. Simmons, M. Caldas, & S. Perz, 2012. Contentious Land Change in the Amazon's Arc of Deforestation. *Annals of the Association of American Geographers* Routledge 102: 103–128. <https://doi.org/10.1080/00045608.2011.620501>
- Almeida, A. S. de, & I. C. G. Vieira, 2014. Conflitos no uso da terra em Áreas de Preservação Permanente em um polo de produção de biodiesel no Estado do Pará. *Revista Ambiente & Água Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas* 9: 476–487. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1410>
- Augusto, A. L. C, 2012. Mineroduto de Bauxita da Mineração Vera Cruz S/A -Paragominas/PA
- Aristizábal-Botero, Á., J. M. Snoeks, E. Realpe, & B. Vanschoenwinkel, 2023. Conductivity and water level modulate developmental plasticity and explain distribution patterns in a diverse neotropical Odonata assemblage. *Freshwater Biology* 68: 1558–1571. <https://doi.org/10.1111/fwb.14151>
- Associação Brasileira do Alumínio – ABAL, 2017. Bauxita no Brasil: Mineração Responsável e Competitividade. <https://abal.org.br/publicacao/bauxita-no-brasil-mineracao-responsavel-e-competitividade/>
- Behari, M., D. Das, & A. M. Mohanty, 2022. Influence of Surfactant for Stabilization and Pipeline Transportation of Iron Ore Water Slurry: A Review. *ACS Omega* 7: 28708–28722. [10.1021/acsomega.2c02534](https://doi.org/10.1021/acsomega.2c02534)
- Bleich, M. E., A. F. Mortati, T. André, & M. T. F. Piedade, 2014. Riparian deforestation affects the structural dynamics of headwater streams in Southern Brazilian Amazonia. *Tropical Conservation Science* SAGE Publishing 7: 657–676. <https://doi.org/10.1177/194008291400700406>
- Brasil, L. S., A. Luiza-Andrade, L. B. Calvão, K. Dias-Silva, A. P. J. Faria, Y. Shimano, J. M. B. Oliveira-Junior, M. N. Cardoso, & L. Juen, 2020a. Aquatic insects and their environmental predictors: a scientometric study focused on environmental monitoring in lotic environmental. *Environmental Monitoring and Assessment* 192: 194. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8147-z>
- Brasil, L. S., E. L. de Lima, Z. A. Spigoloni, D. R. G. Ribeiro-Brasil, & L. Juen, 2020b. The habitat integrity index and aquatic insect communities in tropical streams: A meta-analysis. *Ecological Indicators* 116: 106495. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106495>

- Brasil, L. S., N. F. da S. Giehl, J. D. Batista, B. O. de Resende, & H. S. R. Cabette, 2017. Aquatic insects in organic and inorganic habitats in the streams on the Central Brazilian savanna. *Revista Colombiana de Entomología* 43: 286–291. 10.25100/socolen.v43i2.5961
- Brito, J. S., T. S. Michelan, & L. Juen, 2021. Aquatic macrophytes are important substrates for Libellulidae (Odonata) larvae and adults. *Limnology* 22: 139–149. <https://doi.org/10.1007/s10201-020-00643-x>
- Boldy, R., T. Santini, M. Annandale, P. D. Erskine, & L. J. Sonter, 2021. Understanding the impacts of mining on ecosystem services through a systematic review. *The Extractive Industries and Society* 8: 457–466. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.12.005>
- Callisto, M., F. de A. Esteves, J. F. Gonçalves, & J. J. F. Leal, 1998. Impact of Bauxite Tailings on the Distribution of Benthic Macrofauna in a Small River ('Igarapé') in Central Amazonia, Brazil. *Journal of the Kansas Entomological Society Kansas (Central States) Entomological Society* 71: 447–455. <https://www.jstor.org/stable/25085861>
- Callisto, M., R. Solar, F. A. O. Silveira, V. S. Saito, R. M. Hughes, G. W. Fernandes, J. F. Gonçalves-Júnior, R. P. Leitão, R. L. Massara, D. R. Macedo, F. S. Neves, & C. B. M. Alves, 2019. A Humboldtian Approach to Mountain Conservation and Freshwater Ecosystem Services. *Frontiers in Environmental Science* 7:, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00195>
- Calvão, L. B., C. K. S. de Paiva, J. da S. Brito, A. L. Fares, C. Maia, T. S. Michelan, L. F. de A. Montag, & L. Juen, 2020. Influence of biotic and abiotic factors on adult Odonata (Insecta) in Amazon streams. *Animal Biology Brill* 71: 67–84. 10.1163/15707563-bja10047
- Calvão, L. B., T. Siqueira, A. P. J. Faria, C. K. S. Paiva, & L. Juen, 2022. Correlates of Odonata species composition in Amazonian streams depend on dissimilarity coefficient and oviposition strategy. *Ecological Entomology* 47: 998–1010. <https://doi.org/10.1111/een.13188>
- Calvão, L. B., D. S. Nogueira, L. F. de Assis Montag, M. A. Lopes, & L. Juen, 2016. Are Odonata communities impacted by conventional or reduced impact logging?. *Forest Ecology and Management* 382: 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.013>
- Chase, J. M., & M. A. Leibold, 2003. *Ecological Niches: Linking Classical and Contemporary Approaches*. University of Chicago Press, Chicago, IL, <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/E/bo3638660.html>.
- Carvalho, A. L., & J. L. Nessimian, 1998. Odonata do estado do Rio de Janeiro, Brasil: hábitos e hábitos das larvas. *Oecologia Australis* 5: 03–28. 10.4257/oeco.1998.0501.01
- Corbet, P. S., 1999. *Dragonflies: behaviour and ecology of Odonata*. Harley books.
- Danze, A. D. P., & I. S. Vercellino, 2018. Uso de bioindicadores no monitoramento da qualidade da água. *Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade* 11:100-115. <http://dx.doi.org/10.22280/revintervoll1ed1.353>
- Das, S. N., S. K. Biswal, & R. K. Mohapatra, 2020. Recent advances on stabilization and rheological behaviour of iron ore slurry for economic pipeline transportation. *Materials Today: Proceedings* 33: 5093–5097. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.851>

- Davies-Colley, R. J., 1997. Stream channels are narrower in pasture than in forest. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* Taylor & Francis 31: 599–608. <https://doi.org/10.1080/00288330.1997.9516792>
- Erskine, P., A. van der Ent, & A. Fletcher, 2012. Sustaining Metal-Loving Plants in Mining Regions. *Science American Association for the Advancement of Science* 337: 1172–1173. [10.1126/science.337.6099.1172-b](https://doi.org/10.1126/science.337.6099.1172-b)
- Faria, A. P. J., R. Ligeiro, M. Callisto, & L. Juen, 2017. Response of aquatic insect assemblages to the activities of traditional populations in eastern Amazonia. *Hydrobiologia* 802: 39–51. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3238-8>
- Fearnside, P. M., 2006. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia* 36: 395–400. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000300018>
- Fleck, G., 2003. Contribution à la connaissance des Odonates de Guyane Française: notes sur des larves des genres *Orthemis*, *Diastatops* et *Elga* (Anisoptera: Libellulidae). *Odonatologica* 32: 335–344. <https://natuurtijdschriften.nl/pub/592448>
- Foley, J. A., R. DeFries, G. P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S. R. Carpenter, F. S. Chapin, M. T. Coe, G. C. Daily, H. K. Gibbs, J. H. Helkowski, T. Holloway, E. A. Howard, C. J. Kucharik, C. Monfreda, J. A. Patz, I. C. Prentice, N. Ramankutty, & P. K. Snyder, 2005. Global Consequences of Land Use. *Science American Association for the Advancement of Science* 309: 570–574. [10.1126/science.1111772](https://doi.org/10.1126/science.1111772)
- Fonseca, J. J. L., & F. de A. Esteves, 1999. Influência do rejeito de bauxita sobre a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em um lago amazônico (Lago Batata, Pará, Brasil). *Revista Brasileira de Biologia Instituto Internacional de Ecologia* 59: 397–405. <https://doi.org/10.1590/S0034-71081999000300004>
- Fulan, J. Â., R. Henry, & R. C. S. Davanso, 2011. Effects of daily changes in environmental factors on the abundance and richness of Odonata. *Acta Limnologica Brasiliensia Associação Brasileira de Limnologia* 23: 23–29. <https://doi.org/10.4322/actalb.2011.015>
- Gardner, T. A., J. Ferreira, J. et al., 2013. A social and ecological assessment of tropical land uses at multiple scales: the Sustainable Amazon Network. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences Royal Society* 368: 20120166. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0166>
- Gow, N. N., & G. P. Lozej, 1993. Bauxite. *Geoscience Canada*. <https://journals.lib.unb.ca/index.php/GC/article/view/3785>.
- Gower, J. C., 1966. Some Distance Properties of Latent Root and Vector Methods Used in Multivariate Analysis. *Biometrika [Oxford University Press, Biometrika Trust]* 53: 325–338. <https://doi.org/10.2307/2333639>
- Gurgel, R. S., P. R. S. Farias, & S. N. de Oliveira, 2017. Mapeamento do uso e cobertura da terra e identificação de uso indevido em áreas de preservação permanente no Município de Tailândia - PA. *Semina: Ciências Agrárias* 38: 1145–1160. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n3p1145>
- Hamada, N., J. H. Thorp, & D. C. Rogers, 2018. Keys to Neotropical Hexapoda. Thorp and Covich's *Freshwater Invertebrates*. Volume III. Academic Press, <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/36170>.



- Hamada, N., Nessimian, J. L., Querino, R. B. Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia. Manaus: Editora INPA, 2014.
- Jooste, M. L., M. J. Samways, & C. Deacon, 2020. Fluctuating pond water levels and aquatic insect persistence in a drought-prone Mediterranean-type climate. *Hydrobiologia* 847: 1315–1326. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04186-1>
- Juen, L., H. S. R. Cabette, & P. De Marco, 2007. Odonate assemblage structure in relation to basin and aquatic habitat structure in Pantanal wetlands. *Hydrobiologia* 579: 125–134. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0395-6>
- Juen, L., J. M. B. de Oliveira-Junior, Y. Shimano, T. P. Mendes, & H. S. R. Cabette, 2014. Composição e riqueza de Odonata (Insecta) em riachos com diferentes níveis de conservação em um ecótono Cerrado-Floresta Amazônica. *Acta Amazonica Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia* 44: 223–233. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672014000200008>
- Kaufmann, P. R., P. Levine, E. G. Robison, C. Seeliger, & D. V. Peck, 1999. Quantifying physical habitat in wadeable streams. USEPA [National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Western Ecology Division.
- Kohnert, S., S. F. Perry, & A. Schmitz, 2004. Morphometric analysis of the larval branchial chamber in the dragonfly *Aeshna cyanea* Müller (Insecta, Odonata, Anisoptera). *Journal of Morphology* 261: 81–91. [10.1002/jmor.10230](https://doi.org/10.1002/jmor.10230)
- Kusin, F. M., M. S. A. Rahman, Z. Madzin, S. Jusop, F. Mohamat-Yusuff, M. Ariffin, 2017. The occurrence and potential ecological risk assessment of bauxite mine-impacted water and sediments in Kuantan, Pahang, Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research* 24: 1306–1321. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7814-7>
- Lamare, R. E., 2014. Degradation in Water Quality due to Limestone Mining in East Jaintia Hills, Meghalaya, India. *International Research Journal of Environmental Sciences* 3: 2319–1414.
- Lamare R. E., & O. P. Singh, 2014. Degradation in Water Quality due to Limestone Mining in East Jaintia Hills, Meghalaya, India. *International Research Journal of Environmental Sciences* 3: 2319–1414. : [www.isca.in](http://www.isca.in), [www.isca.me](http://www.isca.me)
- Legendre, P., & L. Legendre, 1998. Numerical ecology. Amsterdam: Elsevier.
- Leitão, R. P., J. Zuanon, D. Mouillot, C. Leal, R. Hughes, P. Kaufmann, S. Villéger, P. Pompeu, D. Kasper, F. Paula, S. Ferraz, & T. Gardner, 2018. Disentangling the pathways of land use impacts on the functional structure of fish assemblages in Amazon streams. *Ecography* 41: 219–232. [10.1111/ecog.02845](https://doi.org/10.1111/ecog.02845)
- Leadley, P., A. Gonzalez, D. et al., 2022. Achieving global biodiversity goals by 2050 requires urgent and integrated actions. *One Earth* 5: 597–603. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.05.009>
- Liu, H., 2003. Pipeline Engineering. CRC Press Company, London.
- McCullagh, P., & J. A. Nelder, 1989. Binary data. In: *Generalized linear models*. Springer US, 98–148.

- Mendes, T. P., N. L. Benone, & L. Juen, 2019. To what extent can oil palm plantations in the Amazon support assemblages of Odonata larvae?. *Insect Conservation and Diversity* 12: 448–458. <https://doi.org/10.1111/icad.12357>
- Mendes, T. P., J. M. B. Oliveira-Junior, H. S. R. Cabette, J. D. Batista, & L. Juen, 2017. Congruence and the Biomonitoring of Aquatic Ecosystems: Are Odonate Larvae or Adults the Most Effective for the Evaluation of Impacts. *Neotropical Entomology* 46: 631–641. <https://doi.org/10.1007/s13744-017-0503-5>
- Mendes, T. P., L. L. Amado, R. A. B. Ribeiro, & L. Juen, 2020. Morphological diversity of Odonata larvae (Insecta) and abiotic variables in oil palm plantation areas in the Eastern Amazon. *Hydrobiologia* 847: 161–175. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04079-y>
- Mendes, T. P., L. F. de Assis Montag, S. T. Alvarado, & L. Juen, 2021. Assessing habitat quality on alpha and beta diversity of Odonata larvae (Insect) in logging areas in Amazon forest. *Hydrobiologia* 848: 1147–1161. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04524-x>
- Miguel, T. B., J. M. B. Oliveira-Junior, R. Ligeiro, & L. Juen, 2017. Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. *Ecological Indicators* 81: 555–566. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.010>
- Moi, D. A., M. Barrios, G. Tesitore, M. Burwood, G. Q. Romero, R. P. Mormul, P. Kratina, L. Juen, T. S. Michelin, L. F. A. Montag, G. M. Cruz, J. García-Girón, J. Heino, R. M. Hughes, B. R. S. Figueiredo, & F. Teixeira de Mello, 2023. Human land-uses homogenize stream assemblages and reduce animal biomass production. *Journal of Animal Ecology* 92: 1176–1189. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13924>
- Moran, P. A. P., 1948. The Interpretation of Statistical Maps. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)* [Royal Statistical Society, Wiley] 10: 243–251. <https://www.jstor.org/stable/2983777>
- Monteiro Júnior, C. da S., L. Juen, & N. Hamada, 2015. Analysis of urban impacts on aquatic habitats in the central Amazon basin: Adult odonates as bioindicators of environmental quality. *Ecological Indicators* 48: 303–311. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.021>
- 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 Taylor & Francis* 16: 135–144. <https://doi.org/10.1080/13887890.2013.764798>
- Murguía, D. I., S. Bringezu, & R. Schaldach, 2016. Global direct pressures on biodiversity by large-scale metal mining: Spatial distribution and implications for conservation. *Journal of Environmental Management* 180: 409–420. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.040>
- Narangarvuu, D., T. Enkhdul, E. Erdenetsetseg, E. Enkhrii-Ujin, K. Irmuunzaya, G. Batbayar, K. Oyundelger, R. S.-W. Yam, & M. Pfeiffer, 2023. Mining and urbanization affect river chemical water quality and macroinvertebrate communities in the upper Selenga River Basin, Mongolia. *Environmental Monitoring and Assessment* 195: 1500. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12022-x>
- Naliati, M.B., M.R.S, Almeida, & B.G. Fonseca, 2019. A importância da multimodalidade no transporte brasileiro. *Revista Científica Unilago*. <https://revistas.unilago.edu.br/index.php/revista-cientifica/article/view/171>

- Nessimian, J. L., E. M. Venticinque, J. Zuanon, P. De Marco, M. Gordo, L. Fidelis, J. D'arc Batista, & L. Juen, 2008. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia* 614: 117–131. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9441-x>
- Nunes, S., J. Barlow, T. Gardner, M. Sales, D. Monteiro, & C. Souza, 2019. Uncertainties in assessing the extent and legal compliance status of riparian forests in the eastern Brazilian Amazon. *Land Use Policy* 82: 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.051>
- Oliveira-Junior, J. M. B., & L. Juen, 2019. The Zygoptera/Anisoptera Ratio (Insecta: Odonata): a New Tool for Habitat Alterations Assessment in Amazonian Streams. *Neotropical Entomology* 48: 552–560. <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00672-x>
- Peel, M. C., B. L. Finlayson, & T. A. McMahon, 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Copernicus GmbH* 11: 1633–1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Peck, D., A. Herlihy, B. Hill, R. Hughes, P. Kaufmann, D. Klemm, J. Lazorchak, F. McCormick, S. Peterson, P. Ringold, T. Magee, & M. Cappaert, 2006. Environmental Monitoring and Assessment Program-Surface Waters Western Pilot Study: Field Operations Manual for Wadeable Streams. .
- Pires, M. M., N. F. D. Müller, C. Stenert, & L. Maltchik, 2020a. Influence of different riparian vegetation widths and substrate types on the communities of larval Odonata (Insecta) in southern Brazilian streams. *Acta Limnologica Brasiliensia Associação Brasileira de Limnologia* 32: e301. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2520>
- Pires, M. M., A. E. Siegloch, M. I. M. Hernández, & M. M. Petrucio, 2020b. Environmental drivers and composition of assemblages of immature odonates (Insecta) in a subtropical island in southern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia Associação Brasileira de Limnologia* 32: e2. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X8017>
- Pinto A. P. Odonata in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. PNUD <http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/171>. Acessado em 10 de setembro de 2022
- Poff, N. L., J. D. Olden, N. K. M. Vieira, D. S. Finn, M. P. Simmons, & B. C. Kondratieff, 2006. Functional trait niches of North American lotic insects: traits-based ecological applications in light of phylogenetic relationships. *Journal of the North American Benthological Society Society for Freshwater Science* 25: 730–755. [https://doi.org/10.1899/0887-3593\(2006\)025\[0730:FTNONA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1899/0887-3593(2006)025[0730:FTNONA]2.0.CO;2)
- R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>
- Ribeiro, C., L. Juen, & M. E. Rodrigues, 2021. The Zygoptera/Anisoptera ratio as a tool to assess anthropogenic changes in Atlantic Forest streams. *Biodiversity and Conservation* 30: 1315–1329. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02143-5>
- Ribeiro, R. A., L. Juen, & L. S. Brasil, 2022. Habitat conditions in streams influence Odonata larval assemblages in the eastern Amazon. *International Journal of Odonatology* 25: 22–30. <https://doi.org/10.48156/1388.2022.1917160>
- Resende, B. O., V. R. S. Ferreira, L. S. Brasil, L. B. Calvão, T. P. Mendes, F. G. de Carvalho, C. C. Mendoza-Penagos, R. C. Bastos, J. S. Brito, J. M. B. Oliveira-Junior, K. Dias-Silva, A. Luiza-Andrade, R. Guillermo, A. Cordero-Rivera, & L. Juen, 2021. Impact of environmental changes on

the behavioral diversity of the Odonata (Insecta) in the Amazon. *Scientific Reports Nature Publishing Group* 11: 9742. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88999-7>

Rodrigues, M. E., F. de Oliveira Roque, J. M. O. Quintero, J. C. de Castro Pena, D. C. de Sousa, & P. De Marco Junior, 2016. Nonlinear responses in damselfly community along a gradient of habitat loss in a savanna landscape. *Biological Conservation* 194: 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.001>

Samways, M. J., & N. J. Sharratt, 2010. Recovery of endemic dragonflies after removal of invasive alien trees. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology* 24: 267–277. [10.1111/j.1523-1739.2009.01427.x](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01427.x)

Sahlén, G., 2005. Specialists vs. generalists in the Odonata - the importance of forest environments in the formation of diverse species pools. , <https://www.semanticscholar.org/paper/Specialists-vs.-generalists-in-the-Odonata-the-of-Sahl%C3%A9n/3aeaaf6e1512a6957fd6ce968f75131d7c1a3bb3>.

Sahlén, G., 2005. Specialists vs. generalists in the Odonata—the importance of forest environments in the formation of diverse species pools. *Forests and dragonflies* 153-179.

Silva, L. F. R., D. M. P. Castro, L. Juen, M. Callisto, R. M. Hughes, & M. G. Hermes, 2021. A matter of suborder: are Zygoptera and Anisoptera larvae influenced by riparian vegetation in Neotropical Savanna streams?. *Hydrobiologia* 848: 4433–4443. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04642-6>

Šigutová, H., J. Šipoš, & A. Dolný, 2019. A novel approach involving the use of Odonata as indicators of tropical forest degradation: When family matters. *Ecological Indicators* 104: 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.05.001>

Shimano, Y., & L. Juen, 2016. How oil palm cultivation is affecting mayfly assemblages in Amazon streams. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology EDP Sciences* 52: 35–45. <https://doi.org/10.1051/limn/2016004>

Shimano, Y., M. Cardoso, & L. Juen, 2018. Ecological studies of mayflies (Insecta, Ephemeroptera): Can sampling effort be reduced without losing essential taxonomic and ecological information?. *Acta Amazonica Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia* 48: 137–145. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201700583>

Sonter, L. J., S. H. Ali, & J. E. M. Watson, 2018. Mining and biodiversity: key issues and research needs in conservation science. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences Royal Society* 285: 20181926. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1926>

Stine, R. A., 1995. Graphical Interpretation of Variance Inflation Factors. *The American Statistician* 49: 53. <https://doi.org/10.2307/2684812>

Strahler, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 38, 913-920. <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>

Valente-Neto, F., F. de Oliveira Roque, M. E. Rodrigues, L. Juen, & C. M. Swan, 2016. Toward a practical use of Neotropical odonates as bioindicators: Testing congruence across taxonomic resolution and life stages. *Ecological Indicators* 61: 952–959. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.052>

- Vannote, R. L., G. W. Minshall, K. W. Cummins, J. R. Sedell, & C. E. Cushing, 1980. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* NRC Research Press 37: 130–137. <https://doi.org/10.1139/f80-017>
- Van Den Wollenberg, A. L., 1977. Redundancy analysis an alternative for canonical correlation analysis. *Psychometrika* 42: 207–219. <https://doi.org/10.1007/BF02294050>
- Zhukov, V. V., & B. A. Bogatyrev, 2012. Dynamic models of lateritic bauxite formation. *Geology of Ore Deposits* 54: 370–397. <https://doi.org/10.1134/S1075701512050066>
- Zuur, A.F., E.N., Ieno, N.J., Walker, A.A., Saveliev, & G.M. Smith, 2009. *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. New York: springer 574.