

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

VICTOR RENNAN SANTOS FERREIRA

**EFEITO DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS SOBRE A BIODIVERSIDADE DE ODONATA E
CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE IGARAPÉS DA AMAZÔNIA**

Belém-PA
Junho, 2023

VICTOR RENNAN SANTOS FERREIRA

**EFEITO DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS SOBRE A BIODIVERSIDADE DE ODONATA
E CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE IGARAPÉS DA AMAZÔNIA**

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 Doutor em Ecologia.

Área de concentração: Ecologia.

Linha de Pesquisa: Ecologia de Comunidades e Ecossistemas

Orientador: Prof. Dr. Leandro Juen

Belém – PA
Julho, 2023

**EFEITO DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS SOBRE A BIODIVERSIDADE DE ODONATA
E CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE IGARAPÉS DA AMAZÔNIA**

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 Doutor em Ecologia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Leandro Juen
Universidade Federal do
Pará (Presidente)

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior
Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Rhainer Guillermo Nascimento Ferreira
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Prof. Dr. Leandro Schlemmer Brasil
Universidade Federal do Mato Grosso

Prof^ª. Dr^ª. Lenize Batista Calvão
Universidade Federal do Pará

Prof^ª. Dr^ª. Karina Dias da Silva
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Ricardo Koroiva
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Marciel Elio Rodrigues
Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia

Aprovado em:

Local da apresentação pública: Vídeo Conferência via Google Meet no dia 25/08/2023

Ficha Catalográfica

**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)**

S237e Santos Ferreira, Victor Rennan.
Efeito das atividades antrópicas sobre a biodiversidade de
Odonata e condições ambientais de Igarapés da Amazônia / Victor
Rennan Santos Ferreira. — 2023.
182 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Leandro Juen
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de
Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ecologia,
Belém, 2023.

1. bioindicador. 2. uso do solo. 3. centro de endemismo
Belém. 4. biodiversidade. 5. biomonitoramento. I. Título.

CDD 301.3

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer as instituições e empresas relacionadas a essa pesquisa, começando pela Universidade Federal do Pará (UFPA), que através do Programa de Pós-Graduação em Ecologia me forneceu toda a base intelectual e estrutural para concluir o meu doutorado. A UFPA também, por meio da Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, subsidiou os custos de publicação e tradução dos artigos os quais participei ao longo desses anos, por isso, fica o meu muito obrigado. Gostaria de agradecer também a Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior por ter subsidiado diversas áreas do meu doutorado, como os referentes as bolsas de estudos, recursos para coletas de campo, entre outras atividades. Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer a companhia Hydro, não só por fornecer bolsas de pesquisa, financiamentos de campo e capacitações técnicas, mas também por destinar reais esforços voltados ao meio ambiente mesmo em tempos nos quais a “porteiro foi aberta pra boiada passar”.

Posteriormente, gostaria de agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. Leandro Juen, foram 4 anos de muito aprendizagem e parceria. Mesmo com todas as ocupações, sempre me atendeu de forma imediata, lendo meus textos e tendo conversas esclarecedoras. Não posso deixar de falar que mesmo não podendo retornar ao País durante o auge da pandemia, me deu todo o suporte necessário para me manter seguro dentro de casa. Por fim, acima de tudo, Leandro me abriu várias portas que eu não esperava entrar tão cedo. Como diria um antigo ditado “escolha pessoas que fariam seu nome em uma sala cheia de oportunidades”, portanto, hoje tenho a plena certeza de que fiz a escolha certa! Muito obrigado por tudo Leandro.

Gostaria de agradecer também a família, que são indispensáveis em tempos tão turbulentos. Uma verdadeira montanha russa de acontecimentos, nos quais, mesmo tão longe, vocês estavam lá comigo. Pais professores “Filho de peixe, peixinho é” não poderia ser diferente. Portanto, mãe, pai, vô e vó, obrigado por tudo, vocês sempre foram e sempre serão os meus faróis norteadores de vida! Aos meus irmãos, fica aqui também o meu salve eterno (TMJ).

Agradeço também aos parceiros e parceiras, que vão além de amigos na minha vida, por toda a experiência trocada. Em especial, gostaria de agradecer a minha grande parceira Bethânia, foram muitos anos caminhando juntos né?! Toda essa pesquisa só aconteceu porque idealizamos e corremos atrás juntos, então, por isso e diversos outros motivos, muito obrigado! Esse mérito aqui também é seu...

Gostaria de agradecer também aos meus coabitantes. Primeiramente ao Guilherme. Foram muitas conversas produtivas (e bem improdutivas também rsrs), descontração e vivências juntos nesse último ano; não poderia deixar de agradecer também a Flávia, por ter me suportado no final do 2º tempo. E depois preciso agradecer aos meus grandes parceiros de vida, que transcendem nessa odisseia comigo a anos, superando todas as fases e espaços que a vida anda me levando, tamo junto sempre Ganja, Raya e Chubas! (que, nesse momento, estão, como sempre, dormindo...).

Por fim, gostaria de agradecer a todos os professores que passaram em minha jornada. Vocês são o alicerce disso tudo! Professores membros da banca também fica aqui meu agradecimento especial por dedicar o tempo e sabedoria de vocês a essa pesquisa. Deixo também meus profundos agradecimentos aos coautores das pesquisas que estou desenvolvendo e a equipe do Laboratório de Ecologia e Conservação por toda a ajuda que foi me dada, com vários debates de ideias e muita labuta quando necessário. Enfim, obrigado pela coletividade fornecida ao longo desses anos. “uma formiga sozinha não faz o formigueiro”.

Epígrafe:

Talvez seja, simplesmente, pelo meu fascínio a magia da realidade... Richard Dawkins

Sumário

Resumo Geral	1
Introdução Geral	3
Referências Bibliográficas	7
1º Capítulo: AMAZONIAN ODONATA TRAIT BANK	11
Abstract	11
Introduction	12
Material and Methods	13
Study area	13
Trait Bank Creation Process	14
Dispersion and similarity of traits	17
Results	18
Morphometrics	18
Reproductive behaviors	21
Adult habitat preference	25
Thermoregulation	28
Geographic distribution	28
Larval habits and habitats	29
Gaps in the literature	32
Discussion	33
Morphometrics	33
Types of behavior	34
Adult habitat preference	36
Thermoregulation	36
Geographic distribution	37
Larval habits and habitats	37
Gaps in the literature	39
Final considerations	39
Acknowledgements	40
Funding	40
References	40
Material Suplementar	47
2º Capítulo: EFEITO DE UM MINERODUTO SOBRE A DIVERSIDADE DE ODONATA E CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DE IGARAPÉS DO CENTRO DE ENDEMISMO DE BELÉM - AMAZÔNIA	48
Resumo	48
Introdução	48
Material e Métodos	51
Área de estudo	51
Mineroduto	52
Coleta dos dados	53
Variáveis ambientais	54
Análise de dados	55
Resultados	57
Condições ambientais	57
Padrão geral da comunidade de Odonata	59
Abundância e Riqueza de espécies	60
Composição de espécies	60
Diversidade e Métricas Ambientais	64
Discussão	68
Conclusão	71
Agradecimentos	71
Referências Bibliográficas	72

Material Suplementar	78
3º Capítulo: FRAGMENTAÇÃO E REPRESAMENTO DE IGARAPÉS AMAZÔNICOS PELA AÇÃO DE ESTRADAS E DE UM MINERODUTO	91
Resumo	91
Introdução	92
Material e Métodos	95
Área de estudo	95
Coleta dos dados	98
Variáveis ambientais	98
Análise de dados	99
Resultados	101
Condições ambientais	101
Odonatofauna	102
Abundância e Riqueza de espécies	102
Composição de espécies	103
Discussão	104
Conclusão	106
Agradecimentos	107
Referências Bibliográficas	107
Material Suplementar	113
4º Capítulo: USO DA TERRA NA AMAZÔNIA E SUAS IMPLICAÇÕES PARA A BIODIVERSIDADE DE ODONATA	122
Resumo	122
Introdução	123
Material e Métodos	127
Área de estudo	127
Categorização dos pontos amostrais	129
Classificação do uso e cobertura do solo	130
Dados biológicos	131
Condições ambientais	131
Análise de dados	132
Resultados	134
Condições ambientais e de paisagem	134
Perfil Taxonômico das comunidades de Odonata	136
Biodiversidade de Odonata	137
Discussão	140
Conclusão	142
Agradecimentos	143
Referências Bibliográficas	143
Material Suplementar	149
Conclusão Geral	181
Atividades Complementares	182

Resumo Geral

A Amazônia é conhecida como uma das áreas de maior biodiversidade do mundo, com importância para os serviços ecossistemas e para o equilíbrio das condições climáticas mundial. Porém, apesar dessa importância, tem enfrentado o aumento das atividades antrópicas que resultam na perda de biodiversidade. Nos últimos anos, essas explorações (e.g. monocultura de palma de dendê, pastagem, mineração, mineroduto e urbano) aumentaram drasticamente no Brasil, principalmente em função do crescimento das atividades na região associado as políticas ambientais desastrosas. Outro ponto que deixa esse cenário ainda mais drástico é que a biodiversidade ainda é subestimada, com muitas espécies desconhecidas, tendo as informações de distribuição espacial e suas relações com as condições ambientais ainda muito limitadas. Essas lacunas dificultam ou impossibilitam o planejamento e estabelecimento de estratégias eficazes que mitiguem os impactos ambientais. Diante desse cenário, estudar e aprimorar técnicas que avaliem e monitorem os efeitos causados pelas atividades humanas são essenciais. Uma das ferramentas é o uso de grupos biológicos sensíveis a gradientes de mudanças do uso do solo, como é o caso dos insetos aquáticos da ordem Odonata. Alterações ambientais, mesmo aquelas mais sutis, podem substituir e/ou reduzir a população de determinadas espécies, gerando sinais que são capturados por métricas tradicionais taxonômicas, como a abundância, a riqueza e a composição de espécies. Aqui, buscamos testar tanto essas métricas convencionais de diversidade quanto aquelas envolvendo outras facetas da biodiversidade. Portanto, o objetivo geral foi avaliar os efeitos das atividades antrópicas sobre a diversidade de Odonata e condições ambientais de igarapés da Amazônia Oriental. Para atingir esses objetivos, a tese foi dividida em quatro capítulos cujos objetivos e principais resultados apresentamos abaixo: 1º) No primeiro capítulo nosso objetivo foi compilar e mensurar dados da biologia básica de Odonata, com a finalidade de produzir um banco de traços para ser utilizado em estudos ecológicos, como ocorre no quarto capítulo dessa tese. Levantamos informações para 218 espécies, contemplando 66 traços relacionados a morfologia, comportamento, hábito/habitat (larva e adulto), termorregulação e distribuição geográfica. Identificamos padrões funcionais esperados para as diferentes subordens, bem como evidenciamos uma forte correlação entre os diversos traços funcionais. Por fim, detectamos e discutimos lacunas de informações dentro da literatura disponível. No 2º e 3º capítulo, nossos objetivos foram avaliar, em uma perspectiva regional e local, quais os efeitos ambientais causados pela utilização de estradas de acesso e um mineroduto sobre igarapés amazônicos e se essas alterações foram capazes de interferir na estrutura da comunidade de Odonata. Concluímos que a presença do mineroduto represa o canal de água e fragmenta o fluxo de energia dos igarapés, sendo registrado uma redução no fluxo e maiores proporções de espécies, madeira e macrófitas na região a montante da passagem do mineroduto. Porém, estes efeitos não se mostraram tão severos sobre as comunidades de Odonata. Ressaltamos que os impactos menos acentuados sobre Odonata podem ser um reflexo do secular histórico de exploração humana realizado na região, que substituiu as espécies

mais sensíveis por generalistas ao longo do tempo, bem como a alta proporção de mata ciliar encontrada dentro dos pontos afetados pelo empreendimento. 4º) No quarto capítulo avaliamos a biodiversidade de Odonata da forma multidimensional (utilizando 12 métricas de biodiversidade) em diferentes usos e coberturas do solo (Floresta, monocultura de palma de dendê, pastagem, mineração, mineroduto e urbano), investigando quais as dimensões e métricas são mais sensíveis ou precisas para mensurar os cenários de alterações antrópicas mais comuns no centro de endemismo de Belém, buscando relacionar os padrões encontrados com variáveis ambientais locais observadas. Nossos resultados evidenciaram uma baixa complementaridade entre as dimensões taxonômicas, funcionais e filogenéticas na biodiversidade de Odonata na Amazônia demonstrando ser adequado utilizar qualquer uma dessas dimensões, mesmo havendo uma pequena perda de informação. Ressaltamos ainda que a conversão de áreas naturais em antropizadas reduzem a variação biológica de Odonata, onde as comunidades pertencentes a zonas urbanas e com efeitos secundários da mineração são as mais drasticamente afetadas. Por fim, evidenciamos que algumas métricas são mais importantes do que outras a depender da comunidade avaliada, sendo a abundância e a riqueza funcional as que devem ser obrigatoriamente contemplados. Com conclusões principais da tese podemos destacar que ainda existem lacunas de informações dentro da ordem, principalmente relacionadas as informações básicas de larvas e a termorregulação de adultos, o que dificulta ou inviabiliza a progressão de estudos funcionais com o grupo. O mineroduto e as estradas afetam as comunidades de Odonata e as condições ambientais dos igarapés, porém quando comparado com bacias de drenagem que são usadas para outras atividades antrópicas, as diferenças são minimizadas. Observamos um efeito de fragmentação do fluxo e represamento dos canais que são cortados pelo mineroduto, atribuímos esses resultados a má canalização dos igarapés ao transpor as pontes construídas para acessar a estrutura. Portanto, recomendamos manutenções mais frequente das pontes, bem como a construção de dispositivos que evitem a entrada de sedimentos da estrada e o redimensionamento dos bueiros. Além do mais, evidenciamos que Odonata é sensível a alterações ambientais causadas pelo homem, sendo indicados na avaliação e monitoramento da saúde de ambientes aquáticos na Amazônia. Por fim, dado que as métricas, abundância de espécies e riqueza funcional foram bastante explicativas em praticamente todos os usos e coberturas do solo, recomendamos sempre considerá-las em estudos que visem o monitoramento e avaliação de impactos ambientais na Amazônia.

Palavras-chave: bioindicador, uso do solo, sistemas aquáticos, centro de endemismo Belém, biomonitoramento, indicador ambiental, métrica de diversidade

Introdução Geral

A Amazônia é uma das florestas tropicais mais extensa (Ferraz et al. 2005), com aproximadamente 5,5 milhões de km², onde 60% dessa área se distribui em solos brasileiros (Santos et al. 2020). Possui uma complexa rede de drenagem de água doce, sendo encontrado um intricado conjunto de lagos, igarapés, igapós e grandes rios, como o Amazonas e seus afluentes. Estes rios por sua vez funcionam como barreiras geográficas naturais (Alves-Martins et al. 2019), que segrega e isola comunidades inteiras de uma dada região, sendo identificados, parcimoniosamente em oito centros de endemismos a partir dessa estruturação espacial (Haffer 1978, Cracraft 1985, Silva et al. 2002). Além disso, essas complexas redes hídricas propiciam habitats únicos para as espécies, muitas com distribuições endêmicas a essas condições ambientais. Evidenciando que a dinâmica hídrica desempenha um papel crucial na manutenção do equilíbrio ecológico da Amazônia que, conseqüentemente, apresenta um papel vital no ciclo hidrológico global, influenciando no clima e na circulação de água por todo o planeta (Marengo and Nobre 2001).

A complexidade de ambientes na Amazônia fornece habitat para inúmeras espécies, apresentando a maior diversidade de vida do planeta (Hoorn 2010). Possuindo aproximadamente 10% de todas as espécies de plantas, entre 6% a 10% das espécies de vertebrados e, provavelmente, uma parte similar ou superior em relação à fauna de invertebrados (Hamada et al. 2014). Apenas para artrópodes tropicais, as estimativas variam entre 10 e 80 milhões de espécies (Erwin 1982, Stork 1988). Mais especificamente para insetos aquáticos, uma estimativa realizada para a ordem Ephemeroptera, foi previsto um total de 11.155 espécies para o Brasil, das quais 10.864 ainda faltam serem descritas (Cardoso et al. 2015). Vale ressaltar que alguns destes valores podem estar subestimados, dado os baixos investimentos econômicos e humanos destinado a ciência em zonas tropicais (Marques and Lamas 2006, Hortal et al. 2015), bem como a dificuldade de acesso e de logística para realizar estudos em áreas remotas, como encontrada para chegar em muitas regiões Amazônicas (Alves-Martins et al. 2023, *no prelo*).

Apesar de tal grandeza biológica, a conversão de áreas naturais da Amazônia brasileira vem aumentando drasticamente nos últimos anos, principalmente em função da progressão do desenvolvimento humano na região associado as políticas ambientais desastrosas adotadas por governos anteriores (Menezes and Barbosa 2021). Essas conversões são ocasionadas por diferentes setores da economia humana, sendo as principais derivadas da produção de soja e gado (Nepstad et al. 2006); fragmentação de habitat e efeito de borda gerado por rodovias (Leitão et al. 2018), linhões para o transporte de energia elétricas (Hyde et al. 2018) e minerodutos (Ferreira, et al. 2023) e queimadas (Pedlowski et al. 1997). Apesar de ser atividades associadas a ambientes terrestres, as alterações que ocorrem na bacia de drenagem apresentam influências químicas e físicas sobre todos

os igarapés que ali fluem, seja por processos de lixiviação, erosão ou contaminação do lençol freático (Juen et al. 2016). No entanto, existem aquelas alterações que afetam diretamente os ambientes aquáticos, esses efeitos tendem a ser mais acentuados sobre os igarapés e rios, como as construções de barragens e de hidrelétricas (Couto et al. 2023), atividades de mineração, que por sua vez, requerem quantidades massivas de água (Coelho and Monteiro 2007), contaminação em função da urbanização (Monteiro Júnior et al. 2015) e demais atividades humanas.

As atividades humanas na floresta Amazônica muitas vezes são altamente impactantes e não sustentáveis, sendo a agropecuária e mineração a base financeira da sociedade que vive na Amazônia brasileira (Ministério da Fazenda, 2022). Essas atividades fornecem importantes matéria-prima para diversos outros setores da economia, sendo, portanto, essencial ao desenvolvimento do País (Ministério da Economia 2018). Essa *looby* é amplamente utilizado no campo político e diante do baixo índice de desenvolvimento humano da região. Novas estruturas de negócios sustentáveis e rentáveis não conseguem se estabelecer na economia local (Machado, 2020), tendo no máximo, tentativas de “*green washing*” por parte das empresas (Cherry and Sneirson 2012), já que pautas ambientais estão em alta no mercado, bem como as sanções ou restrições de mercados exteriores.

Infelizmente o atual modelo econômico exercido em solos amazônicos não vai mudar nos próximos anos (para não dizer décadas), estudos que visam avaliar os efeitos das atividades humanas em relação a biodiversidade são fundamentais, pois, dessa forma, podemos tomar medidas que eliminem ou minimizam seus impactos sobre o ecossistema. O monitoramento de fauna vem se mostrando uma ferramenta útil para captar sinais de alterações ambientais consequentes de atividades humanas (Bonada et al. 2006), inclusive, essa abordagem tem sido usada para alguns grupos de invertebrados terrestres (e.g. Majer 1983, Hinton and Veiga 2005, Zeppelini et al. 2009, Bastías et al. 2013) e aquáticos e.g. (Cain et al. 2009, Miguel et al. 2017b, Faria et al. 2023). A ordem Odonata por exemplo, vem sendo demonstrada como um ótimo indicador ambiental (Oertli 2008, Miguel et al. 2017b, Oliveira-Junior and Juen 2019). Além de terem sua taxonomia, biologia e ciclo relativamente bem conhecidos (Corbet 1999), apresentam baixos custos de coleta e respondem a diferentes condições ambientais através da inclusão e exclusão de espécies (Oliveira-Junior and Juen 2019), podendo, inclusive, ser utilizadas para indicar condições ambientais tanto em estudos aquáticos como terrestres.

A ordem Odonata é uma taxa cosmopolita, com aproximadamente 5.956 espécies espalhadas pelo mundo (Suhling et al. 2015), sendo que no Brasil são encontradas 828 espécies, distribuídas em 14 famílias e 140 gêneros. Predadores por toda a vida dependem e são, geralmente, encontrados perto de corpos d'água. O grupo é subdividido em três subordens: Zygoptera, Anisoptera e Anisozygoptera. Porém, apenas as subordens Zygoptera e Anisoptera ocorrem na região Neotropical, sendo Anisozygoptera restrito a Ásia (Brockhaus and Hartmann 2009). As libélulas são organismos

extremamente dependentes da energia solar a sua volta (May 1991). Por essa razão, são classificadas de acordo com seus comportamentos e necessidades ecofisiológicas em conformadoras termais, heliotérmicas e endotérmicas (Corbet and May 2008). Além do mais, apresentam ciclo de vida anfibiótico, vivendo grande parte da vida sob uma fase larval aquática e, quando adulto, desenvolve asas e coloniza o ambiente terrestre, sendo, no entanto, dependentes dos corpos d'água para forragear e reproduzir (Corbet 1999).

Diante da diversidade comportamental, fisiológica e morfológica encontrada dentro do grupo, além da quantidade de estudos sendo realizados com a ordem (que tem crescido nos últimos anos (Miguel et al. 2017a, Oliveira-Junior et al. 2022), era de se esperar uma proporção razoável de traços funcionais descritos e disponibilizados na literatura. No entanto, lacunas de informação dentro do grupo são frequentemente debatidas, principalmente para espécies neotropicais (Bastos et al. 2019, Carvalho et al. 2022, Ferreira et al. 2023). Dados como esses permitiriam o monitoramento da “saúde” de ambientes aquáticos por meio dos diferentes aspectos da vida desses organismos, fornecendo, assim, evidências mais robustas do que pode estar acontecendo dentro de igarapés, rios e suas matas ciliares.

Como exposto, uma das grandes fontes econômicas do centro de endemismo de Belém é a mineração, com destaque para o minério de bauxita, matéria prima na produção do alumínio (Abal 2017). Na região, dois polos industriais estão situados a uma distância de aproximadamente 250 km em linha reta. O polo de Paragominas é responsável pela extração do minério em jazidas espalhadas próximo ao centro urbano. Por outro lado, o beneficiamento e exportação da bauxita acontece no polo industrial localizado no município de Barcarena, próximo da capital paraense Belém. No intuito de tornar mais eficiente o transporte das 15 milhões de toneladas de bauxita extraídas por ano (Hydro 2022), em 2007, se iniciou o envio da bauxita por meio de um sistema de dutos propulsados por bombas de alta pressão. Esse mineroduto foi pioneiro na Amazônia, sendo necessário desenvolvimentos de estudos ambientais que acompanhassem seus possíveis efeitos sobre a fauna e flora local. Diante disso, a empresa norueguesa responsável pelo empreendimento de mineração, Hydro-Alunorte, propôs no ano de 2013 um acordo, chamado de Consórcio de Pesquisa em Biodiversidade Brasil-Noruega, com 4 instituições de pesquisa (incluindo a UFPA) e seus respectivos pesquisadores e pesquisadoras. O projeto tem como objetivo financiar pesquisas na área de restauração de ecossistemas. Nesse âmbito, os organismos aquáticos foram englobados ao consórcio, sendo a utilização da ordem Odonata uma das propostas indicadas para o biomonitoramento dos impactos ambientais causados pelo empreendimento sobre a biodiversidade.

A biodiversidade pode ser definida como a variação biológica encontrada em uma certa janela de tempo e espaço. É composta por inúmeras dimensões, sendo as taxonômicas, funcionais e filogenéticas as mais estudadas (Nakamura et al. 2019). Muito provavelmente, em função da escassez

de dados, a grande parte das pesquisas com Odonata são realizados com abordagens simplistas e unidimensionais, sendo levado em consideração poucas métricas taxonômicas, como a abundância, a riqueza e a composição de espécies (Miguel et al 2017a). Apesar das evidências utilizando essas abordagens sejam favoráveis a utilização de Odonata como bioindicadores, outros aspectos da vida desses organismos poderiam ser também levados em consideração, aprofundando os resultados e aprimorando as técnicas utilizadas a partir da ecologia desses insetos.

O fato é que a maior floresta tropical do mundo vem sendo explorada em um ritmo alarmante, aonde seus ecossistemas e habitantes são drasticamente prejudicados, podendo levar ao ponto de inflexão ou de esgotamento dos recursos hídricos, além de extinguir espécies chaves, que muitas vezes ainda não foram estudados pela ciência. Diante desse cenário, essa tese teve como objetivo avaliar os efeitos das alterações provenientes de atividades antrópicas sobre as condições ambientais e comunidades de Odonata habitantes de igarapés localizados na Amazônia Oriental brasileira, mais especificamente no centro de endemismo de Belém. Buscamos elucidar como as comunidades se comportam diante de diferentes usos e cobertura da terra, avaliando a relação dos padrões ambientais encontrados nos igarapés com as dimensões da biodiversidade de Odonata encontradas localmente. Para isso, a tese está dividida em quatro capítulos, onde no primeiro, compilamos e mensuramos dados da biologia básica das espécies de Odonata com ampla ocorrência na Floresta Amazônica Brasileira. Esse *database* por sua vez, fez parte das nossas análises de biodiversidade como dimensão funcional das espécies. No segundo capítulo, nossos objetivos foram avaliar as alterações causadas pela utilização de um mineroduto transportador de minério de bauxita sobre igarapés amazônicos e se os efeitos desses impactos atuam sobre a estrutura da comunidade de Odonata. Por fim, também identificamos quais variáveis ambientais influenciam na diversidade regional de Odonata, no intuito de elucidar se estas variam entre os igarapés afetados ou não pelo empreendimento. No terceiro capítulo, avançamos mais na questão do mineroduto, agora buscando avaliar quais os efeitos ambientais causados pela utilização de estradas de acesso a essa estrutura sobre igarapés amazônicos e se essas alterações são capazes de interferir na estrutura da comunidade de Odonata. E por fim, no quarto e último capítulo, o nosso objetivo foi avaliar a biodiversidade de Odonata da forma mais completa possível, isto é, sob diferentes dimensões e em diferentes usos e coberturas do solo, investigando quais as dimensões e métricas de diversidade são mais adequadas para cada cenário de alteração antrópica, sempre buscando relacionar os padrões encontrados as variáveis ambientais locais observadas.

O primeiro capítulo intitulado: *Amazonian Odonata traits bank*, foi publicado na revista *Ecology and Evolution* (doi.org/10.1002/ece3.10149). O segundo e terceiro capítulo estão adequados as normas e após incorporarmos as sugestões e modificações solicitadas pela banca, serão submetidos para as revistas *Insect Conservation and Diversity* e *Journal Insect Conservation*, respectivamente.

Por fim, pretendemos enviar o quarto capítulo a revista *Ecography*. A seguir apresentamos cada capítulo em formato de artigo.

Referências Bibliográficas

- Alves-Martins, F.; Brasil, L.S.; Juen, L.; De Marco Jr, P.; Stropp, J.; Hortal, J. 2019. Metacommunity patterns of Amazonian Odonata: the role of environmental gradients and major rivers. *PeerJ* 7: e6472.
- Alves-Martins et al. 2023 (*no prelo*). Uneven sampling affects continental patterns of Odonata species richness and their relation with climate variables in the Neotropics.
- Bastías, J.M.; Jambon, P.; Muñoz, O.; Manquián, N.; Bahamonde, P.; Neira, M. 2013. Honey as a bioindicator of arsenic contamination due to volcanic and mining activities in Chile. *Chilean journal of agricultural research* 73: 18–19.
- Bastos, R.C.; Brasil, L.S.; Carvalho, F.G.; Calvão, L.B.; Silva, J.O. de A.; Juen, L. 2019. Odonata of the state of Maranhão, Brazil: Wallacean shortfall and priority areas for faunistic inventories. *Biota Neotropica* 19.
- Bonada, N.; Prat, N.; Resh, V.H.; Statzner, B. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology* 51: 495–523.
- Brockhaus, T.; Hartmann, A. 2009. New records of *Epiophlebia laidlawi* Tillyard in Bhutan, with notes on its biology, ecology, distribution, zoogeography and threat status (Anisozygoptera: Epiophlebiidae)*. *Odonatologica* 38: 203–215.
- Cain, D.J.; Luoma, S.N.; Carter, J.L.; Fend, S. V. 2009. Aquatic Insects as Bioindicators of Trace Element Contamination in Cobble-Bottom Rivers and Streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49: 2141–2154.
- Cardoso, M.N.; Shimano, Y.; Nabout, J.C.; Juen, L. 2015. An estimate of the potential number of mayfly species (Ephemeroptera, Insecta) still to be described in Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia* 59: 147–153.
- Carvalho, F.G.; Duarte, L.; Seger, G.D.S.; Nakamura, G.; Guillermo-Ferreira, R.; Cordero-Rivera, A.; et al. 2022. Detecting Darwinian Shortfalls in the Amazonian Odonata. *Neotropical Entomology* 51: 404–412.
- Cherry, M.A.; Sneirson, J.F. 2012. Chevron , Greenwashing , and the Myth of “ Green Oil Companies .” *Journal of Energy, Climate and Env't* 3.
- Coelho, M.C.N.; Monteiro, M. de A. 2007. *Mineração e reestruturação espacial na Amazônia*. In: Coelho, M.C.N.; Monteiro, M. de A. (Eds.) 1st ed. NAEA, Belém, 281p.
- Corbet, P.S. 1999. *Dragonflies: behavior and ecology of Odonata*. Comstock Publishing Associates, New York, 829p.
- Corbet, P.S.; May, M.L. 2008. Fliers and perchers among Odonata: Dichotomy or multidimensional continuum? A provisional reappraisal. *International Journal of Odonatology* 11: 155–171.
- Couto, T.B.A.; Rezende, R.S.; de Aquino, P.P.U.; Costa-Pereira, R.; de Campos, G.L.; Occhi, T.V.T.; et al. 2023. Effects of small hydropower dams on macroinvertebrate and fish assemblages in

southern Brazil. *Freshwater Biology* 68: 956–971.

- Cracraft, J. 1985. Historical Biogeography and Patterns of Differentiation within the South American Avifauna : Areas of Endemism. *American Ornithologists*: 49–84.
- Erwin, T.L. 1982. Tropical Forests : Their Richness in Coleoptera and Other Arthropod Species. *The Coleopterists Bulletin* 36: 74–75.
- Faria, A.P.J.; Ligeiro, R.; Lenize, .; Calvão, B.; Giam, X.; Leibold, M.A.; et al. 2023. Land use types determine environmental heterogeneity and aquatic insect diversity in Amazonian streams. *Hydrobiologia* 2023: 1–18.
- Ferraz, S.F. de B.; Vettorazzi, C.A.; Theobald, D.M.; Ballester, M.V.R. 2005. Landscape dynamics of Amazonian deforestation between 1984 and 2002 in central Rondônia, Brazil: Assessment and future scenarios. *Forest Ecology and Management* 204: 69–85.
- Ferreira, V.R.S.; Resende, B.O.; Bastos, R.C.; Brito, J.S.; Carvalho, F.G.; Calvão, L.B.; et al. 2023. Amazonian Odonata Trait Bank. *Ecology and Evolution* 13: 1–21.
- Haffer, J. 1978. Distribution of Amazon Forest Birds. *Bonner Zoologischen Beiträge*: 38–76.
- Hamada, N.; Nessimian, J.L.; Querino, R.B. 2014. *Insetos Aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. In: Hamana, N.; Nessimian, J.L.; Querino, R.B. (Eds.) Editora do INPA, Manaus, 724p.
- Hinton, J.J.; Veiga, M.M. 2005. Earthworms as bioindicators of mercury pollution from mining and other industrial activities. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 2: 269–274.
- Hoorn, C. 2010. Amazonia Through Time : Andean. *Science* 330: 927–931.
- Hortal, J.; De Bello, F.; Alexandre, J.; Diniz-Filho, F.; Lewinsohn, T.M.; Lobo, J.M.; et al. 2015. Seven Shortfalls that Beset Large-Scale Knowledge of Biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst* 46: 523–572.
- Hyde, J.L.; Bohlman, S.A.; Valle, D. 2018. Transmission lines are an under-acknowledged conservation threat to the Brazilian Amazon. *Biological Conservation* 228: 343–356.
- Leitão, R.P.; Zuanon, J.; Mouillot, D.; Leal, C.G.; Hughes, R.M.; Kaufmann, P.R.; et al. 2018. Disentangling the pathways of land use impacts on the functional structure of fish assemblages in Amazon streams. *Ecography* 41: 219–232.
- Majer, J.D. 1983. Ants: Bio-indicators of minesite rehabilitation, land-use, and land conservation. *Environmental Management* 7: 375–383.
- Marengo, J.A.; Nobre, C.A. 2001. General Characteristics and Variability of Climate in the Amazon Basin and its Links to the Global Climate System. In: McClain, M.E.; Victoria, R.; Richey, J.E. (Eds.), *The Biogeochemistry of the Amazon Basin*, Oxford University Press, p.384.
- Marques, A.C.; Lamas, C.J.E. 2006. Zoological taxonomy in Brazil: State of the art, expectations and suggestions of future actions. *Papeis Avulsos de Zoologia* 46: 139–174.
- May, M.L. 1991. Thermal adaptations of dragonflies, revisited. *Advances in Odonatology* 5: 71–88.
- Menezes, R.G.; Barbosa, R. 2021. Environmental governance under Bolsonaro: dismantling institutions, curtailing participation, delegitimising opposition. *Zeitschrift fur Vergleichende Politikwissenschaft* 15: 229–247.

- Miguel, T.B.; Calvão, L.B.; Vital, M.V.C.; Juen, L. 2017a. A scientometric study of the order Odonata with special attention to Brazil. *International Journal of Odonatology* 20: 27–42.
- Miguel, T.B. cap. M. et al 2016ANLISE C.D.C. transportes. pd.; Oliveira-Junior, J.M.B.; Ligeiro, R.; Juen, L. 2017b. Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. *Ecological Indicators* 81: 555–566.
- Ministério do Meio Ambiente. 2001. Manual de normas e procedimentos para licenciamento ambiental no setor de extração mineral. : 1–124.
- Monteiro Júnior, C.D.S.; Juen, L.; Hamada, N. 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.
- Nepstad, D.C.; Stickler, C.M.; Almeida, O.T. 2006. Globalization of the Amazon soy and beef industries: Opportunities for conservation. *Conservation Biology* 20: 1595–1603.
- Oertli, B. 2008. The use of dragonflies in the assessment and monitoring of aquatic habitats. In: Córdoba-Aguilar, A. (Ed.), *Dragonflies and Damselflies: Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research*, 1st ed.Oxford University Press, New York, p.290.
- Oliveira-Junior, J.M.B.; Juen, L. 2019. The Zygoptera/Anisoptera Ratio (Insecta: Odonata): a New Tool for Habitat Alterations Assessment in Amazonian Streams. *Neotropical Entomology* 48: 552–560.
- Oliveira-Junior, J.M.B.; Rocha, T.S.; Vinagre, S.F.; Miranda-Filho, J.C.; Mendoza-Penagos, C.C.; Dias-Silva, K.; et al. 2022. A Bibliometric Analysis of the Global Research in Odonata: Trends and Gaps. *Diversity* 14: 1074.
- Pedlowski, M.A.; Dale, V.H.; Matricardi, E.A.T.; Pereira, E. 1997. Patterns and impacts of deforestation in Rondônia, Brazil. *Landscape and Urban Planning* 38: 149–157.
- Santos, J.C.; Vilela, D.S.; Almeida, W.R. de; Santos, B. dos; Santos, A.E. dos; Bezerra, L.M. de M.; et al. 2020. A rapid survey of dragonflies and damselflies (Insecta : Odonata) reveals 29 new records to Sergipe State , Brazil. *Heteriana* 2: 29–34.
- Silva, J.M.C. da; Novaes, F.C.; Oren, D.C. 2002. Differentiation of Xiphocolaptes (Dendrocolaptidae) across the river Xingu, Brazilian Amazonia: Recognition of a new phylogenetic species and implications. *British Omithologists' Club* 122: 185–194.
- Stork, N.E. 1988. Insect diversity: facts, fiction and speculation. *Biological Journal of the Linnean Society* 35: 321–337.
- Suhling, F.; Sahlén, G.; Gorb, S.; Kalkman, V.J.; Dijkstra, K.B.; van Tol, J. 2015. Order Odonata. In: Thorp, J.; Rogers, D.C. (Eds.), *Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates*, Vol. 1, 4th ed.Academic Press, p.893–932.
- Zeppelini, D.; Bellini, B.C.; Creão-Duarte, A.J.; Hernández, M.I.M. 2009. Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. *Biodiversity and Conservation* 18: 1161–1170.

1° Capítulo: AMAZONIAN ODONATA TRAIT BANK

Abstract

Discussion regarding the gaps of knowledge on Odonata is common in the literature. Such gaps are even greater when dealing with basic biological data for biodiverse environments like the Amazon Rainforest. Therefore, studies that address, classify and standardize functional traits allow the elaboration of a wide range of ecological and evolutionary hypotheses. Moreover, such endeavors aid conservation and management planning by providing a better understanding of which functional traits are filtered or favored under environmental changes. Here, our main goal was to produce a database with 68 functional traits of 218 Odonata species that occur in the Brazilian Amazon. We extracted data based on behavior, habit/habitat (larvae and adults), thermoregulation, and geographic distribution, from 419 literatures classify into different research lines. Moreover, we measured 22 morphological traits from approximately 2,500 adults and categorized the species distribution based on approximately 40,000 geographic records for the Americas. As a result, we provide a functional matrix and identified different functional patterns for the suborders, as well as a strong relationship between the different categories of traits. For this reason, we recommend the selection of key traits that represent a set of functional variables, reducing the sampling effort. In conclusion, we detect and discuss gaps in the literature and suggest research to be developed with the present Amazonian Odonata Trait Bank (AMO-TB).

Keywords: database, functional traits, bibliography, raunkiæran shortfalls, phenotype.

Introduction

The order Odonata is a group of insects with an amphibiotic life cycle, with an aquatic life stage as larvae that emerge into terrestrial adults (Suhling et al. 2015). They also have a long evolutionary history, with fossil records dating back to 268 million years ago in the Upper Permian (Bybee et al. 2021). Both features allowed colonization of diverse environments, such as forests, open fields, and water channels of different sizes, as well as several adaptations in morphology, behavior, and thermoregulatory traits, which consequently rule their life history and habitat selection (May 1976).

Sexual maturity brings several changes, mainly those related to predatory behavior. Males that allocated their energy on prey capture during the larval stage, now adopt a reproductive life strategy as adult, with complex courtship displays (Gibbons and Paine 1992, Guillermo-Ferreira et al. 2015), territorial defense (Grether 2019), and mate acquisition and guarding (Thornton and Switzer 2015). Adult females need to develop skills to select the best mates (Pena-Firme and Guillermo-Ferreira 2020) by identifying their ideal male patterns of color and behavior, as well as finding and choosing adequate oviposition sites (Guillermo-Ferreira and Del-Claro 2011, Rodrigues et al. 2019).

Odonates mostly rely on environmental heat to perform their daily activities. Theoretically, morphological and behavioral patterns have a positive-feedback relationship with heat gain and loss strategies. For instance, smaller species exhibit a larger surface/volume ratio, hence, tend to thermoregulate by convection and depend strongly on environmental temperature (May 1976). Conversely, larger species have a smaller surface/volume ratio and reduced heat loss by convection (De Marco et al. 2015), making them more tolerant to solar radiation and warmer temperatures (May 1976). Endothermic species may not follow these patterns and generate heat by contracting wing muscles. Moreover, due to the specific thermoregulatory demands of adult odonates, anthropic changes to the landscape may cause species turnover from forest specialists to species that are open-area specialists or habitat generalists (Calvão et al. 2018, Oliveira-Júnior and Juen 2019).

Odonata is a small group when considering the biodiversity patterns observed in Insecta (May 2019), with approximately 6,303 species worldwide distributed among two suborders for the Neotropics – Zygoptera and Anisoptera (Bybee 2021). These suborders reflect phylogenetic relationships, morphological and physiological peculiarities (May 2019). For example, Zygoptera species (damselflies) are usually smaller and slender, presenting lower dispersion capacity, and thermoregulate by heat exchange with the environment. These characteristics make them more sensitive to environmental changes (Oliveira-Júnior and Juen 2019). On the other hand, Anisoptera species (dragonflies) are larger and more robust, with large wings that sustain longer flights. They also use using solar radiation for thermoregulation and in some cases generate internal heat (Castillo-Pérez et al. 2022a).

Several regions detain a high diversity of dragonflies and damselflies. A great part can be found in forest remnants and other heterogeneous environments, rich in microhabitats and freshwater resources (Paulson 2006). As for the Amazon rainforest, recent estimates indicate that there are 503 species in the Brazilian territory only (Brasil et al. 2021). Nevertheless, it is worth highlighting that this number is probably underestimated given the gaps in collections throughout South America (Miguel et al. 2022).

Such information gaps on odonates are frequently discussed in the literature (Miguel et al. 2017, Bastos et al. 2019, Brasil et al. 2021, Carvalho et al. 2022), especially regarding the tropics where most species diversity is concentrated and less research is conducted (Laurance 2007, Hortal et al. 2015). The scarcity of fundamental biological data – for example, on geographic distribution, behavior, and thermoregulation – threaten global conservation efforts and limits testing of ecological and evolutionary hypotheses. In this scenario, it is evident the need for studies that address, classify, and standardize basic biology data for species in the tropics, hence, providing the basis for new lines of research that are currently impossible to carry out due to the before mentioned gaps. Here, we sought to fill some gaps by building a traits database. Therefore, our objective is to present and describe all the steps for the elaboration and construction of the Amazonian Odonata Trait Bank: (i) measures of different body structures; (ii) a compilation of literature data on reproductive behavior, thermoregulation, and habitat/habits for both stages (larvae and adults); and (iii) the compilation and curation of geographic coordinates to classify the distribution of Odonata recorded for the Brazilian Amazon. We also aim to detect and discuss gaps in the literature and suggest research to be developed with the present Trait Bank.

Material and Methods

Study area

The Amazon is one of the most extensive forests in the tropical zone, covering approximately 5.5 million km², with 60% of this area located in Brazilian territory (Macedo and Castello 2015). According to estimates, it has the greatest diversity of living organisms on Earth (Hoorn 2010). Despite such biodiversity, this ecosystem has been suffering heavily from deforestation, mainly due to soy and livestock production (Nepstad et al. 2006), habitat fragmentation and fires (Alencar et al. 2015), as well as changes in aquatic environments by hydroelectric plants and mining (Coelho and Monteiro 2007). The region has a humid tropical climate (Af) according to the Köppen classification and the predominant vegetation is categorized as Rain Forest (Veloso et al. 1991), with portions of Amazonian savannas (local name “canga”) found in rocky outcrops (Souza- Filho et al. 2019).

Trait Bank Creation Process

First, we organized a checklist of 218 species occurring in the Brazilian Amazon based on approximately 500 collection sites sampled over a decade by researchers of the Laboratory of Ecology and Conservation (LABECO) at the Federal University of Pará (see more in Mendoza-Penagos et al. 2022). Subsequently, we started the selection of traits and their categories. We emphasize that some groups of traits present different life history facets, in this way justifying the classification in different groups. Therefore, a portion of the groups of the traits was created based on the “Odonate Phenotypic DataBase”, which presents a continuous survey of Odonata phenotypical data (Waller et al. 2019). Unfortunately, it depicts only a little information on neotropical species. Therefore, to build other groups of traits, we used specific scientific papers that provided larvae lifestyle information (Carvalho and Nessimian 1998), thermoregulation aspects (May 1976, 1991, Corbet and May 2008), sexual behavior (Rodrigues et al. 2019, Resende et al. 2021), morphometrics (Pereira et al. 2019) and geographical distribution (Renner et al. 2019). Afterward, we carried out an active search for information on behavior, thermoregulation, geographic distribution, and habitats/habits of both stages (larval and adult) (see more in Table 1) in the scientific literature (books and articles) available in the databases: “Web of Science”, and “Google Scholar” (literature available in Appendix 1). The search was performed using the respective names of the 218 registered species as keywords (species names available in Appendix 2- AMO-TB). Due to the lack of published information for many species in the region, we complemented some information gaps by consulting specialists, as well as in “gray” literature such as theses and dissertations (Fig. 1). Finally, despite all efforts, some species (especially the rarest or recently described) lack certain basic information. Therefore, we performed congener extrapolations for the categories of behaviors and habits/habitats of larvae and adults by detecting the most frequent trait within the genus.

We measured 22 adult morphological traits (detailed in Table 1 and Appendix 3) with the aid of a stereomicroscope, a digital caliper (precision of 0.01 mm), and an analytical balance (precision of 0.0001g). Additionally, to optimize the accuracy of these measurements, as well as to dilute possible natural intraspecific variance, we repeated the measurement of each of the structures three times in at least five male specimens of each species. Finally, from the average of these measurements, we generated a fixed value of each trait for the species included in the study.

Finally, we surveyed the occurrence records of the 218 studied Amazonian species for the entire American continent. Part of these records was obtained from the digital platforms “species link” (www.specieslink.com) and “gbif” (www.gbif.org/). In addition, data provided/shared by different Brazilian research groups (LABECO, LENX, LESTES Lab) were included, as well as records available in more than 8,500 articles published for South America. All the data compiled at this stage added up to more than 40,000 occurrence records for the Americas (bibliography and

records available in Appendix 4 – AMO-TB). Subsequently, each of these species was classified according to its distribution amplitude along the biomes of the American continent (Olson et al. 2001, Appendix 5 – Figure): (i) short distribution (2 biomes); (ii) dispersed distribution (3-4 biomes); (iii) wide (5-6); and (iv) very wide (>7) distribution. The data processing and species classification processes were performed using the R environment (Development Core Team, 2022) (script available in Appendix 6). It is worth mentioning that all species classified as “distribution restricted to the Amazon” were validated from distribution maps prepared by the International Union for Conservation of Nature (IUCN, 2022).

The AMO-TB includes several metadata such as bibliographic reference files, figures, geographic coordinates, and script. We provide these appendices (1 to 9) in the online repository Dryad (<https://doi.org/10.5061/dryad.br15dvdg>).

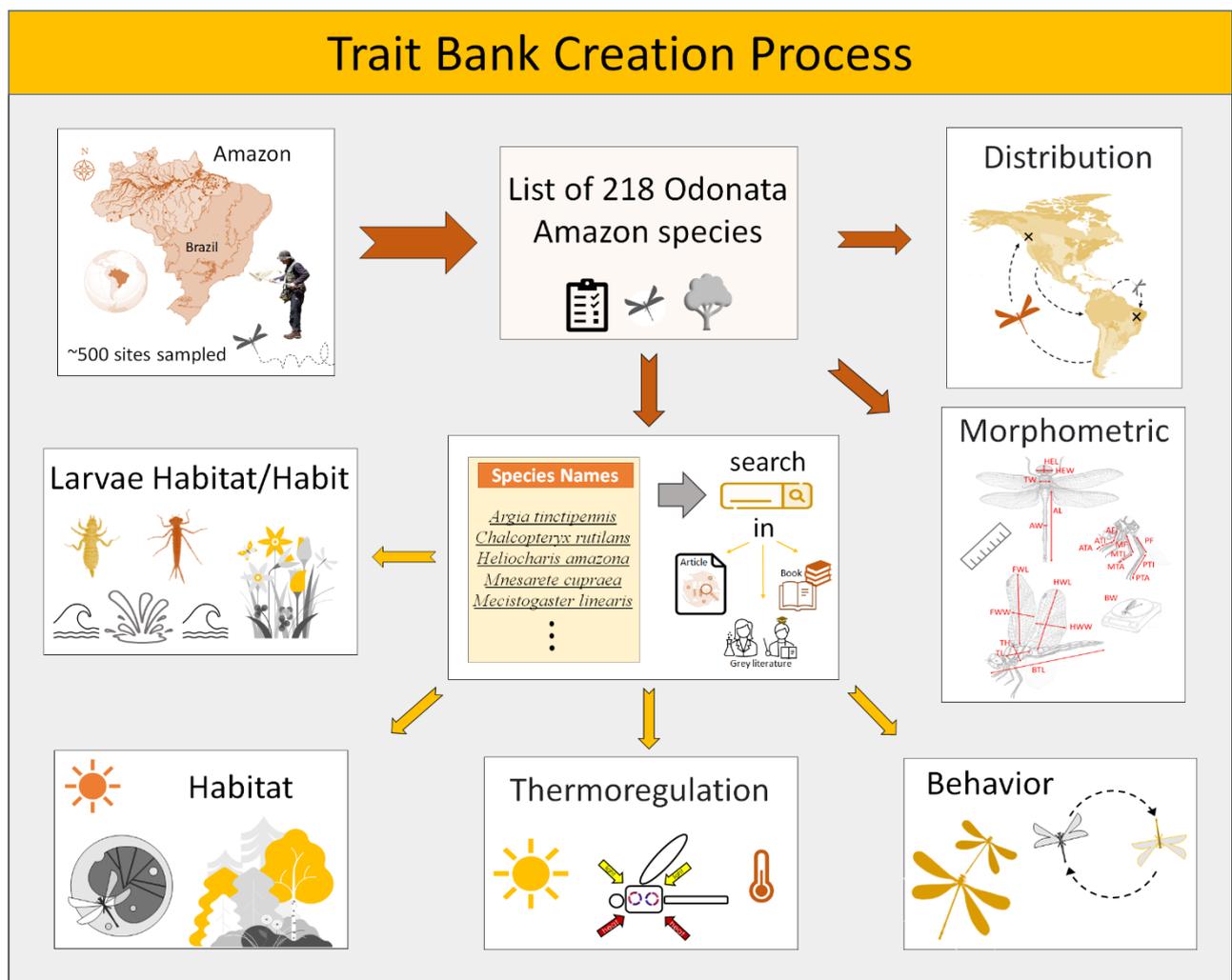


Figure 1 – The AMO-TB development step by step. We gathered information from 419 literatures on 68 traits for 218 species of Odonata Amazon. Moreover, we measured 22 morphological traits and categorized the species distribution based on approximately 40,000 geographic records for the Americas. Available in: Dryad repository (<https://doi.org/10.5061/dryad.br15dvdg>).

Table 1 – Classification and definition of the 68 traits compiled and measured for odonates of the Amazon Rainforest.

Traits group	Trait	Definition
Morphometric	body total length	distance between the distal tip of the head and the anal appendices
	fore wing length	distance from the base of the forewing to its apex
	fore wing width	middle forewing width
	hind wing length	distance from the base of the hindwing to its apex
	hind wing width	middle hindwing width
	abdomen length	distance between the proximal limit of abdominal S1 and the distal tip of the cercus
	abdomen width	middle abdomen width
	thorax length	distance between the mesepisternum proximal tip and the distal end of the metepimeron
	thorax width	distance between the thoracic ends in a dorsoventral plane
	thorax height	distance between the mesepisternum distal tip and the proximal end of the metepimeron
	head length	distance between clypeus distal apex and proximal limits of the eye
	head width	distance between the head tips in a dorsoventral plane
	anterior femur	distance between the proximal/distal tips of the anterior femur
	anterior tibia	distance between the proximal/distal tips of the anterior tibia
	tarsus anterior	distance between the proximal/distal tips of the anterior tarsus
	medial femur	distance between the proximal/distal tips of the medial femur
	medial tibia	distance between the proximal/distal tips of the medial tibia
	medial tarsus	distance between the proximal/distal tips of the medial tarsus
posterior femur	distance between the proximal/distal tips of the posterior femur	
posterior tibia	distance between the proximal/distal tips of the posterior tibia	
posterior tarsus	distance between the proximal/distal tips of the posterior tarsus	
body weight	dehydrated body weight in (g)	
Behavior	territoriality	copulation and oviposition in fixed territories (binary trait: yes/no)
	tandem	the male holds the female after mating
	non-contact	male guards female but no physical contact
	guarding	female alone, without the guard in oviposition
	no guard	exhibition for the female in the pre-copulation stage (yes/no)
	courtship	resolve disputes without contact, using some type of display (yes/no)
	agonistic display	lay eggs within living plant tissue
	endophytic	oviposition on the exposed surface
	epiphytic	lay eggs directly in the water
	exophytic	wood decomposition substrate
wood	plants, roots, mass algae, and debris underwater	
vegetal tissue	water surface	
water	water accumulated in the leaf sheaths of bromeliads and tree hollows	
phytotelma		
Adult Habitat Preference	pond	a small amount of backwater, with intermittent duration
	lake	a medium or large amount of dammed water, with perennial duration
	marsh	wetland dominated by grassy herbaceous vegetation, with ample solar incidence
	swamp	shaded wetland due to abundance of woody vegetation
	stream	water flowing within a channel
	river	large running water system
	forest	an area dominated by trees
open field	open areas predominated by herbaceous vegetation (eg pasture and savanna)	
Thermoregulation	thermal conformer	convective heat exchanges with the environment
	heliothermic	heat gain via direct solar radiation on the body
	endothermic	produces and distributes internal heat
	percher	sustains short flights and perched
	flier	fly constantly
Geographic Distribution	amazon	distribution restricted to the Amazon
	narrow	occurs in 2 biomes
	dispersed	3-4 biomes
wide	5-6 biomes	

	very wide	more than 7 biomes
Larval Habitat Preference	lentic lotic inorganic sediment leaf litter debris macrophytes roots phytotelma	closed water system, no water flow interconnected water system with current flow small matter originating from sedimentary processes (e.g. sand) organic matter composed of decaying leaves large debris from branches and rocks plants that inhabit aquatic environments (e.g. <i>Eichhornia</i> and <i>Pontederia</i>) root complex water accumulated in vegetable cavities
Larval Habits	climber swimmer clinger sprawler burrower	climbs branches and stems – vertical locomotion swims by serpentine movements common in running waters, as they live clinging to debris, plants, and rocks move over fine or floating sediments often buried in sedimented and inorganic substrate

Dispersion and similarity of traits

To visualize possible patterns of species distribution in multidimensional space based on multiple traits, we used a Principal Coordinates Analysis (PcoA) (Gower, 1966). This analysis was carried out separately by trait group once those categories contemplate different aspects of the life history of Odonata species. The appropriate methods of data transformation and similarity matrices were applied to each PcoA due to the plurality of data (continuous and/or discrete). Moreover, we used the fuzzy coding system to codify the binary data (adult habitat and habits/habitats of larvae). This procedure allows us to incorporate weighted information over habitat and habits plasticity from different records of the same species. Therefore, our final variable is an affinity index, whose values range from zero (no affinity for a particular category) to 100 (high affinity) (Chevenet 1994). We used the generalized Gower method with fuzzy variables and binary data distribution (Pavoine et al. 2009). For continuous data, we used standardization and Euclidean distance methods. We did not sort the thermoregulation data due to the great lack of information within this category (see more in results and discussion). In addition, the ordinations were made separately by suborder, due to the biological and ecophysiological distinctions of the groups. It is worth noting that in the plots, we also highlighted genera with different colors, to indicate that the taxonomic closeness among scores (representing species) is also explained through phylogenetic relationships. Finally, we performed a Pearson correlogram to demonstrate which morphometric traits are highly correlated, thus indicating a subset of variables that should be prioritized for future studies with odonates.

Results

We record and measure a total of 68 different traits for 218 odonate species widely distributed in the Amazon rainforest. These species are distributed in 58 genera and nine families. We summarize the results from AMO-TB and discuss potential implications.

Morphometrics

We selected 22 adult morphological traits that reflect basic requirements for odonate survival. These traits varied from small structures (leg parts) to the length/width of body parts (i.e., head, thorax, abdomen, and wings). Data was gathered from measurements of ~2,500 individuals and 240 morphometrical records from the literature (available in Appendix 7 –AMO-TB).

Results of the morphological space of damselflies represented by the ordination of the PcoA (Fig. 2A) show that *Mecistogaster* (Rambur, 1842) species exhibit the larger body sizes and wing lengths of forewings (FW), seconded by the dicteriadids *Heliocharis amazona* (Selys, 1853) and *Dicterias atosanguinea* (Selys 1853), which also exhibit the longer legs among damselflies, and the calopterygids *Hetaerina* (Selys, 1853) and *Mnesarete* (Cowley, 1934). *Ischnura capreolus* (Hagen, 1861) and *I. fluviatilis* (Selys, 1876) have the lowest values of weight, wing length, thorax width, and some leg measurements. The polythorids, *Chalcopteryx* (Selys, 1853) and *Polythore* (Calvert, 1917), remained isolated from other zygopteran species due to their peculiar morphology, with asymmetrical fore and hindwings, broad abdomen, and quadrangular thorax (Fig. 2A).

Analyzing the representatives of Anisoptera (Fig. 2B), morphometries such as thorax size, width of wings, and head were highlighted for *Cacoides latro* (Erichson, 1848), as well as dragonflies classified as fliers and, therefore, with well-developed wing muscles, such as *Diaphlebia angustipennis* (Selys, 1854) and *Gynacantha* (Rambur, 1842), all belonging to families of mostly endothermic species, that is, Gomphidae and Aeshnidae. On the other hand, the species of the genus *Perithemis* (Hagen, 1861) (Libellulidae) stood out as the smallest Amazonian dragonfly. However, it is worth mentioning that, although these small dragonflies stand out for their smaller body size, they do not necessarily present the smallest sizes in the other variables. On the other hand, the genus *Orthemis* (Libellulidae) is represented by relatively large species.

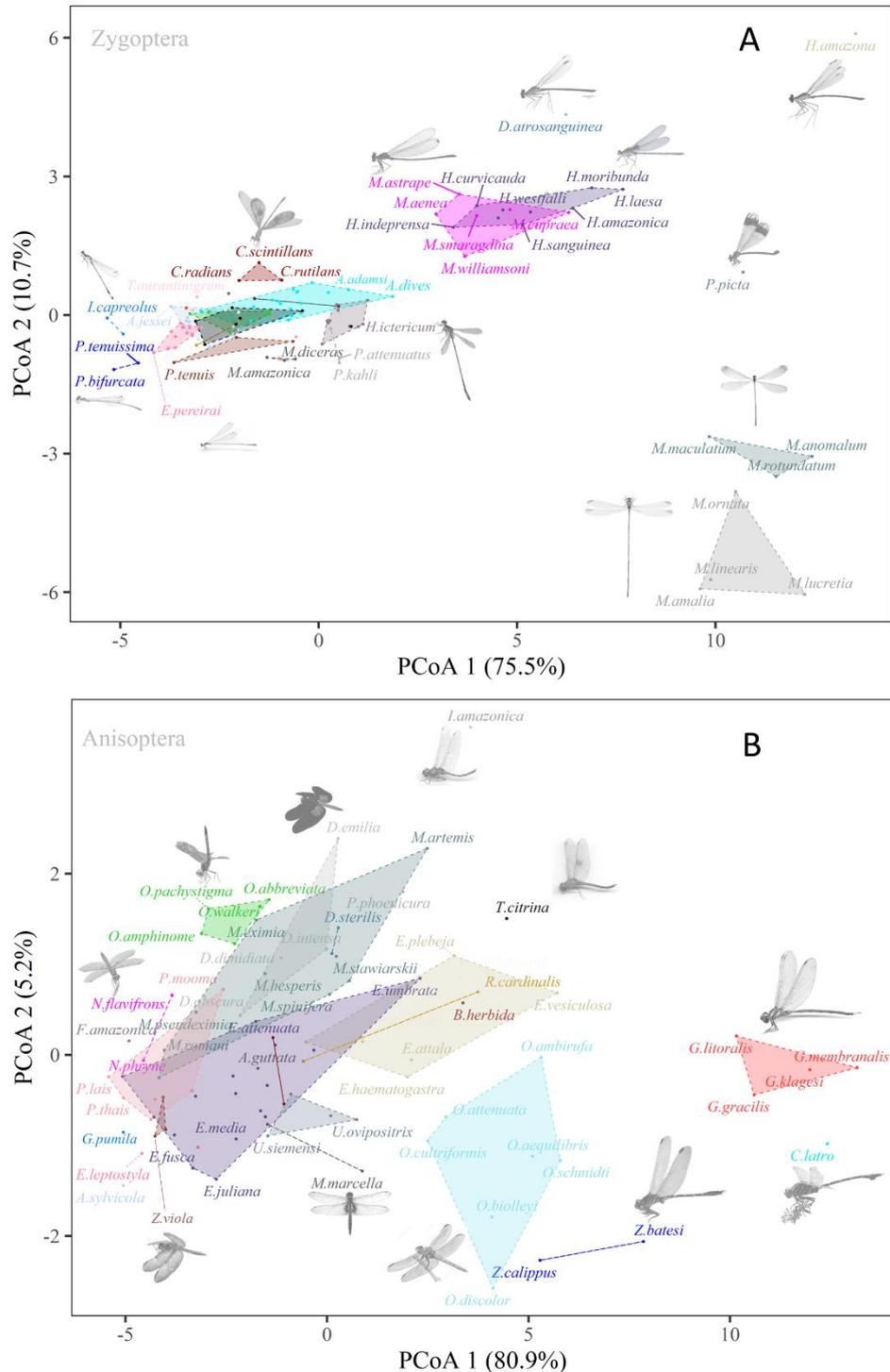


Figure 2 – Ordering of species according to 22 morphological traits of the different Odonata suborders. The colors represent the different genera.

Regarding the ordination of suborders, it is noteworthy that there is a major variation in the morphometrics of dragonflies, as well among genera. For example, the genera with the highest numbers of species (e.g., *Erythrodiplax*, *Micrathyria*, and *Erythemis*) show wide divergence in their measurements. Meanwhile, damselflies genera such as *Argia* (Rambur, 1842), *Epipleoneura* (Williamson, 1915), and *Acanthagrion* (Selys, 1876) occupied small spaces of morphometric variation in the ordering. Furthermore, it is evident that the total body size and length of the abdomen

and the length of the wings vary greatly within both suborders when observing the standard deviation of the morphometric traits (Fig. 3). This variation is greater in Zygoptera than Anisoptera, largely due to the peculiar shape of Pseudostigmatidae *stricto sensu*. However, there are similarities between the patterns of deviation between the suborders, mainly concerning the leg segments (femur, tibia, and tarsus).

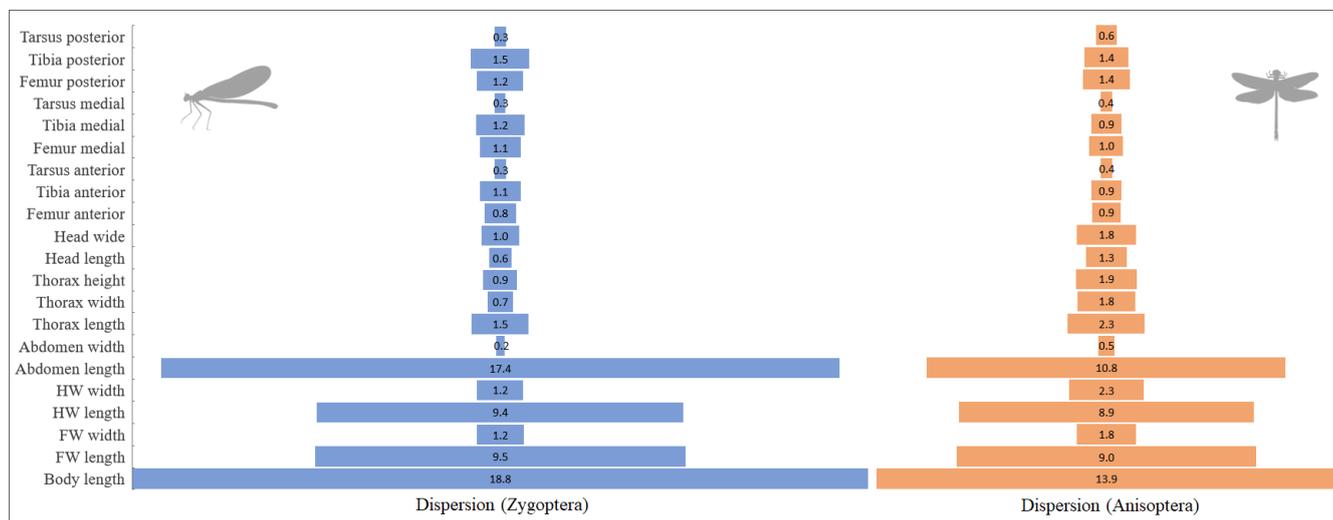


Figure 3 – Morphological standard deviation found in different Odonata suborders occurring in Amazon Rainforest.

When evaluating the morphological correlation matrix (Fig. 4) for the order Odonata, some patterns and conclusions appeared. For example, the length and width of the same wing do not exhibit a high correlation percentage (69%). On the other hand, the shape of the fore and hind wings is generally very similar between species. Moreover, there is a minimal correlation between the length and width of the abdomen (8%). Conversely, the length, width, and height of the thorax are correlated, with a correlation percentage of 94%, 92%, and 84%, respectively. Furthermore, the length and width of the head present a strong correlation (89%), with either measurement being a valid representation of head dimensions. We recommend the width, as it is easier to measure. Additionally, the leg segments are isometric, with minor exceptions for the correlations between tibia and tarsus sizes. The body weight tends to correlate with other measurements, especially thorax and head measurements. However, there are exceptions to this pattern due to non-collinearity of weight, abdomen length, and total body size. Lastly, the total body size and the length of the abdomen showed low correlation values with most other morphometric traits, hence, important traits to be maintained in studies on morphology.

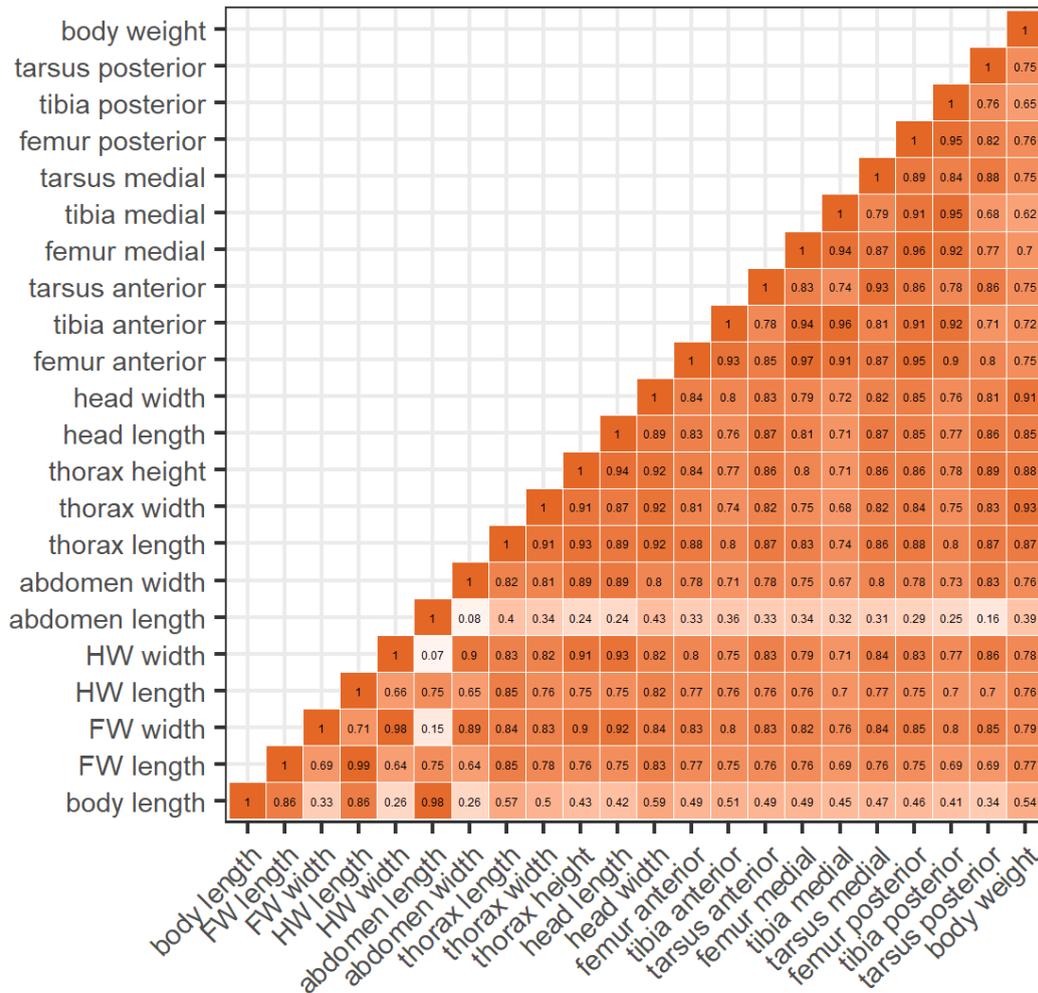


Figure 4 – Correlogram (Pearson method) of the 22 morphological traits of Odonata occurring in the Amazon. FW = Fore Wing and HW = Hind Wing. The color intensity indicates a coefficient gradient. Orange = Higher Ratio and Salmon/White = Lower Ratio.

Reproductive behaviors

The most frequent behavior was territoriality (yes=63% X no=37%), with nine species classified with ambiguity, that is, reported as both territorial and non-territorial. The same pattern is repeated when restricting this analysis to Anisoptera, with a higher proportion of species that defend fixed territories (yes=81% X no=19%). However, this territorial dominance was not registered for Zygoptera, as there was a balanced proportionality in the presence and absence of this behavior (yes=50% X no=50%) (Fig. 5).

Considering the presence of agonistic displays, most of the analyzed species did not show agonistic displays at the time of the dispute. When comparing the frequencies of these traits between suborders, Anisoptera has a higher proportion of species that exhibit contest behaviors, which is consistent with the previous result of greater territoriality for this suborder. Regarding courtship behavior, males of most Amazonian species do not perform any type of courtship displays to females (yes=97% X no=3%) (Fig. 5). Only six species with some type of pre-mating courtship were

recorded, almost all polythorids (see more in Appendix 2 – AMO-TB). It is worth mentioning that this result may be underestimated, due to the scarcity of literature that evaluates and discusses this behavioral trait (more detailed in the Literary Gap topic).

Within the mate-guarding category, most Odonata species exhibit tandem behavior, followed by non-contact guarding behavior. Additionally, some species overlap different traits within this category. When dealing with separate suborders, the tandem and non-contact guard categories are inversely proportional between damselflies and dragonflies, with the absence of guard being uncommon within both suborders (Fig. 5). Evaluating the types of oviposition, the studied dragonflies showed a higher frequency of endophytic behavior (41%), followed by exophytic (34%) and epiphytic (25%). We also observed an inverse pattern between the suborders, where Zygoptera presents more endophytic species (67%) while Anisoptera, is exophytic (78%). Additionally, Amazonian dragonflies mainly prefer plants as oviposition substrates (56%). When we analyzed the suborders, the pattern was maintained, given that for Anisoptera (mostly exophytic) the highest frequency of oviposition was on the water surface (80%) and for Zygoptera, it was live plant tissue (81%) (Fig. 5).

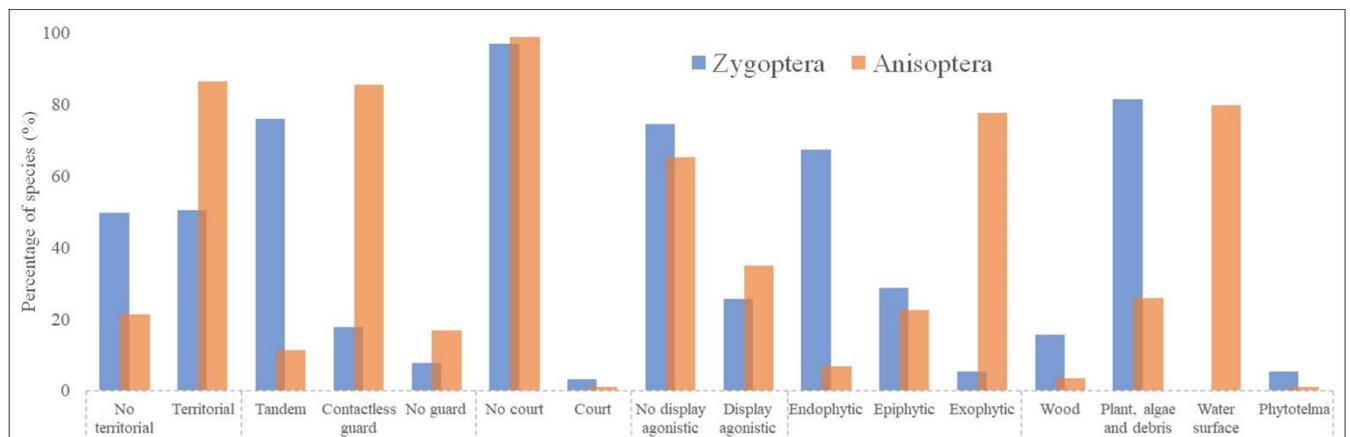


Figure 5 – Proportion (%) of Odonata species present in the Amazon according to their reproductive behavior. The colors of the bars indicate the suborders.

In evaluating genera of damselflies, *Heteragrion* (Selys, 1862), *Polythore*, and *Chalcopteryx* showed a preference for decomposing wood for oviposition, with the difference that the last two genera are the only ones to present courtship behavior among the Amazonian species (Fig. 6a). We also noted that the epiphytic behavior is homogeneous within the genera *Epipleoneura* (Williamson, 1915), *Mnesarete*, and *Hetaerina*. In addition, members of the Calopterygidae family are also extremely linked to female guarding behavior at a distance, a trait that is widely reported in the literature for this specific group. For *Argia*, the most diverse genus in the Neotropical region, the

Adult habitat preference

The only dragonfly reported for all environments was *Erythrodiplax castanea* (Burmeister, 1839) (8/8), but it is also worth noting that eight species occurred in almost all environments (7/8), as is the case of *Miathyria marcella* (Selys, 1857), *Perithemis mooma* (Kirby, 1889), other *Erythrodiplax* species and even a small zygopteran *Ischnura capreolus*. All species are extremely abundant in the Americas (see more in the topic geographical distribution). On the other hand, several species were restricted to only one type of environment, where the suborder Zygoptera has more exclusive species (n=59/129) than Anisoptera (n=9/89). In both cases, more frequent this restriction to aquatic ecosystems of the stream type (Appendix 2 – AMO-TB) (Fig. 7). Additionally, the species occurrence in forest and open field environments were the least recurrent in the literature.

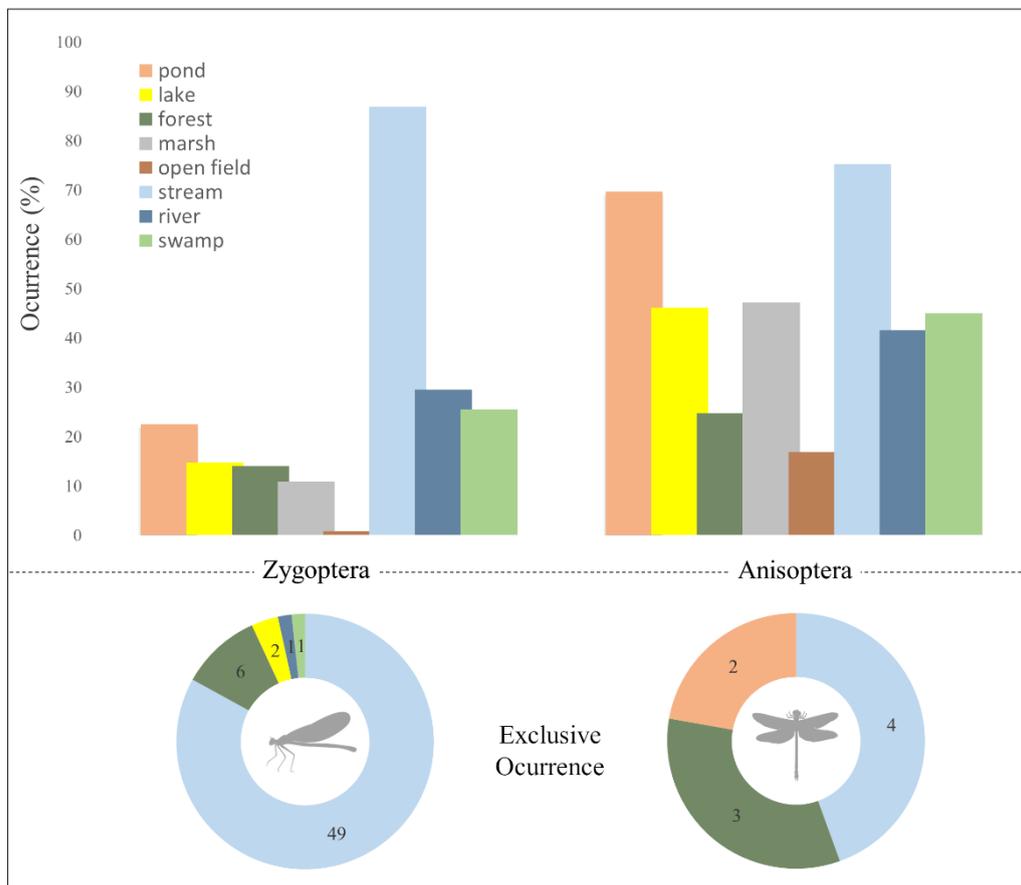


Figure 7 – Frequency of occurrence (%) shared (upper) and number of exclusive species (lower) of Odonata suborders in different aquatic and semi-aquatic habitats found in Amazonia. The colors represent different environments and those not illustrated in the pie graph show the absence of unique species (see more in Appendix 2 – AMO-TB available: Dryad repository).

Analyzing the location of the ordered species based on their colonized habitats, we can observe that pseudostigmatids and dragonflies, such as *Orthemis* (Hagen, 1861), *Elasmothemis* (Westfall, 1988), and *Elga* (Ris, 1911), are directly related to forest environments (Fig. 8a). In the other environmental categories, *Epipleoneura*, *Hetaerina*, and *Neoneura* species are often related to lotic environments (streams and rivers), while *Acanthagrion* (Selys, 1876), *Ischnura* (Charpentier, 1840), and *Telebasis* (Selys, 1865) to lentic environments. A similar pattern occurs for the genera of Anisoptera, with a clear distinction from the other environments (Fig. 8b).

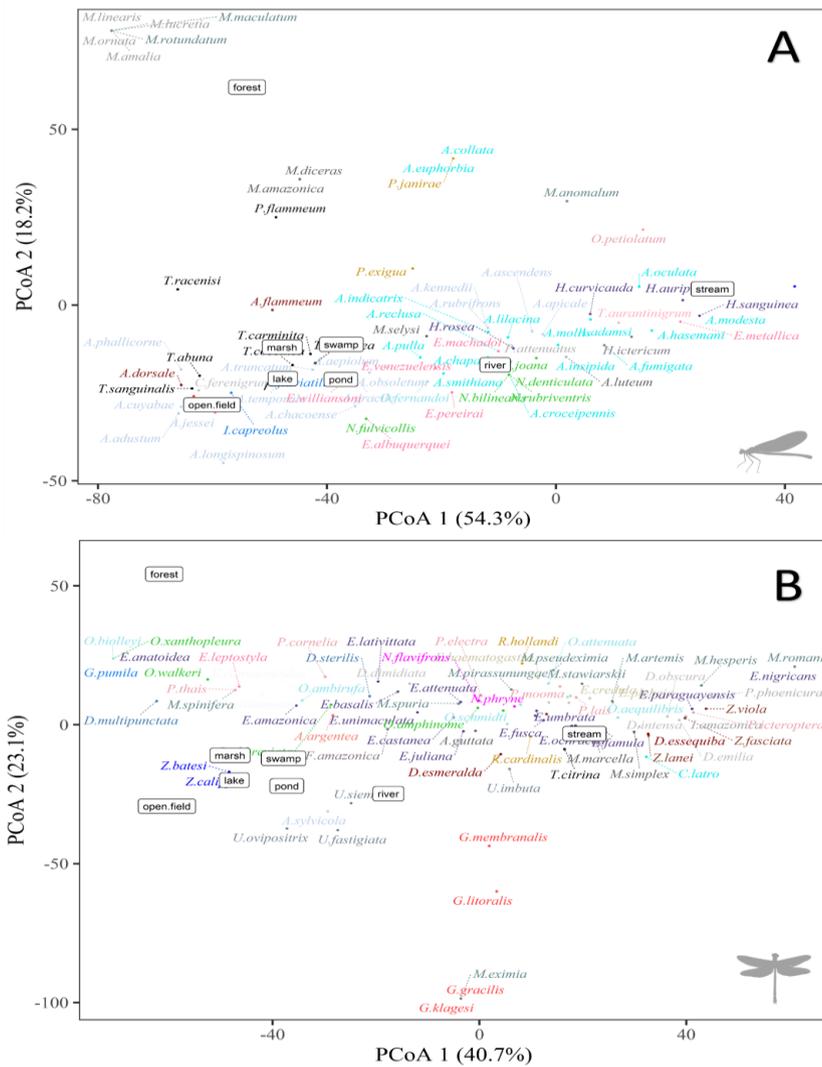


Figure 8 – Ordering of species of the suborders of Odonata A) Zygoptera, B) Anisoptera, concerning the different habitats colonized by them. The colors categorize species belonging to the same genus.

Thermoregulation

When we analyzed both the order and the suborders of Odonata separately, most species are perchers. However, it is noteworthy that the number of flier species is substantially higher in Anisoptera than Zygoptera (Fig. 9). As for the thermoregulatory strategies adopted by species, the information is so scarce that for Zygoptera we found data for only four species: *Aceratobasis macilenta* (Rambur, 1842), *I. capreolus*, *I. fluviatilis* (thermal conformers), and *Hetaerina rosea* (Selys, 1853) (heliothermic). For Anisoptera, we compile information for 54 species, 34 of which are categorized exclusively as heliothermic, nine solely as endothermic, and 11 classified with dualities between heliothermic and endothermic, often called “behavioral endotherms” (see more in Appendix 2).

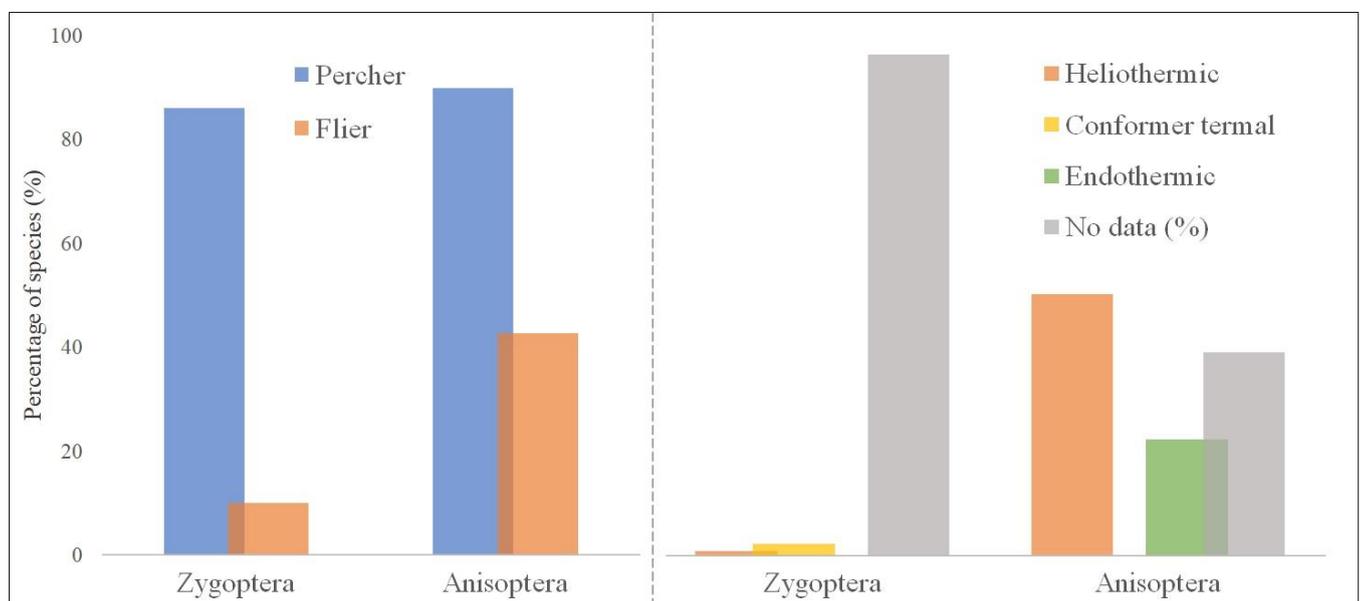


Figure 9 – Flight and thermoregulation strategies adopted by the species of the different suborders of Odonata typical of the Amazon. The colors represent different categories.

Geographic distribution

For the 218 species of Odonata, we have compiled more than 40.000 occurrences recorded across the American biomes. Of these, 19% (41 spp.) are species restricted to tropical rainforest, 20% (44 spp.) have a short distribution, 35% (76 spp.) have a dispersed distribution, 20% (44 spp.) have a wide distribution, and 6% (13) very broad. Analyzing by suborders, we show that the classification patterns are inverted, while the Zygoptera presented a more restricted distribution to the Amazon (26%) and a short distribution (25%), the Anisoptera presented, for the same categories, respectively, 8 % and 13% (Fig. 10). On the other hand, we detected 36% of Anisoptera species with wide distribution and 12% very wide (all Libellulidae), against, respectively, 9% and only 2% for

Zygoptera, with *Ischnura* being the only Zygoptera genus with distribution in more than seven biomes (see more in Appendix 4 and Appendix 8).

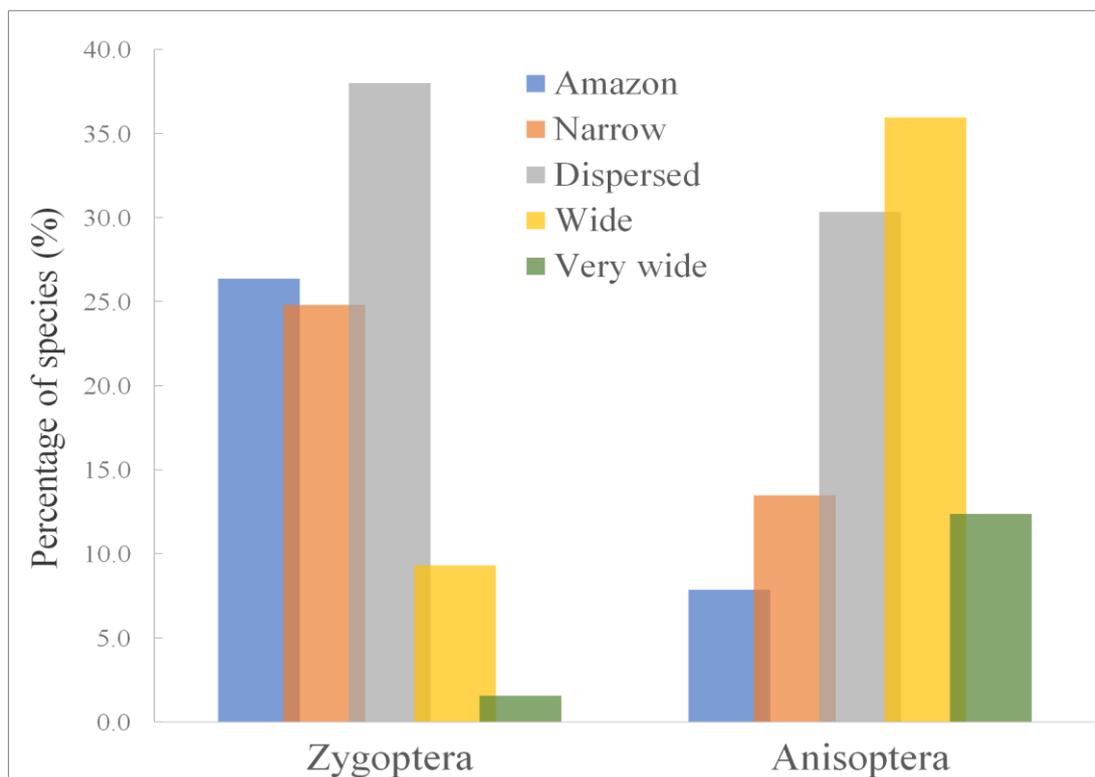


Figure 10 – Classification of Odonata species occurring in the Amazon based on the number of biomes colonized by them. The colors reflect different distribution categories (detailed in Appendix 4 and 8 – AMO-TB available: Dryad repository).

Larval habits and habitats

Regarding the habitats of odonate larvae, most damselflies larvae occur in lotic environments (42%), while most dragonflies inhabit both lotic and lentic environments (43%). Considering the microhabitats, damselflies genera occur mainly in inorganic sediments (42%), litter (42%), and roots (39%), with only 9% of the genera in phytotelma. Most dragonfly genera also occur in inorganic sediments (69%), followed by fragments of branches, trunks, rocks (49%), and litter (37%). Furthermore, only *Gynacantha* occurs in phytotelma. Finally, regarding the larval habits, most zygopteran genera are climbers (36%) and clingers (27%), with no genus with burrowing habits. However, in Anisoptera, the most common type of habit among the genera are sprawlers (69%) and burrowing larvae (43%), with no larvae with swimming habits (Fig. 11).

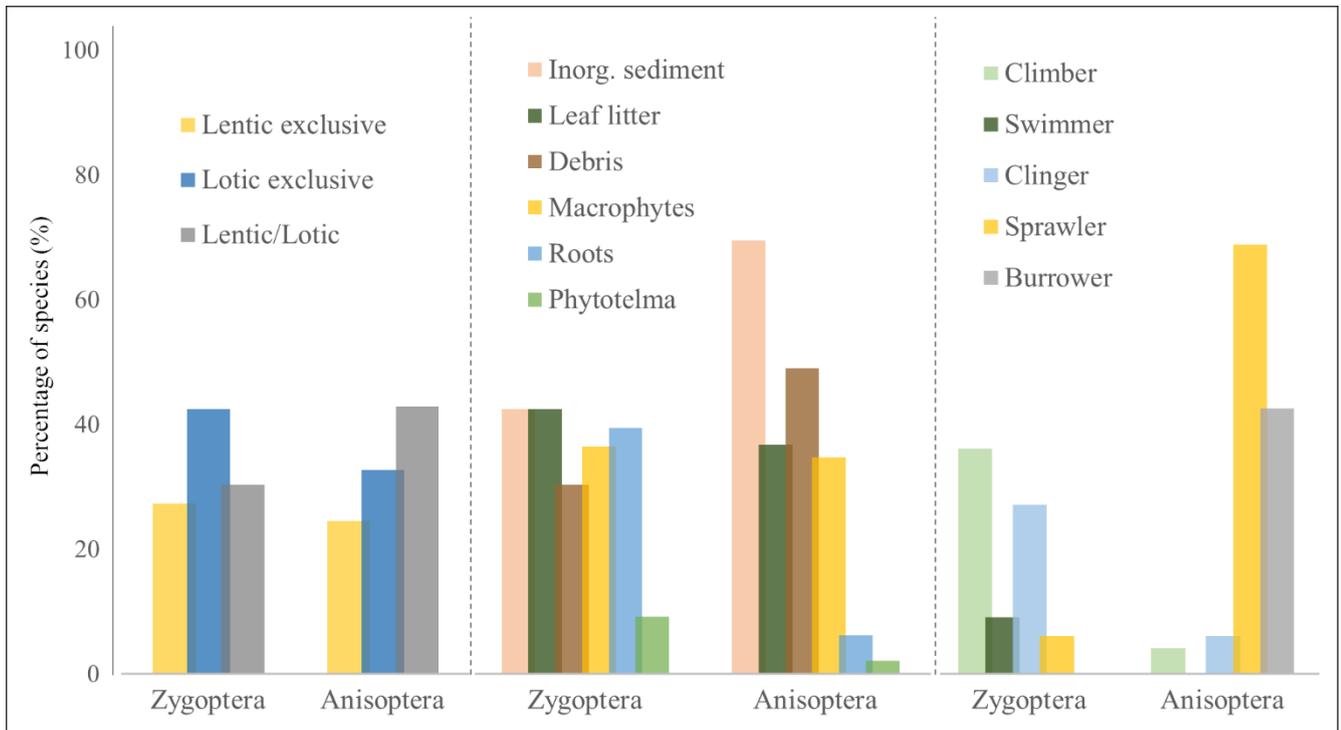


Figure 11 – Distribution of genera (in %) of Odonata larvae typical of the Brazilian Amazon in relation to their habitats and adopted habits. The colors represent different categories of traits (detailed in Appendix 2 – AMO-TB available: Dryad repository).

The zygopterans, *Argia*, *Heteragrion*, *Mnesarete*, *Dictierias* (Selys, 1853), *Protoneura* (Selys, 1857), *Chalcopteryx*, and *Heliocharis* (Selys, 1853) are related to the type of clasper habit, but only *Argia* and *Heteragrion* are also sprawlers. Analyzing the preference for microhabitat and water flow, *Aceratobasis* (Kennedy, 1920) (Coenagrionidae) and *Microstigma* (Rambur, 1842) and *Mecistogaster* (Rambur, 1842) (Pseudostigmatidae), are exclusive to phytotelma, usually with large amounts of water and organic matter. Within the Perilestidae, *Perilestes* (Hagen, 1862) was related to litter substrates and fragments of trunks, branches, and rocks in lotic environments. Considering the Anisoptera families, gomphids are related to burrowing habits, litter substrates, and inorganic sediments. While the Corduliidae is related to root substrates. In contrast to these specialist genera, the Libellulidae is widely distributed, occurring in a wide range of substrates, and presenting a relationship with various habits. We also highlight that *Tholymis* (Hagen, 1867) is exclusively a clinger, and *Coryphaeschna* (Williamson, 1903) is a clinger/climber. Regarding the type of substrate, *Gynacantha* is the only genus of the Anisoptera studied here that has a representative associated with phytotelma (Fig. 12).

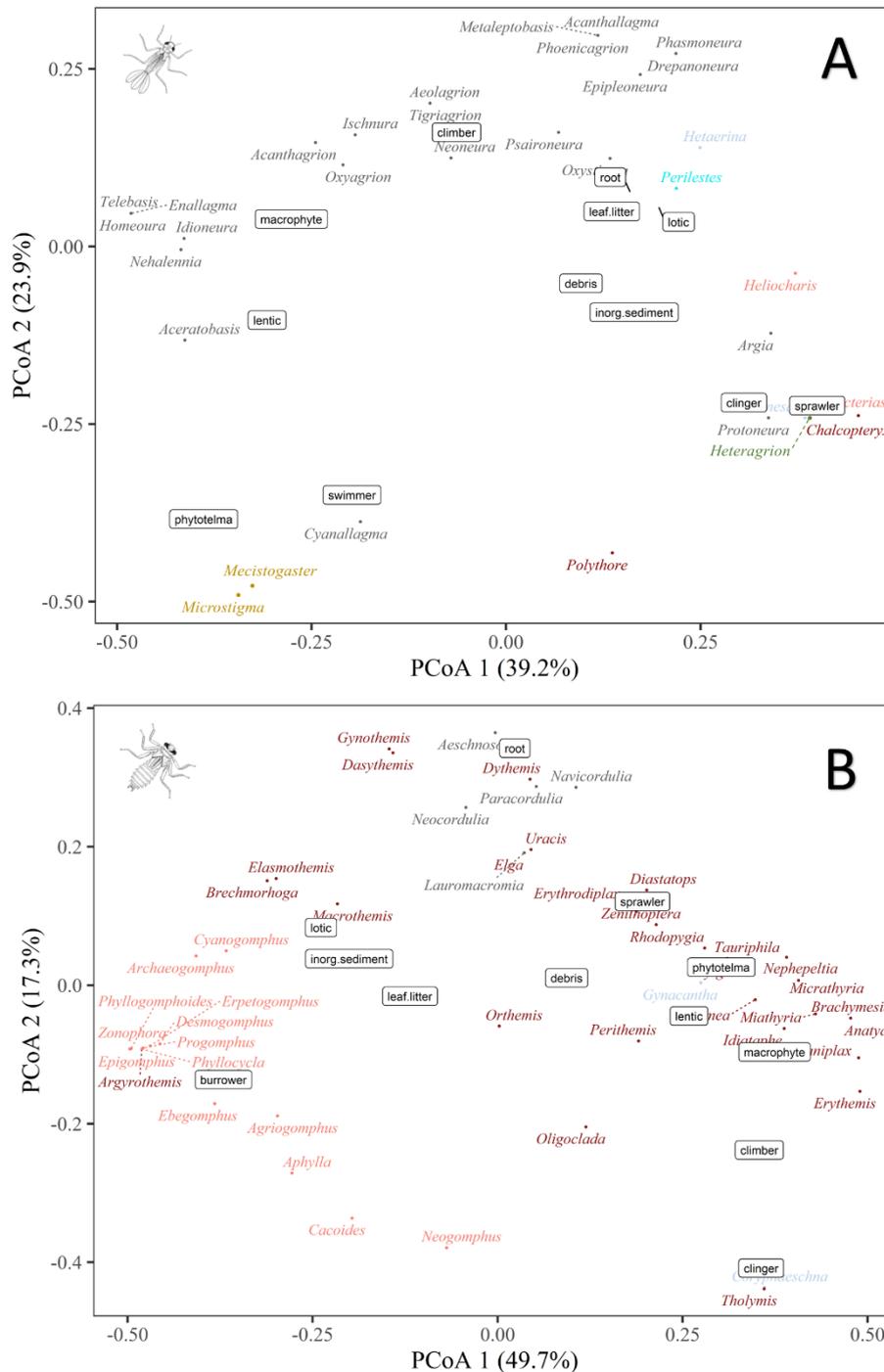


Figure 12 – Ordering of the genera of the larvae of both suborders present in the Americas, A) Zygoptera and B) Anisoptera, concerning the types of aquatic environments colonized, substrates of preference, and types of habits. The colors categorize species belonging to the same family.

Gaps in the literature

The category of traits with the most available literature referred to the habitat preference of adults. The types of environments colonized by Amazonian species were reported in 162 references (Fig. 13). The second-best studied category was reproductive behavior, recorded in 110 consulted references. Third, we have the category of larval habitats and habits, with a total of 100 references.

Finally, thermoregulation was the most underrated category of traits, containing only 47 references (for more details, see Appendix 2 and Appendix 9).

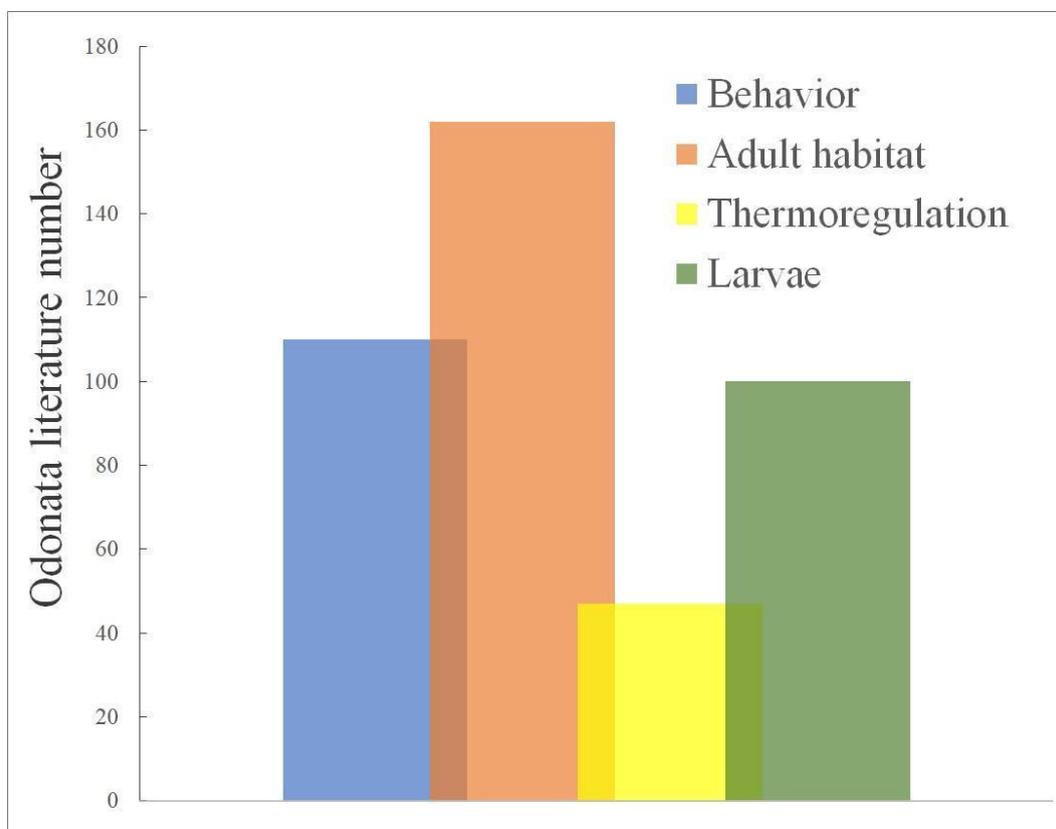


Figure 13 Amount of literature containing records of habitats that Odonata species typical of the Amazon inhabit (detailed in Appendix 1 – AMO-TB available: Dryad repository).

Discussion

Morphometrics

Obtaining morphometric data is very laborious, mainly because large numbers of specimens are needed, as populations of the same species in different environments may exhibit high phenotypic plasticity (Bowman et al. 2018) or vary along geographic (Johansson et al. 2006) and anthropogenic gradients (Sukhodolskaya 2013). For insects, the situation is even more complex due to the delicate and diminutive nature of their body structures. Additionally, the availability of specimens in museums and scientific collections is also decisive for the success of obtaining this type of data, which in turn, can present unwanted noise due to possible taxonomic identification errors. Thus, the importance of discussions that seek to identify key morphometries is evident. Hence, this kind of study provides a set of morphological variables from a single trace, greatly facilitating the advancement in fields like ecology and evolution.

The literature indicates that morphometrics can be transformed into indices and ratios that, in turn, give rise to insights that only raw values could not provide. Some of these indices are already relatively well studied and known to science, such as Wing Load and Wing Stroke, both linked to flight performance and dispersion (Hall and Willmott 2000, Wootton 2020, McCauley 2013; Resende et al. 2021) and widely used in the aeronautical industry (Liang et al. 2014).

Studies show that body size is often evaluated by rival males at the time of dispute or even by potential reproductive partners and can therefore play a role in sexual selection (Suhonen et al. 2008). Biomass, which is linked to body size, reflects physiological issues, such as the level of energy reserves and immunocompetence (Contreras-Garduño et al. 2006, Vilela et al. 2017a). Additionally, there is strong evidence that total body size is positively correlated with male dragonfly flight ability and agility (Vilela et al. 2017a). Dutra and De Marco (2015) demonstrate that body size is also a determinant trait for habitat selection in Odonata and varies between suborders. According to Misof (2002), there is a positive relationship between the size and speciation rate of dragonflies. Thus, this characteristic is very important to consider when addressing the functionality of the species.

Mecistogaster had the longest body length, as its name implies (from the Greek, “mecister = long” and “gaster = abdomen”). This genus has a striking feature: its long abdomen. Together with slender and long wings, these species exhibit slow and non-linear flight, but with special foraging abilities, since they are able to steal spiders’ prey directly from their webs (Gorb 2019). Dragonflies classified as fliers and belonging to the endothermic group stood out in terms of thorax size, wing width, and head. As they are constantly in flight, these insects have well-developed wing muscles, reflecting the larger size of the thorax. Moreover, the greater width of the wings allows them to be gliders and have longer flight times (May 1991; Corbet & May 2008).

The leg segments also seem to be an important trait to separate groups, as occurred with representatives of the Calopterygidae and Dicteriidae. For a dragonfly as an adult and therefore winged, legs lack locomotor function but are often used to grip surfaces during rest, as well as capture and handle prey during flight (Garrison et al. 2006). The legs also play a fundamental role in reproduction, as males of several species, especially damselflies (more details on the topic of reproductive behavior), use them when attaching their appendages to the female’s pronotum during copulation, a movement called tandem. The opposite may also apply, as females have been observed to avoid mating attempts by harassing males using leg movements (Ruppell 1989). However, we emphasize that the leg parts were not analyzed from a sexual selection point of view.

The genus *Perithemis* was one of the smallest Anisoptera, mainly concerning body size and abdomen. Species of this genus are typical of lentic environments and with ample sunlight. Therefore, small bodies prove to be an advantage, since the high surface/volume ratio of their bodies would

facilitate constant exchanges of heat with the environment, thus avoiding possible overheating (De Marco et al. 2015).

Data dispersion is widely used as a metric in several types of research, as it can provide different insights from those obtained from measures of central tendency (Gotelli and Ellison 2011). [It was evident that total body size and abdomen length vary greatly within both suborders when observing the standard deviation of morphometric traits. However, in an overview, there are similarities between the patterns of deviation between the suborders. The greater morphometric variation by the suborder Anisoptera may be linked to taxonomic limitations, since these genera (e.g. *Erythrodiplax*) present great debates regarding their true taxonomic classification (Borror 1942, Neiss et al. 2018). Therefore, represented by species of different shapes and sizes within a genus that may not necessarily belong to the same evolutionary lineage. Intuitively, another factor that could explain this pattern of greater variation within certain genera would be the number of species that compose them, since the greater morphometric variation occurred preferentially in species of very diverse genera.

Types of behavior

Odonata has a highly complex reproductive behavior, secondary male genitalia, complex courtship behaviors, a territorial dispute between males, and different types of oviposition, among other remarkable behaviors (Corbet 1999). One of the most notorious is the aggressive and territorial behavior of many species. Territorial males defend areas, which can vary from a few centimeters to a few square meters, usually with resources considered valuable for females to oviposit (Suhonen et al. 2008). It is evident that territorial males increase access to females by defending a fixed territory. On the other hand, males spend more energy during agonistic interactions and become more vulnerable due to their constant patrols and conspicuous displays (Suhonen et al. 2008). However, it is worth highlighting the advantages found by some species and even individuals of the same population in not protecting a fixed territory, assuming different strategies to access females, such as satellite non-territorial males that actively search or wait for females on the oviposition sites or surrounding vegetation (Fincke 1985).

Agonistic displays during disputes are communicative, that is, they convey visual messages to their co-specifics (Vilela et al. 2017b, González-Santoyo et al. 2014). Dominant males are easily observed patrolling their territories and often resolve disputes without any contact, using some type of display, which can range from specific wing movements to short chase flights. This type of behavior has evolved within several groups of animals due to the fitness acquired by males who, instead of battling to the death, resolve their disputes without great energy demands (Guillermo-Ferreira et al. 2015).

Once females are inseminated (whether they have been courted or not), the oviposition begins, which can assume different behaviors according to the species: guarding with contact or without contact, or even without guarding at all (Corbet 1999). According to our research, most Odonata species exhibit tandem behavior and non-contact guarding. Additionally, some species overlap different traits within this category. These dualities can be explained by the intrinsic phenomena of the group, such as high behavioral plasticity and the inherent costs of mate-guarding by males (Helebrandová et al. 2019, Resende et al. 2021).

Species reproductive strategies during oviposition in Zygoptera are mostly endophytic, while Anisoptera usually performs exophytic oviposition. These differences can be explained by the morphological differences of the suborders. In general, damselflies have ovipositors specialized in perforating living (as is the case of most Coenagrionidae) or decomposing (Polythoridae) plant tissues (Bentes et al. 2014, Rodrigues et al. 2019). This type of oviposition requires an ovipositor with the presence of small teeth on the sides of the vulva and a spine-shaped structure called a stylet (Matushkina and Gorb 2007). On the other hand, most dragonflies (except for aeshnids) present ovipositors adapted to oviposition on the water surface, with a reduced ovipositor appendage, anchored to a strong and complex muscular system specialized in the contraction of the entire ovipositor apparatus and abdomen, which aims to expel the egg mass when the female touches the tip of her abdomen into the water (Matushkina 2011).

Adult habitat preference

Dragonflies are insects with high dispersal capacity, being found in all types of aquatic environments. Among the eight environment types, the highest occurrence of restricted species was in stream environments. This type of environment varies from shallow channels located in the thalweg of geological depressions, generally with little current, bed rich in rocky minerals and abundant inflow of allochthonous material, to larger volumes of water flowing over wide channels, presenting turbulent waters, sedimented substrate and greater input of sunlight (Allan and Castillo 2007). The greater relationship of members of the family Pseudostigmatidae to forest environments is related to the habit of larvae that develop in natural water reservoirs found in fruits (e.g., Brazil nut urchin), bracts of fallen palm trees (Neiss 2012), and tree trunk holes and inside bamboo internodes (Fincke 1984). Individuals in this family only move to the water channel when foraging and/or searching for reproductive partners.

Open fields are environments that can range from preserved, such as those found in the ferruginous fields of the Amazon, swampland, and the Cerrado savannas; or impacted by human intervention, pastures, and monocultures. In these types of environments, species of Anisoptera were

almost unanimously found, probably due to their size and thermoregulatory strategies (De Marco et al. 2015, Oliveira-Junior and Juen 2019), with the only exception of the small zygopteran *I. capreolus*, common in very sunny places.

Thermoregulation

Ectothermic dragonflies depend on an ideal temperature range to carry out their daily activities (May 1991). Individuals can range from thermal conformers, making convective heat exchanges with the environment and keeping their chest temperature close to air temperature, to heliothermics, requiring direct solar radiation on the body, and can maintain their temperature above air temperature (Shelly 1982). Species with large body sizes such as Aeshnidae are considered endothermic, as they regulate their temperature through flight, determining heat production (May 1991).

According to ecophysiological strategies, adopted flight mode (Bomphrey et al. 2016), behavioral changes (May 1991), habitat selection (Shelly 1982), or body size (Castillo-Pérez et al. 2022b) affect heat production/maintenance. As for the flight mode, dragonflies can be classified dichotomously into: perchers, individuals that spend most of their time perched and often depend on constant heat exchange with the environment to reach the ideal temperature, thus being categorized as ectotherms; and fliers, individuals that sustain long flights, are generally dragonflies that produce and manage internal heat, considered endothermic. This sustained dichotomy further suggests that there may be a continuum within each of them based on body size (Corbet and May 2008).

Odonates have many specificities and it is important to evaluate them among the suborders since previous studies show that they have differences in body temperatures (Castillo-Pérez et al. 2022a) and in the type of environment they select, affecting their life history and distribution (De Marco et al. 2015, Oliveira-Junior and Juen 2019). Microhabitat selection can be predictive based on knowledge of the thermoregulatory abilities that dragonflies exhibit (De Marco 1998). Thus, it is essential to survey this bionomic aspect of these species to solve urgent issues associated with the conservation of aquatic systems in the Amazon region.

Geographic distribution

The vast majority of Odonata species occurring in the Amazon are not necessarily restricted to the region, and may, in some cases, be distributed throughout the American continent. Since significant ecological and climatic differences arise across biomes, the range of zones dominated by a species can provide us with information linked to dispersal capacity and environmental tolerance (Renner et al. 2019). In some cases, this distribution pattern may be related to morphological traits of these species, such as body size, or even the shape, size, and venation of the wings (Hefler et al. 2018, Wootton 2020b). In fact, morphology has been considered an important element to understand the biological mechanisms of the group. Furthermore, the spatial distribution of species can be explained

by possible relationships with environmental conditions that define the type of environment in which organisms live (Vandermeer 1972). The answers found in this study may also reflect the distribution of larvae since several studies point to a strong congruence between larvae and adults of Odonata (Mendes et al., 2017; Valente-Neto et al., 2016). However, there are still many questions to be explored, as it is not yet known for sure whether the body size of odonates undergoes direct filtering of the current conditions or is an evolutionary factor that shaped the distribution of organisms until the current days.

Larval habits and habitats

The order Odonata presents very marked differences between the larvae of the suborders Anisoptera and Zygoptera, and these characteristics are due to their specialization in the aquatic environments where they establish, aiming to guarantee their survival (Corbet 1999). Here, we demonstrate that most Zygoptera genera studied occur exclusively in lotic environments. This must be related to higher oxygen concentrations in fast-flowing waters, because depending on the type of respiration that this group presents, a greater amount of oxygen is needed in the water through the caudal lamellae (Ramirez 2010). However, for Anisoptera, we showed that most genera occur in both lentic and lotic environments. This group is considered more generalist when compared to Zygoptera, and due to this greater niche breadth, they can occur in habitats with different water flows (Oliveira-Júnior and Juan, 2019).

Considering the micro-habitats in which the larvae occur, most Zygoptera genera are predominant in places with inorganic sediments (sand, gravel), with the presence of leaf banks and roots. This preference for these types of substrates is related to the life habits, such as prey capturing and sheltering. Within the Zygoptera, we showed that the larvae have mainly climbing and clasping habits, which justifies their preference for root substrates. In addition, the leaf banks serve as a shelter for the larvae and, due to the large presence of prey in this substrate, it allows for the capture of food (Carvalho and Nessimian 1998). For Anisoptera, the larvae occur mainly in organic sediments, fragments of trunks, branches, and in places with rocks and leaf banks. This pattern is also related to the habit of this group, as most genera are sprawlers, that is, moving over and through the leafy banks and plant fragments, and burrowers, which live buried within inorganic sediments, such as gravel and sand (Assis et al. 2004).

The variety of habits that the larvae present can be explained by the great variation in morphological characteristics, as these characteristics can express their importance and functionality within the community and in their micro-habitats (Mendes et al. 2020). Zygoptera that were predominantly graspers and climbers generally have a cylindrical body and more elongated legs (e.g., *Dictyerias*, *Mnesarete*, and *Heliocharis*), which allow them to attach to vegetation (Carvalho and

Nessimian 1998). However, we saw that *Argia* and *Heteragrion*, despite having the clasping behavior, are also sprawlers and we attribute this to the dorsoventrally flattened body shape and shorter legs in these genera (Novelo-Gutiérrez 1992). About the swimming habit, little represented in our work, only by the larvae of *Mecistogaster*, *Microstigma*, and *Perilestes*, which generally have a more elongated abdomen, which is laterally flattened, with the presence of thin legs and long leafy lamellae. For Anisoptera, most genera are sprawlers, especially those belonging to the Libellulidae and Corduliidae families, or burrowers, as described for Gomphidae. To stay buried in the substrate, the larvae have a more elongated, fusiform body and the presence of short fossorial legs, and specialized structures, such as projections on the posterior portions of the tibia. In addition, they may also present specialized modifications that facilitate their breathing when they are buried, such as the presence of prolongation in the last segment of the abdomen, as in the larvae of *Phyllocycla* and *Aphylla* (Assis et al. 2004). In addition, we also found within this suborder clasping organisms, mainly in Aeshnidae, which were shown in our ordination to be strongly associated with the root substrate, or some exceptions within the Libellulidae family, such as the genus *Tholymis*, which was exclusively clasper.

Gaps in the literature

The three categories of traits with more literature, respectively, were: habitat preference of adults, reproductive behavior, and habitat/habit of the larvae. The types of environments colonized by Amazonian species were reported in 162 bibliographies (for more, see supplementary table 1 and supplementary figure 3 in repository Dryad). We attribute this result to the abundance of checklists available, given that faunal surveys are essential for any type of research and/or animal management. However, here we emphasize that larval habits need more attention since only five articles were found directly dealing with this subject. Finally, despite thermoregulation being widely debated in several ecological studies with Odonata (De Marco et al. 2015, Batista et al. 2021), determining the thermoregulatory strategy of a species is not a simple task. There is a need for special equipment and techniques for this, including field observation to measure the body temperature of individuals, also of behaviors that are linked to certain strategies, for example, displays that help control temperature (e.g., obelisk posture), flight duration or micro-habitat preference (De Marco 1998). Devices that measure temperature with high precision and that are adapted to be quick in their measurements, as small organisms quickly change their temperature when handled and this leads to technical misconduct. However, as it is one of the main arguments to explain the distribution of species in ecological works, it is urgent to develop studies so that we can increase knowledge on the subject. Another starting point is also through physiological and anatomical analyses, since dragonflies have specific structures that determine their way of reaching their ideal temperature, as is the case of hemolymph transport systems (endothermic) or surface/volume ratio of species body (Rocha-Ortega et al. 2020 ; Guillermo-Ferreira & Gorb 2021).

Final considerations

Our research efforts have gathered information on the basic biology of several species of Odonata found in the Amazon. However, we highlight the lack of data in several analyzed categories, mainly referring to thermoregulation and larval habits. Additionally, we suggest as a matter of urgency, studies that delimit a consensus in the definition of terms frequently used within the literature, as is the case of the divergent characterization of the types of oviposition. A correlation between certain functional traits was evident, especially those that express complementary information. Given the difficulty in compiling and collecting this type of data, we recommend a selection of traits based on the information presented here when building future functional matrices. Finally, we suggest research to evaluate how functional traits are influenced by environmental factors or phylogenetic relationships. Additionally, since we provide the traits and their respective literature, another possibility would be to perform sciences evaluating the quality and amount of information available, for example, by functional groups or even taxonomic groups. In addition, decision-makers can use this Trait Bank to identify functionality or infer ecosystem services that should be prioritized in different environmental scenarios and conservation strategies for Odonata species, especially in the Amazon region.

Acknowledgements

We are grateful to the CAPES, CNPq and FADESP for subsidizing research grants. We also acknowledge the UFPA, LABECO and PPGECO for providing the physical and intellectual structure. Finally, we thank Dr. Diogo Vilela and other researchers for their contributions

Funding

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
Hydro Alunorte company - Brazilian Research Consortium
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPESP-UFPA)

References

- Assis, J. C. F., A. L. Carvalho & J. L. Nessimian, 2004. Composição e preferência por microhabitat de imaturos de Odonata (Insecta) em um trecho de baixada do Rio Ubatiba, Maricá-RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia* 48: 273–282.
- Alencar, A.A.; Brando, P.M.; Asner, G.P.; Putz, F.E. 2015. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. *Ecological Applications* 25: 1493–1505.
- Allan, J.D.; Castillo, M.M. 2007. *Stream Ecology Structure and function of running waters*. 2nd ed. Springer Science & Business Media, 1–436p.

- Bastos, R.C.; Brasil, L.S.; Carvalho, F.G.; Calvão, L.B.; Silva, J.O. de A.; Juen, L. 2019. Odonata of the state of Maranhão, Brazil: Wallacean shortfall and priority areas for faunistic inventories. *Biota Neotropica* 19.
- Bastos, R.C.; Brasil, L.S.; Oliveira-Junior, J.M.B.; Carvalho, F.G.; Lennox, G.D.; Barlow, J.; et al. 2021. Morphological and phylogenetic factors structure the distribution of damselfly and dragonfly species (Odonata) along an environmental gradient in Amazonian streams. *Ecological Indicators* 122: 107257.
- Batista, J.D.; Ferreira, V.R.S.; Cabette, H.S.R.; de Castro, L.A.; De Marco, P.; Juen, L. 2021. Sampling efficiency of a protocol to measure Odonata diversity in tropical streams. *PLOS ONE* 16: e0248216.
- Bentes, S.P.C.; Hamada, N.; Ferreira-Keppeler, R.L. 2014. Caracterização morfológica de ovos de insetos aquáticos e seus habitats na Amazônia central, Brasil. In: *Insetos Aquáticos Na Amazônia Brasileira: Taxonomia, Biologia e Ecologia*, Manaus,.
- Borror, D.J. 1942. *A revision of the Libelluline genus Erythrodiplax (Odonata)*. Ohio State University, 286p, (<https://academic.oup.com/aesa/article/36/3/587/76330>).
- Bomphrey, R. J., Nakata, T., Henningson, P., & Lin, H.-T. (2016). Flight of the dragonflies and damselflies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371, 20150389.
- Bowman, R.M.; Schmidt, S.; Weeks, C.; Clark, H.; Brown, C.; Latta, L.C.; et al. 2018. Phenotypic plasticity in a population of odonates. *Scientific Reports* 8: 8442.
- Brasil, L.S.; de Andrade, A.F.A.; Ribeiro, B.R.; Spigoloni, Z.A.; Juen, L.; De Marco, P. 2021. A niche-based gap analysis for the conservation of odonate species in the Brazilian Amazon. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 31: 1150–1157.
- Brauckmann, C.; Zessin, W. 1989. Neue Meganeuridae aus dem Namurium von Hagen-Vorhalle (BRD) und die Phylogenie der Meganisoptera. *Deutsche entomologische Zeitschrift* 36: 177–215.
- Bybee, S.M.; Kalkman, V.J.; Erickson, R.J.; Frandsen, P.B.; Breinholt, J.W.; Suvorov, A.; et al. 2021. Phylogeny and classification of Odonata using targeted genomics. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 160: 107115.
- Carvalho, A.L.; Nessimian, J.L. 1998. Odonata do estado do Rio de Janeiro, Brasil: habitats e hábitos das larvas. *Oecologia Brasiliensis* 5: 3–28.
- Carvalho, F.G.; Duarte, L.; Seger, G.D.S.; Nakamura, G.; Guillermo-Ferreira, R.; Cordero-Rivera, A.; et al. 2022. Detecting Darwinian Shortfalls in the Amazonian Odonata. *Neotropical Entomology* 51: 404–412.
- Calvão, L. B., Juen, L., de Oliveira Junior, J. M. B., Batista, J. D., & De Marco Júnior, P. (2018). Land use modifies Odonata diversity in streams of the Brazilian Cerrado. *Journal of Insect Conservation*, 22, 675–685.
- Castillo-Pérez, E. U., Suárez-Tovar, C. M., González-Tokman, D., Schondube, J. E., & Córdoba-Aguilar, A. (2022). Insect thermal limits in warm and perturbed habitats: Dragonflies and damselflies as study cases. *Journal of Thermal Biology*, 103, 103164. (a)
- Castillo-Pérez, U., May, M. & Córdoba-Aguilar, A. (2022). Thermoregulation in Odonata. In: *Dragonflies and Damselflies*. Edited by Alex Córdoba-Aguilar, Christopher D. Beatty and Jason

- Chevenet, F.; Dolédec, S.; Chessel, D. 1994. A fuzzy coding approach for the analysis of long-term ecological data. *Freshwater Biology* 31: 295–309.
- Coelho, M.C.N.; Monteiro, M. de A. 2007. *Mineração e reestruturação espacial na Amazônia*. In: Coelho, M.C.N.; Monteiro, M. de A. (Eds.) 1st ed. NAEA, Belém, 281p.
- Contreras-Garduño, J., Canales-Lazcano, J., Córdoba-Aguilar, A. (2006). Wing pigmentation, immune ability, fat reserves and territorial status in males of the rubyspot damselfly, *Hetaerina americana*. *Journal of Ethology* 24: 165–173.
- Corbet, P.S. 1999. *Dragonflies: behavior and ecology of Odonata*. Comstock Publishing Associates, New York, 829p.
- Corbet, P.S.; May, M.L. 2008. Fliers and perchers among Odonata: Dichotomy or multidimensional continuum? A provisional reappraisal. *International Journal of Odonatology* 11: 155–171.
- De Marco, P. (1998). The Amazonian Campina dragonfly assemblage: Patterns in microhabitat use and behaviour in a foraging habitat. *Odonatologica*, 27, 239–248.
- De Marco, P.; Batista, J.D.; Cabette, H.S.R. 2015. Community assembly of adult odonates in tropical streams: An ecophysiological hypothesis. *pLoS ONE* 10.
- Fincke, O.M. 1984. Giant damselflies in a tropical forest : reproductive biology of with *Megaloprepus* on *Mecistogaster coerulatus* notes (Zygoptera : Pseudostigmatidae) Pseudostigmatidae caught yet (FINCKE, ms .), feeding spiders body occasionally taking wrapped predictab. *Advances in Odonatology* 2: 13–27.
- Fincke, O.M. 1985. Alternative mate-finding tactics in a non-territorial damselfly (Odonata: Coenagrionidae). *Animal Behaviour* 33: 1124–1137.
- Grether, G. F. 2019. *Territoriality in aquatic insects*. In: Aquatic Insects. Ed. Del-Claro, K.; Guillermo-Ferreira, R. Springer, Cham. 167-189p.
- Garrison, R.W.; von Ellenrieder, N.; Louton, J.A. 2006. *Dragonfly Genera of the New World: an illustrated and annotated key to the Anisoptera*. The Johns Hopkins University Press, Estados Unidos, 368p.
- Gibbons, D.W.; Pain, D. 1992. The Influence of River Flow Rate on the Breeding Behaviour of Calopteryx Damselflies. *The Journal of Animal Ecology* 61: 283.
- Gorb, S.N. 2019. Wing surface in the damselfly *Mecistogastermerica* (Zygoptera, Pseudostigmatidae): interactions between nanoscale wax and sticky spider webs. *International Journal of Odonatology* 22: 51–57.
- Gotelli, N.J.; Ellison, A.M. 2011. *Princípios de estatística em ecologia*. In: Landeiro, V.L. (Ed.) Artmed, Porto Alegre, 528p.
- Gonzalez-Santoyo, I., Gonzalez-Tokman, D. M., Munguia-Steyer, R. E., & Cordoba-Aguilar, A. (2014). A mismatch between the perceived fighting signal and fighting ability reveals survival and physiological costs for bearers. *pLoS One*, 9(1).

- Gower JC. 1966. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. *Biometrika* 53: 325-338. doi: 10.1093/biomet/53.3-4.325.
- Guillermo-Ferreira, R. & Del-Claro, K. 2011. Oviposition site selection in *Oxyagrion microstigma* Selys, 1876 (Odonata: Coenagrionidae) is related to aquatic vegetation structure. *International Journal of Odonatology*, 14(3), 275-279.
- Guillermo-Ferreira, R., & Gorb, S. N. (2021). Heat-distribution in the body and wings of the morpho dragonfly *Zenithoptera lanei* (Anisoptera: Libellulidae) and a possible mechanism of thermoregulation. *Biological Journal of the Linnean Society*, 133, 179–186.
- Guillermo-Ferreira, R., Bispo, P. C., Appel, E., Kovalev, A., & Gorb, S. N. (2015). Mechanism of the wing colouration in the dragonfly *Zenithoptera lanei* (Odonata: Libellulidae) and its role in intraspecific communication. *Journal of Insect Physiology*, 81, 129–136.
- Hall, J.P.W.; Willmott, K.R. 2000. Patterns of feeding behaviour in adult male riodinid butterflies and their relationship to morphology and ecology. *Biological Journal of the Linnean Society* 69: 1–23.
- Hassall, C.; Thompson, D.J. 2008. The effects of environmental warming on Odonata: a review. *International Journal of Odonatology* 11: 131–153.
- Hefler, C., Qiu, H., & Shyy, W. (2018). Aerodynamic characteristics along the wing span of a dragonfly *Pantala flavescens*. *Journal of Experimental Biology*, 221.
- Helebrandová, J.B.; Pyszko, P.; Dolný, A. 2019. Behavioural Phenotypic Plasticity of Submerged Oviposition in Damselflies (Insecta: Odonata). *Insects* 10: 124.
- Hoorn, C. 2010. Amazonia Through Time : Andean. *Science* 330: 927–931.
- Hortal, J.; De Bello, F.; Alexandre, J.; Diniz-Filho, F.; Lewinsohn, T.M.; Lobo, J.M.; et al. 2015. Seven Shortfalls that Beset Large-Scale Knowledge of Biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst* 46: 523–572.
- Johansson, F.; Euglund, G.; Brodin, T.; Gardfjell, H. 2006. Species abundance models and patterns in dragonfly communities: effects of fish predators. *Oikos* 114: 27–36.
- Junior, M.D.N.G.; Damasceno, M.T. dos S.; Vilela, D.S.; Souto, R.N.P. 2022. A Amazônia Legal Odonatofauna: uma perspectiva de diversidade e lacunas de conhecimentos. *EntomoBrasilis* 15: e977.
- Carvalho, A.L.; Nessimian, J.L. 1998. Odonata do estado do Rio de Janeiro, Brasil: habitats e hábitos das larvas. *Oecologia Brasiliensis* 5: 3–28.
- Laurance, W.F. 2007. Have we overstated the tropical biodiversity crisis? *Trends in Ecology and Evolution* 22: 65–70.
- Liang, J.; Yao, G.; Wang, T.; Yang, X.; Zhao, W.; Song, G.; et al. 2014. Wing load investigation of the plunge-diving locomotion of a gannet *Morus* inspired submersible aircraft. *Science China Technological Sciences* 57: 390–402.
- Macedo, M.; Castello, L. 2015. *State of the Amazon: Freshwater Connectivity and Ecosystem Health*. 136p.

- Matushkina, N.; Gorb, S. 2007. Mechanical properties of the endophytic ovipositor in damselflies (Zygoptera, Odonata) and their oviposition substrates. *Zoology* 110: 167–175.
- Matushkina, N.A. 2011. Morphology of exophytic ovipositors in dragonflies (Odonata: Gomphidae, Corduliidae, Libellulidae), with particular reference to ovipositor muscles and sensilla. *International Journal of Odonatology* 14: 233–248.
- May, M. L. 1976. Thermoregulation in adaptation to temperature in dragonflies (Odonata: Anisoptera). *Ecological Monographs* 46: 1-32.
- May, M.L. 1991. Thermal adaptations of dragonflies, revisited. *Advances in Odonatology* 5: 71–88.
- May, M. L. (2019). Odonata: Who They Are and What They Have Done for Us Lately: Classification and Ecosystem Services of Dragonflies. *Insects* 2019, Vol. 10, Page 62, 10, 62.
- Mendes, T. P., Oliveira-Junior, J. M. B., Cabette, H. S. R., Batista, J. D., & Juen, L. (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.
- Mendes, T. P., Amado, L. L., Ribeiro, R. A. B., & Juen, L. (2020). Morphological diversity of Odonata larvae (Insecta) and abiotic variables in oil palm plantation areas in the Eastern Amazon. *Hydrobiologia*, 847, 161–175.
- Mendoza-Penagos, C., Vinagre, S. F., Miranda-Filho, J., Cruz, A., Carvalho, F. G., Oliveira-Junior, J. M. B., ... Juen, L. (2022). Colecciones científicas en Latinoamérica : La colección de adultos de Odonata del Laboratorio de Ecología y Conservación (LABECO) de la UFPA. *Hetaerina*, 4, 20–22.
- Mendoza-Penagos, C.C.; Calvão, L.B.; Juen, L. 2021. A new biomonitoring method using taxonomic families as substitutes for the suborders of the Odonata (Insecta) in Amazonian streams. *Ecological Indicators* 124: 107388.
- McCauley, S.J. 2013. Relationship between morphology, dispersal and habitat distribution in three species of *Libellula* (Odonata: Anisoptera). *Aquatic Insects* 34: 195–204.
- Miguel, T.B.; Oliveira-Junior, J.M.B.; Ligeiro, R.; Juen, L. 2017. Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. *Ecological Indicators* 81: 555–566.
- Miguel, T. B., Calvão, L. B., Vital, M. V. C., & Juen, L. (2017). A scientometric study of the order Odonata with special attention to Brazil. *International Journal of Odonatology*, 20, 27–42.
- Miguel, T.B.; Calvão, L.B.; Alves-Martins, F.; Batista, J.D.; Rodrigues, M.E.; Guillermo-Ferreira, R.; et al. 2022. Odonates in warm regions of southamericaa largely do not follow Rapoport's rule. *Biodiversity and Conservation*.
- Neiss, U.G.; Fleck, G.; Pessacq, P.; Tennessen, K.J. 2018. Odonata: Superfamily Libelluloidea. *Thorpe and Covich's Freshwater Invertebrates*: 399–447.
- Neiss, U. G. Taxonomia de Odonata (Insecta), com ênfase na caracterização morfológica e biologia de larvas, na Amazônia Central, Brasil. 2012. 43 f. Tese (Doutorado em Entomologia) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. 2012.
- Nepstad, D.C.; Stickler, C.M.; Almeida, O.T. 2006. Globalization of the Amazon soy and beef industries: Opportunities for conservation. *Conservation Biology* 20: 1595–1603.
- Novelo-Gutiérrez, R. (1992) Biosystematics of the larvae of the genus *Argia* in Mexico (Zygoptera:

Coenagrionidae). *Odonatologica*, 21 (1), 39–71.

- Olson, D.M.; Dinerstein, E.; Wikramanayake, E.D.; Burgess, N.D.; Powell, G.V.N.; Underwood, E.C.; et al. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth. *BioScience* 51: 933–938.
- Oliveira-Junior, J.M.B.; Juen, L. 2019. The Zygoptera/Anisoptera Ratio (Insecta: Odonata): a New Tool for Habitat Alterations Assessment in Amazonian Streams. *Neotropical Entomology* 48: 552–560.
- Pereira, D.F.G.; Oliveira-Junior, J.M.B.; Juen, L. 2019. Environmental changes promote larger species of Odonata (Insecta) in Amazonian streams. *Ecological Indicators* 98: 179–192.
- Renner, S.; Périco, E.; Dalzochio, M.S.; Sahlén, G. 2019. Ecoregions within the Brazilian Pampa biome reflected in Odonata species assemblies. *Austral Ecology* 44: 461–472.
- Resende, B.O.; Ferreira, V.R.S.; Brasil, L.S.; Calvão, L.B.; Mendes, T.P.; de Carvalho, F.G.; et al. 2021. Impact of environmental changes on the behavioral diversity of the Odonata (Insecta) in the Amazon. *Scientific Reports* 2021 11:1 11: 1–12.
- Rodrigues, M.E.; Roque, F.D.O.; Guillermo-Ferreira, R.; Saito, V.S.; Samways, M.J. 2019. Egg-laying traits reflect shifts in dragonfly assemblages in response to different amount of tropical forest cover. *Insect Conservation and Diversity* 12: 231–240.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Parr, M.J. 1983. An analysis of territoriality in libellulid dragonflies (Anisoptera: Libellulidae). *Odonatologica* 12: 39–57.
- Paulson, D. 2006. The importance of forests to Neotropical dragonflies. *Forests and dragonflies*: 79–101.
- Pavoine, S.; Vallet, J.; Dufour, A.B.; Gachet, S.; Daniel, H. 2009. On the challenge of treating various types of variables: Application for improving the measurement of functional diversity. *Oikos* 118: 391–402.
- Pena-Firme, P.; Guillermo-Ferreira, R. 2020. Females of the red damselfly *Mnesarete pudica* are attracted to more ornamented males and attract rival males. *Scientific Reports* 10: 1–7.
- Pereira, D.F.G.; Oliveira-Junior, J.M.B.; Juen, L. 2019. Environmental changes promote larger species of Odonata (Insecta) in Amazonian streams. *Ecological Indicators* 98: 179–192.
- Ramirez, A., 2010. Capítulo 5: Odonata. *Revista de Biología Tropical* 58: 97–136.
- Reed, S.C.; Williams, C.M.; Chadwick, L.E. 1942. FREQUENCY OF WING-BEAT AS A CHARACTER FOR SEPARATING SPECIES RACES AND GEOGRAPHIC VARIETIES OF DROSOPHILA. *Genetics* 27: 349–361.
- Renner, S.; Périco, E.; Dalzochio, M.S.; Sahlén, G. 2019. Ecoregions within the Brazilian Pampa biome reflected in Odonata species assemblies. *Austral Ecology* 44: 461–472.
- Resende, B.O.; Ferreira, V.R.S.; Brasil, L.S.; Calvão, L.B.; Mendes, T.P.; de Carvalho, F.G.; et al. 2021. Impact of environmental changes on the behavioral diversity of the Odonata (Insecta) in the Amazon. *Scientific Reports* 11: 9742.
- Rodrigues, M.E.; Roque, F.D.O.; Guillermo-Ferreira, R.; Saito, V.S.; Samways, M.J. 2019. Egg-laying traits reflect shifts in dragonfly assemblages in response to different amount of tropical

forest cover. *Insect Conservation and Diversity* 12: 231–240.

Rocha-Ortega, M., Rodríguez, P., Bried, J., Abbott, J., & Córdoba-Aguilar, A. (2020). Why do bugs perish? Range size and local vulnerability traits as surrogates of Odonata extinction risk. *Proceedings of the Royal Society B*, 287(1924), 20192645.

Ruppell, G. 1989. Fore legs of Dragonflies used to repel males. *Odonatologica* 18: 391–396.

Shelly, T. E. (1982). Comparative Foraging Behavior of Light- versus Shade-Seeking Adult Damselflies in a Lowland Neotropical Forest (Odonata : Zygoptera). *Physiological Zoology*, 55, 335–343.

Souza-Filho, P.W.M.; Giannini, T.C.; Jaffé, R.; Giulietti, A.M.; Santos, D.C.; Nascimento, W.R.; et al. 2019. Mapping and quantification of ferruginous outcrop savannas in the Brazilian Amazon: A challenge for biodiversity conservation. *PLOS ONE* 14: e0211095.

Suhling, F.; Sahlén, G.; Gorb, S.; Kalkman, V.J.; Dijkstra, K.B.; van Tol, J. 2015. Order Odonata. In: Thorp, J.; Rogers, D.C. (Eds.), *Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates*, Vol. 1, 4th ed. Academic Press, p.893–932.

Suhonen, J.; Rantala, M.J.; Honkavaara, J. 2008. Territoriality in odonates. In: Córdoba-Aguilar, A. (Ed.), *Dragonflies and Damselflies: Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research*, OUP Oxford, Oxford, p.304.

Sukhodolskaya, R. 2013. Intraspecific body size variation in ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in urban-suburban-rural-natural gradient. *Acta Biol. Univ. Daugavp* 13: 121–128.

Thornton, J.L.; Switzer, P. V. 2015. Factors Affecting the Spatial Distribution of Oviposition Sites for Tandem Black Saddlebags Dragonflies (Odonata: Libellulidae). *Journal of Insect Science* 15: 54.

Trautwein, M.D.; Wiegmann, B.M.; Beutel, R.; Kjer, K.M.; Yeates, D.K. 2012. Advances in Insect Phylogeny at the Dawn of the Postgenomic Era. *Annual Review of Entomology* 57: 449–468.

Valente-Neto, F., Roque, F. O., Rodrigues, M. E., Juen, L., & Swan, C. M. (2016). Toward a practical use of Neotropical odonates as bioindicators: Testing congruence across taxonomic resolution and life stages. *Ecological Indicators*, 61, 952–959.

Vandermeer, J. H. (1972). Niche Theory. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 3, 107–132.

Veloso, H.P.; Rangel Filho, A.L.R.; Lima, J.C.A. 1991. *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Ministério da Economia, Rio de Janeiro, 1–123p.

Vilela, D.S.; Del-Claro, K.; Guillermo-Ferreira, R. 201^a. The Influence of Body Size and Agility in Displacement Capacity of Male Damselflies (Odonata, Protoneurinae). *Journal of Insect Behavior* 30: 759–767.

Vilela, D.S.; Tosta, T.A.A.; Rodrigues, R.R.; Del-Claro, K.; Guillermo-Ferreira, R. 2017b. Colours of war: visual signals may influence the outcome of territorial contests in the tiger damselfly, *Tigriagrion aurantinigrum*. *Biological Journal of the Linnean Society* 121: 786–795. Carvalho, A.L.; Nessimian, J.L. 1998. Odonata do estado do Rio de Janeiro, Brasil: habitats e hábitos das larvas. *Oecologia Brasiliensis* 5: 3–28.

Waller, J.T.; Willink, B.; Tschol, M.; Svensson, E.I. 2019. The odonate phenotypic database, a new open data resource for comparative studies of an old insect order. *Scientific Data* 6: 316.

Material Suplementar

disponível em repositório científico online Dryad (<https://doi.org/10.5061/dryad.brv15dvdg>)

2º Capítulo: EFEITO DE UM MINERODUTO SOBRE A DIVERSIDADE DE ODONATA E CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DE IGARAPÉS DO CENTRO DE ENDEMISMO BELÉM - AMAZÔNIA

Resumo

A extração mineral na Amazônia tem causado impactos ambientais significativos nas drenagens hídricas da região. Os insetos aquáticos da ordem Odonata são sensíveis às alterações no ambiente e são utilizados como bioindicadores eficientes por serem considerados muito sensíveis às condições de habitats terrestres e aquáticos. Portanto, nossos objetivos foram avaliar as alterações causadas pela utilização de um mineroduto sobre igarapés amazônicos e se os efeitos desses impactos atuam sobre a estrutura da comunidade de Odonata. Por fim, também identificamos quais variáveis ambientais influenciam na diversidade regional de Odonata, no intuito de elucidar se estas variam entre os igarapés afetados ou não pelo empreendimento. Amostramos 769 libélulas e 277 métricas ambientais em 48 igarapé localizados no centro de endemismo Belém, nordeste da Amazônia brasileira. Os resultados evidenciaram que a presença do mineroduto altera as características ambientais de igarapés da Amazônia, porém, estes efeitos não se mostraram tão severo sobre as comunidades de Odonata, no qual apenas a abundância de Zygoptera e composição de Anisoptera foram influenciadas. Ressaltamos que os impactos menos acentuados podem ser um reflexo do secular histórico de exploração humana realizado na região, que pode ter filtrado as espécies mais tolerantes, tendo agora baixa influência das alterações ambientais registradas. Por fim, uma vez que os principais impactos ambientais identificados foram relacionados ao represamento e fragmentação da drenagem hídrica, sugerimos estratégias mais eficientes na canalização dos igarapés, como dispositivos que impeçam a entrada de sedimentos da estrada dentro do canal, mensuração mais apurada da vazão ou a limpeza constante das anilhas utilizados para a transposição da água pelas pontes utilizadas para o acesso ao mineroduto.

Palavra-chaves: mineração, Zygoptera, Anisoptera, impacto ambiental, represamento, bauxita.

Introdução

A extração mineral é um agente cada vez mais importante na mudança regional do uso da terra, com impactos diretos e indiretos sobre os ecossistemas amazônicos (Mechi & Sanches, 2010; Macedo & Castello, 2015). No entanto, apesar de ser uma atividade altamente impactante e não sustentável, a mineração é a base da sociedade industrial moderna, pois fornece matéria-prima para todos os demais setores da economia, sendo assim, essencial ao desenvolvimento do País (Ministério do Meio Ambiente 2001). Na Amazônia, os minérios mais explorados é o ferro, bauxita, manganês e ouro (Santos, 2002). A bauxita é o segundo minério mais explorado na região, pois é rica em alumina, elemento utilizado na produção de uns metais mais utilizados pela humanidade contemporânea, o alumínio (Cardoso et al. 2010).

Apesar das atividades mineradoras requererem menor área ambiental do que outras atividades econômicas, como a agricultura e pecuária (Souza et al., 2020), para que a extração mineral ocorra deve haver obrigatoriamente a remoção em massa da vegetação, do solo orgânico e da camada de estéreis, que nas regiões amazônicas, podem chegar até 25 metros de profundidade (Negrão et al., 2018; 2021). Outro problema resultante da mineração são os impactos indiretos, uma vez que são necessários a construção de estruturas, como por exemplo, abertura de acessos e de estradas, tráfego

intenso de maquinários, poluição sonora e visual, construção de represas e assentamentos para operários em áreas remotas (Macedo & Castello, 2015). Além do mais, a mineração é um dos maiores consumidores de recursos hídricos (Gunson et al., 2012) e energia elétrica no setor industrial do mundo (Holmberg et al., 2017).

Esses impactos representam sérias ameaças a biodiversidade (Sonter et al., 2018), e apesar disso a sociedade moderna é extremamente dependente da atividade de mineração, usando ao longo dos anos cada vez mais recursos minerais (Abal, 2017). O escoamento do minério se torna um setor estratégico dentro desse tipo de empreendimento. Uma vez que a idealização e a construção de estruturas de transporte se tornam uma opção bastante viável (Naliati et al., 2019) e algumas medidas já foram implantadas para reduzir os impactos negativos, como dutos interconectados, por onde o minério é propelido através de bombas de alta pressão (Liu, 2003). As principais vantagens na utilização desses dutos é uma menor necessidade de manutenção e mão de obra para que a estrutura possa operar (Bhabra, 2013). Outro ponto importante é que esse modelo de transporte é teoricamente menos nocivo ao meio ambiente, pois não há ruídos e nem gases nocivos liberados ao longo do percurso gerados pela combustão de combustíveis fósseis, como é o caso das locomotivas e caminhões (Naliati et al., 2019). Essa prerrogativa fica ainda mais importante quando se trata de jazidas localizadas em áreas pristinas, remotas e com grande importância ecológica. Apesar das inúmeras conveniências dessa estratégia de transporte, o uso de minerodutos também pode apresentar consequências ambientais consideráveis (Faddick, 1979). Quase toda a extensão do mineroduto é soterrada, havendo a necessidade de transpor obstáculos naturais como rios e montanhas (Liu, 2003). Sendo assim, a instalação dos dutos requer o massivo revolvimento de solo, seja na etapa de nivelamento do terreno, que inclui cortes de taludes e abertura de acessos subterrâneos, quanto na instalação da estrutura propriamente dita, onde há a escavação do solo, inserção e soterração dos dutos (Sousa et al., 2015). Outro eminente impacto dos minerodutos é em relação ao desmatamento, pois se faz necessário a supressão vegetal em uma faixa de que varia de 30 a 100 m, por onde o mineroduto e uma estrada de acesso irá passar (Liu, 2003). Este tipo específico de desmatamento é peculiar, já que inclui a remoção de todas as espécies e tipos de vegetação, até mesmo aquelas resguardadas por lei, como é o caso das matas ciliares ou ripárias dos corpos hídricos.

O excesso de solo revolvido, bem como a retirada dos sistemas radiculares da vegetação, pode acarretar a deterioração do solo através de processos erosivos como o assoreamento e lixiviação. Uma das consequências é o aumento de sedimentos na água, alterando variáveis como a dureza e turbidez (Gomes et al., 2016). O aumento de partículas na água também pode ser causado por micro vazamentos que possivelmente acontecem em estruturas como os minerodutos, já que trabalham constantemente sob alta pressão e expostos as intempéries da natureza (Adegboye et al., 2019). A precipitação desse material alógeno ao leito do canal transforma subitamente um ambiente

heterogêneo (com a presença de folhas, galhos, raízes, rochas, cascalhos) em homogêneo, diminuindo a oferta de micro-habitat de peixes (Casatti et al. 2006), além de sufocar macroinvertebrados filtradores (Fjellheim & Raddum, 1995; Rádková et al., 2017; Rivera-Pérez et al., 2023). Essas alterações nos grupos funcionais afetam a distribuição das espécies e criam um efeito em cascata de perda de biodiversidade (Casatti et al., 2006).

As estradas e pontes são os principais acessos dos dutos e esses meios podem causar fragmentação do fluxo das drenagens hídricas pelas quais a estrutura passa, represamento dos canais e, conseqüentemente, transformando ambientes lóticos em lênticos ou semilênticos (Ferreira et al., 2023^a; Leitão et al. 2018; Nasr et al., 2021). Conseqüentemente pode alterar toda a cadeia hídrica causando empobrecimento biótico nessas regiões (Pasini et al., 2013, Couto et al. 2023). Alguns estudos realizados na região apontaram que as estradas podem reduzir a diversidade funcional e a perda de adequabilidade de áreas dentro das assembleias de peixes (Leitão et al., 2018). Além do mais, a criação de estradas necessita obrigatoriamente da retirada da vegetação natural que é responsável pela manutenção da temperatura e umidade dos ambientes e afetar diretamente nas estruturas da comunidade aquática (Garner et al., 2017). Uma vez que a redução da cobertura da vegetação nativa aumenta a amplitude de variação das condições microclimáticas, o que pode excluir localmente as espécies com nichos mais estreitos ou específicos (Monteiro-Júnior et al., 2013). Portanto, o monitoramento de fauna pode se tornar uma ferramenta útil para captar sinais de alterações ambientais conseqüentes da mineração (Veiga et al., 1999; Brumbaugh et al., 2005; Sonne et al., 2014; Brito et al., 2021).

A ordem de insetos aquáticos Odonata, vem sendo utilizada como um ótimo indicador ambiental (Foote & Hornung, 2005; Oertli, 2008; Miguel et al., 2017), já que apresenta alta abundância natural, grande diversidade e mudanças estruturais em suas comunidades em virtude das modificações ambientais (Oliveira-Junior & Juen 2019; Pereira et al., 2019; Brasil et al., 2021; Resende et al., 2021). Sua taxonomia é bem resolvida quando comparada com outros grupos aquáticos (com 6.392 espécies descritas (Paulson et al. 2023); ciclo de vida anfibiótico, tendo relações tanto com o ambiente terrestre quanto o aquático (Corbet, 1999). As subordens (Anisoptera e Zygoptera) possuem necessidades ecofisiológicas específicas (e.g. termorregulação e comportamento) (Corbet & May, 2008), permitindo a elaboração de hipótese ecológicas com predições diretas sobre os impactos ambientais e conservação de áreas naturais.

O fato é que pouco se sabe sobre os reais impactos da extração de bauxita sobre os ecossistemas aquáticos e seus grupos biológicos. Em virtude desse cenário, nossos objetivos foram: (1) avaliar os possíveis efeitos da implantação e utilização de um mineroduto sobre a estrutura ambiental de igarapés da Amazônia; (2) avaliar o efeito desses possíveis efeitos sobre a estrutura da comunidade de libélulas adultas; e (3) identificar quais variáveis ambientais influenciam na

diversidade de Odonata, no intuito de elucidar se variam entre os igarapés afetados ou não pelo duto. Para isso, testamos as seguintes hipóteses: i) o avanço dos dutos sobre a paisagem causará mudanças físicas e químicas na estrutura dos igarapés, como redução do fluxo da água, alteração no substrato do leito, abertura da cobertura vegetal, entre outras; (ii) haverá uma substituição de espécies nos entornos da passagem do mineroduto em resposta a especificidade de habitat das espécies de Odonata, onde acreditamos que os igarapés influenciados terão uma maior presença de odonatos generalistas de habitats, quando comparados com ambientes afastados, que por sua vez, possuirão uma maior prevalência de espécies de habitat especializado. Consequentemente, predizemos que (iii) a abundância e riqueza de Zygoptera será maior em igarapés sem a influência do mineroduto enquanto (iv) para Anisoptera observaremos um padrão inverso, isto é, um aumento das métricas taxonômicas em igarapés influenciados pela estrutura.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em 48 igarapés situados em sete municípios ao nordeste do Estado do Pará (Fig. 1A). 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. A região apresenta clima tropical úmido (*Af*) de acordo com a classificação de Köopen (Peel et al., 2007), apresentando uma estação chuvosa (de dezembro a maio) e uma estação de estiagem (de junho a novembro). A vegetação é categorizada como Floresta Ombrófila Densa Submontana (Ellenberg & Mueller Dombois, 1967). As temperaturas médias anuais variam de 25.5°C a 26.8°C e com precipitação total de 2800 mm/ano (INPE, 2022).

A região tem sido intensamente utilizada desde o século passado, principalmente para a extração de seringueiras para a produção de borracha (Prates & Bacha 2011). O desmatamento na região intensificou próximo a virada do século XXI, depois de uma série de incentivos fiscais fornecidos pelo governo militar, bem como a construção e melhorias em estradas, incluindo a BR010, que permitiram maior acesso à área e consequentemente maior alteração no uso do solo. Atualmente, os principais usos do solo são a criação de gado e agricultura, com destaque para a plantação de dendê (Pinillos et al., 2021; Gurgel et al., 2017). É importante ressaltar que o mineroduto atravessa áreas com florestas primárias e secundárias dominantes, com a presença de grandes rios como o Rio Capim, Rio Tomé-Açú, Rio Mariquita, Rio Acará e Rio Mojú. Por fim, em alguns pontos específicos, o mineroduto atravessa áreas quilombolas e indígenas, além de grandes propriedades rurais (Fig. 1 B-C).

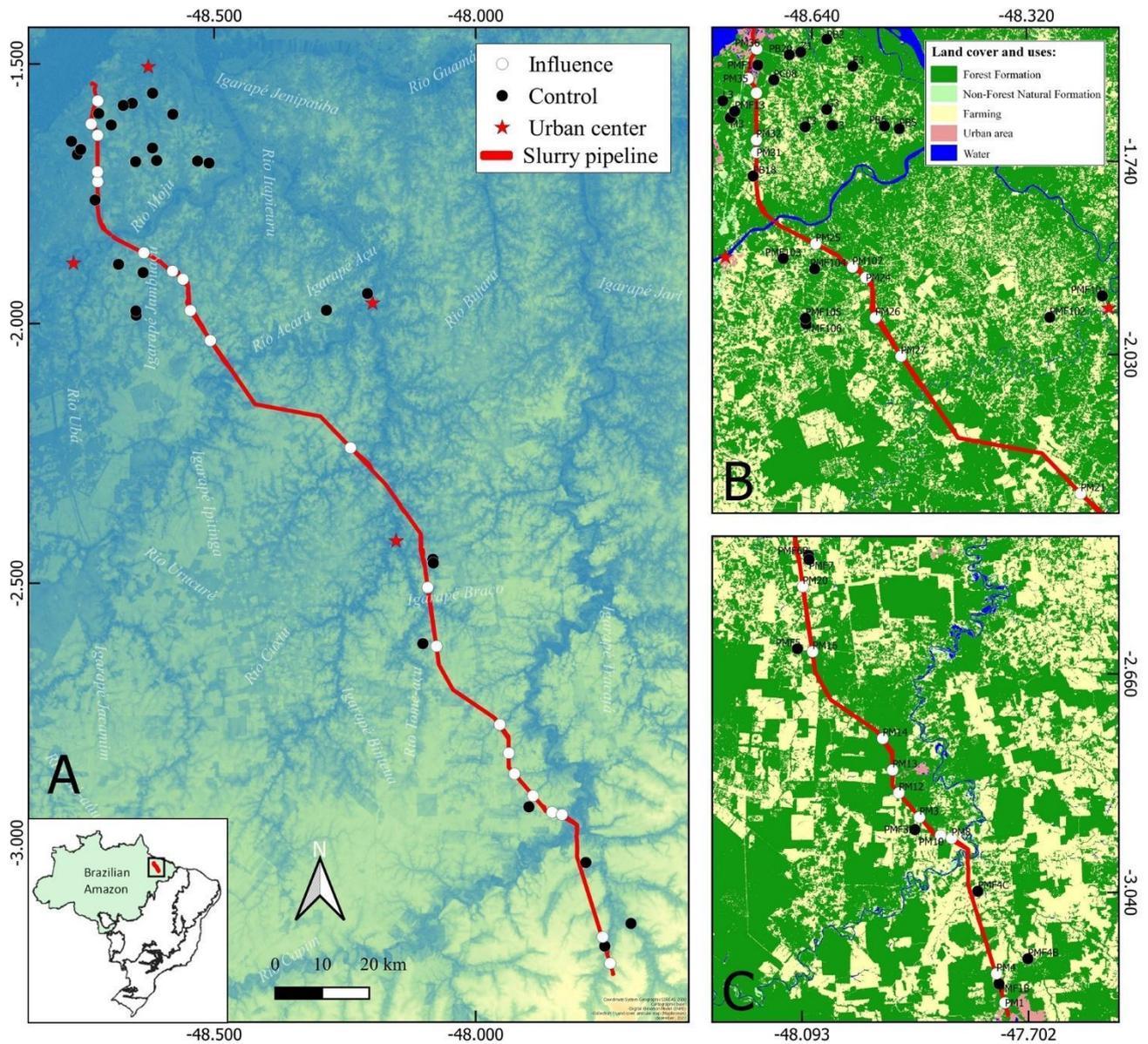


Figura 1. Mapa dos 48 pontos amostrados, sendo 21 cortados pelo mineroduto transportador de bauxita (círculos brancos) e 27 sem a influência direta dessa estrutura (círculos pretos). A) Pontos plotados sobre um mapa de Modelo Digital de Elevação (MDE), revelando a disposição dos pontos amostrados em diferentes drenagens e microbacias ao longo do mineroduto; B) Um recorte de 2021 de MapBiomas dos diferentes usos e cobertura do solo da região ao norte e C) e ao sul do mineroduto.

Mineroduto

A extração de bauxita ocorre em Paragominas, mas o processo de refinação do minério em alumina é realizado no município de Barcarena. Portanto, no ano de 2003, foi iniciado a criação do primeiro mineroduto transportador de bauxita do mundo. O mineroduto foi construído utilizando centenas de tubos de 12 m de comprimento e 20” de diâmetro interconectados por soldas especiais, além de diversas estações de bombeamento. Ao total, a estrutura possui 244 km de extensão, ocupando uma faixa de servidão de cerca de 30 metros de largura, por onde, geralmente, passa uma estrada para acesso e manutenção da estrutura (Augusto, 2012). Para que o fluxo de água siga por de baixo das pontes e estradas, os igarapés são canalizados por meio de anilhas de concreto (Fig. 2B) ou

galerias de madeira (Fig. 2C) (Ferreira et al., 2023b). No entanto, muitas das vezes a manutenção e o dimensionamento dessas estruturas não é suficiente para dar vazão suficiente ao volume de água existente nos riachos (Conesa-García and García-Lorenzo 2013), resultando no represamento e entrada de sedimentos no canal.



Figura 2. A) Mineroduto transportador de bauxita em processo de instalação e em sua lateral, a estrada de acesso. Tubos de 12 m de comprimento e 20” 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.

Coleta dos dados

Nós amostramos em 48 igarapés, destes, 21 igarapés nos quais o mineroduto perpassava diretamente abaixo dos sistemas aquáticos na transecção de coleta e 27 igarapés localizados em mosaicos de áreas florestais e fora da área de influência direta do mineroduto (Tabela suplementar 1). Nós realizamos as coletas em outubro de 2022, período de estiagem (menor precipitação ao longo do ano) na região. Na seleção dos pontos, buscamos amostrar córregos de 1^a a 3^a ordem (Strahler, 1957) em microbacias diferentes, garantindo assim independência espacial. Também buscamos contemplar o máximo de paisagens existente na região, amostramos pontos com diferentes usos do solo (pastagem, monocultura e áreas de preservação ambiental).

Em cada riacho, um trecho de 150 m foi demarcado e posteriormente subdividido por onze

transectos equidistantes, nomeados de "A" a "K" na direção a montante, totalizando 10 segmentos longitudinais de 15 metros cada. Em igarapés impactados, buscamos amostrar 75 metros acima (a montante) e 75 metros abaixo (a jusante) do mineroduto (Fig. 2). As coletas biológicas foram realizadas com uma rede entomológica (puçá) entre as 11 e 14 h (horário de maior atividade desses insetos) (Batista et al., 2021), com esforço amostral médio de uma hora por transecto. Todos os indivíduos avistados no transectos foram capturadas e levadas ao laboratório, onde foram fixadas em acetona P.A (Lencioni, 2005). Posteriormente, foram identificadas até nível específico, utilizando chaves, descrições e material referência (Lencioni, 2005; Garrison et al., 2006; Garrison et al. 2010, Lencioni, 2017). Todo o material biológico está depositado na Coleção Zoológica da Universidade Federal do Pará – Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO).

Variáveis ambientais

Para mensurar possíveis mudanças no ambiente em função do duto de bauxita, em cada um dos igarapés, nós aplicamos um protocolo com 211 métricas que avaliam a integridade física dos igarapés (disponíveis no material suplementar). As métricas são aninhadas em sete diferentes blocos: cobertura e uso da terra, influência humana, tipo de substrato no leito, vazão, disposição de madeira e morfologia do canal (Kaufmann et al., 1999; Peck et al., 2005). Também aplicamos o Índice de Integridade Ambiental (HII) elaborado por Nessimian et al. (2008), que consiste em um valor (que varia de 0 a 1) calculado a partir de 12 parâmetros, como: largura e integridade da mata ciliar, o padrão de uso da terra além da mata ciliar, tipo de substrato do riacho, vegetação aquática, entre outros. Adicionalmente, classificamos em km² a quantidade de formações florestais e agropecuária nas proximidades dos igarapés estudados através do processamento digital de imagens de satélites (Landsat - 2021) de um buffer de 50 metros além da região onde foi delimitada o transecto de coleta. Essa classificação foi validada utilizando dados do Mapbiomes. Todas as etapas de análise das imagens foram realizadas no software espacial ArcGis 10.1 (ESRI, 2014). Por fim, com o auxílio de uma sonda multiparâmetros mensuramos em três diferentes pontos do transecto de cada igarapé (0m, 75m e 150m), variáveis físico-químicas: temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade elétrica (µS/cm) e potencial hidrogeniônico (pH). As variáveis selecionadas para representar as condições locais são apontadas em literaturas como importantes para explicar a variação da comunidade de Odonata na Amazônia (Juen et al., 2016; Oliveira-Junior & Juen 2019; Brasil et al., 2020; Resende et al., 2021).

Para tentar diminuir os problemas de multicolinearidade utilizamos um subconjunto extraído a partir de uma seleção das 277 (protocolo + parâmetros aquáticos + HII + uso do solo) variáveis ambientais supracitadas através dos seguintes procedimentos: calculamos coeficientes (%) de zero e retiramos todas aquelas variáveis com mais de 70% de seus dados sendo constituído por zeros;

ajustamos correlações de Pearson (dados contínuos) e Spearman (dados ordinais) par-a-par entre as variáveis, aonde fosse detectado uma alta correlação (<70%), sempre selecionamos aquela variável apontada como mais relevantes para a comunidade de Odonata de riachos Amazônicos. Finalmente, apenas para os dados contínuos, calculamos Fatores de Inflação da Variância (VIF), retirando sequencialmente as variáveis com valores superiores a três (Stine, 1995). Após essa filtragem, o subconjunto final contou com 23 variáveis abióticas contínuas (veja mais em material suplementar).

Análise de dados

Para esse estudo cada igarapé representa uma unidade amostral, totalizando, portanto, 48 amostras. Esses igarapés foram categorizados como controle (n=27) e mineroduto (n=21).

No intuito de testar a predição (i), de que existe variação nas características ambientais entre os tratamentos, nós ajustamos uma Análise de Componentes Principais (PCA) para cada bloco de variável ambiental, utilizando os dois primeiros eixos com maiores valores de explicação da variabilidade dos dados em um plano cartesiano (Borcard et al., 2011). Os dados de entrada desses ordenamentos foram matrizes de distâncias euclidianas padronizadas (escala Z) para as variáveis contínuas. Por outro lado, para as variáveis de contagem, como aqueles de porcentagem de substrato ou influência humana, primeiramente as transformamos em sistema Fuzzy (Chevenet et al., 1994) e, posteriormente, ajustamos Análises Fuzzy de Componentes Principais (FPCA) (Wu & Zhou, 2007). Os agrupamentos foram testados através de Análises Permutacionais de Variância (PERMANOVA), com 999 permutações e $\alpha = 0.05$ (Gower, 1966).

Para avaliar se houve mudanças na composição de espécies em resposta a passagem do mineroduto (ii), realizamos Análises de Coordenadas Principais (PCoA) utilizando matrizes de Bray-Curtis calculadas a partir da abundância das espécies (Anderson, 2001). Os agrupamentos foram testados através de Análises Permutacionais de Variância (PERMANOVA), com 999 permutações e $\alpha = 0.05$ (Gower, 1966). Por fim, no intuito de discriminar as espécies que mais contribuíram nos casos em que se constatou diferenças significativa na composição de espécies, nós calculamos uma porcentagem de dissimilaridade (Simper) baseada na decomposição da matriz de Bray-Curtis das diferentes comunidades (Clarke, 1993).

Nós testamos as predições (iii) e (iv), de que a abundância e a riqueza das subordens respondem de forma antagônicas entre as categorias de igarapés, através de Análises Lineares Generalizadas Mista (GLMM) com família Poisson ou Binomial negativa (sendo selecionado a família de acordo com o ajuste da dispersão dos resíduos (ratio~1)). Nós consideramos os tratamentos controle e mineroduto como variáveis preditoras. Dado que nossos pontos “controle” apresentam uma variabilidade no status de preservação ambiental, adicionamos aos modelos o HII como um fator

aleatório (Zuur et al., 2009), para tentar controlar possíveis efeitos das alterações antrópicas na bacia de drenagem.

Com a intenção de identificar as variáveis preditoras que influenciam a diversidade das subordens de Odonata da região, independentemente do tratamento em que se encontra essas comunidades (controle ou mineroduto), ajustamos Modelos Lineares Generalizados utilizando um subconjunto das variáveis ambientais selecionadas como preditoras e a riqueza e abundância observada como resposta. Utilizando esse mesmo subconjunto de variáveis ambientais, realizamos uma Análise de Redundância (Wollenberg, 1977) para testar quais destas apresentam relações positivas ou negativas com a composição das subordens de Odonata. Em ambas as análises, realizamos seleção de modelos (em “ambas” as direções) utilizando o índice AIC como coeficiente de ajuste (Akaike, 1974). Para tentar compreender como as variáveis mantidas na seleção de modelos do GLM e RDA (e, portanto, importantes preditoras para a diversidade de Odonata) se arranjaram entre os igarapés afetados e não afetados pelo mineroduto, ajustamos testes permutacionais categóricos (perm=999, $p=0.05$) e boxplots considerando as categorias como variáveis preditoras e variáveis abióticas como resposta (Fig. 3). Todas as análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2022), utilizando os pacotes “vegan”, “lme4”, “adespatial”, “lmPerm” e “ggplot2”.

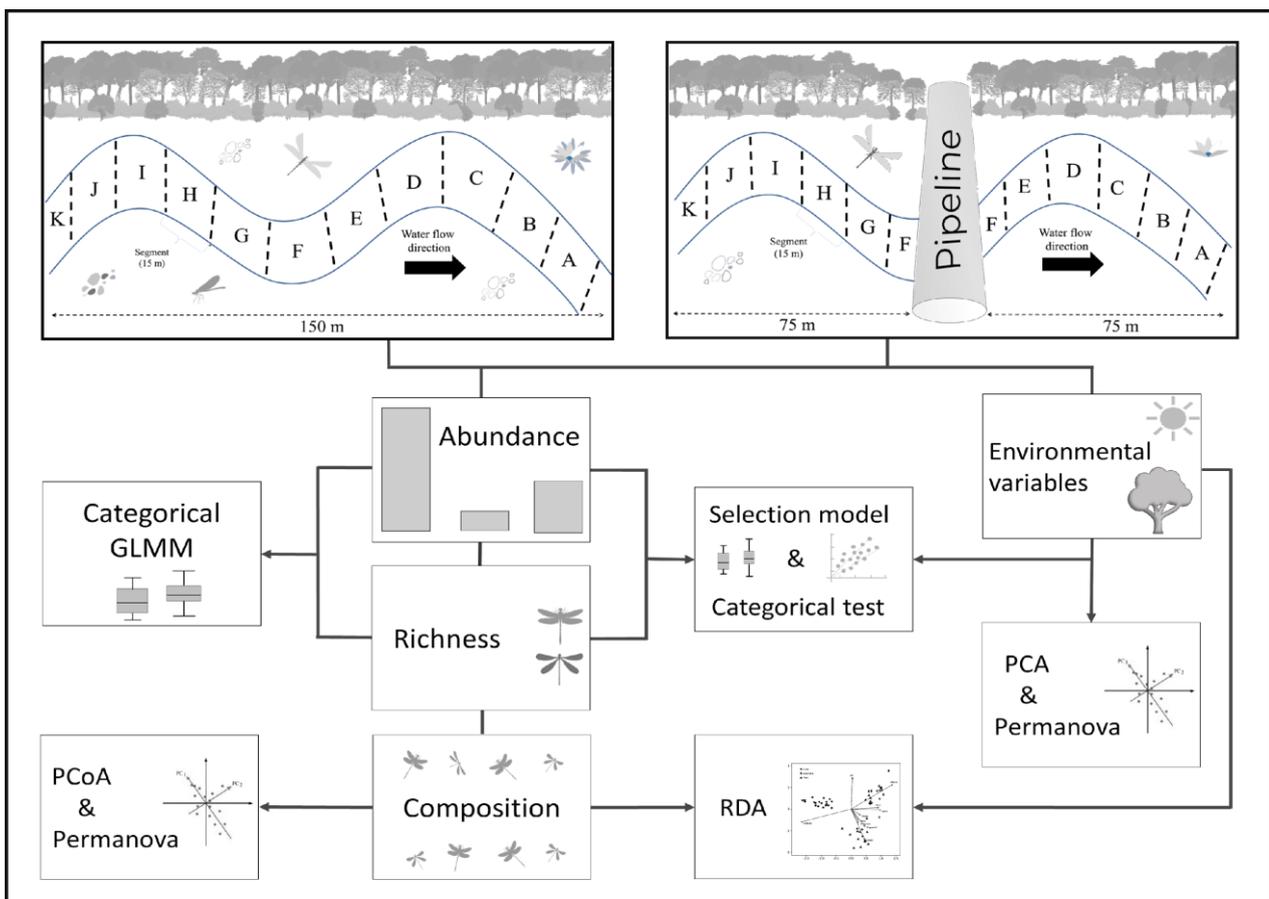


Figura 3 – Processo do tratamento analítico utilizado para testar hipóteses referentes ao efeito do mineroduto sobre a estrutura da comunidade das subordens de Odonata. O transecto de coleta tem uma extensão de 150 m. Este por sua vez, é subdividido em 10 segmentos equidistantes de 15 m cada,

nomeados de "A" a "K" na direção a montante do córrego. Em igarapés afetados, o mineroduto perpassa no meio do transecto, mais especificamente no segmento "F".

Resultados

Condições ambientais

A Análise de Componentes Principais em seus dois primeiros eixos explicou 64% da variação das variáveis de cobertura do solo. O primeiro eixo capturou 43% dessa variação, em que as métricas que mais contribuíram positivamente foram as relacionadas a média de dossel vegetal. Ortogonalmente, o segundo eixo explicou 21% dos dados, sendo as variáveis que mais contribuíram com a formação desse eixo o HII (positivo) e agropecuária (negativo) (Fig. 4A). O primeiro eixo do ordenamento dos dados de influência humana capturou 29% da variação, sendo as métricas zonas urbana, estrada e plantação as que mais contribuíram positivamente para a formação desse eixo (Fig. 4B). O segundo eixo explicou 20%, onde a variável construção teve efeito negativo e mineração um efeito positiva na construção desse eixo. O primeiro eixo do ordenamento das métricas de substrato capturou 42% da variação dos dados, sendo areia em direção positiva, macrófitas e liteira fina em direção negativa, as variáveis que mais contribuíram com essa explicação. Já o eixo 2 explicou 37%, aonde liteira grossa contribuiu de forma negativa e cascalho de forma positiva (Fig. 4C). Por fim, os dois primeiros eixos do ordenamento do fluxo explicaram 96% dos dados, onde ficou evidente que área molhada e taxa de vazão contribuíram positivamente com o primeiro eixo enquanto proporção de fluxo lento negativamente com o segundo eixo (Fig. 4D) (Tab. Suplementar 2).

Nossas análises evidenciaram que os seguintes blocos de variáveis ambientais são diferentes entre nossos tratamentos: cobertura de solo ($F=3.564$, $p=0.005$), com uma maior relação dos pontos mineroduto com as métricas de dossel vegetal e floresta e pontos controle com HII; influência humana ($F=3.509$, $p=0.007$), aonde pontos mineroduto estão covariando junto com a presença de pastagem, gramíneas, captação de água e, obviamente, dutos, indústria e atividades mineradoras enquanto os controle com construção residencial; Substrato ($F=3.011$, $p=0.017$), no qual podemos notar que os pontos de mineroduto estão mais relacionados as macrófitas, liteira fina e raízes, por outro lado, igarapés controles apresentaram mais substrato do tipo areia e liteira grossa (Fig. 4); e por fim, fluxo da água ($F=4.400$, $p=0.020$), no qual o fluxo lento está mais relacionado aos pontos mineroduto. Os demais conjuntos de variáveis, parâmetros aquáticos ($F=2.231$, $p=0.075$), disposição de madeira ($F=1.097$, $p=0.313$) e morfologia do canal ($F=0.530$, $p=0.889$) não tiveram variação significativa entre nossos tratamentos (estatística descritiva e figura disponível no material suplementar).

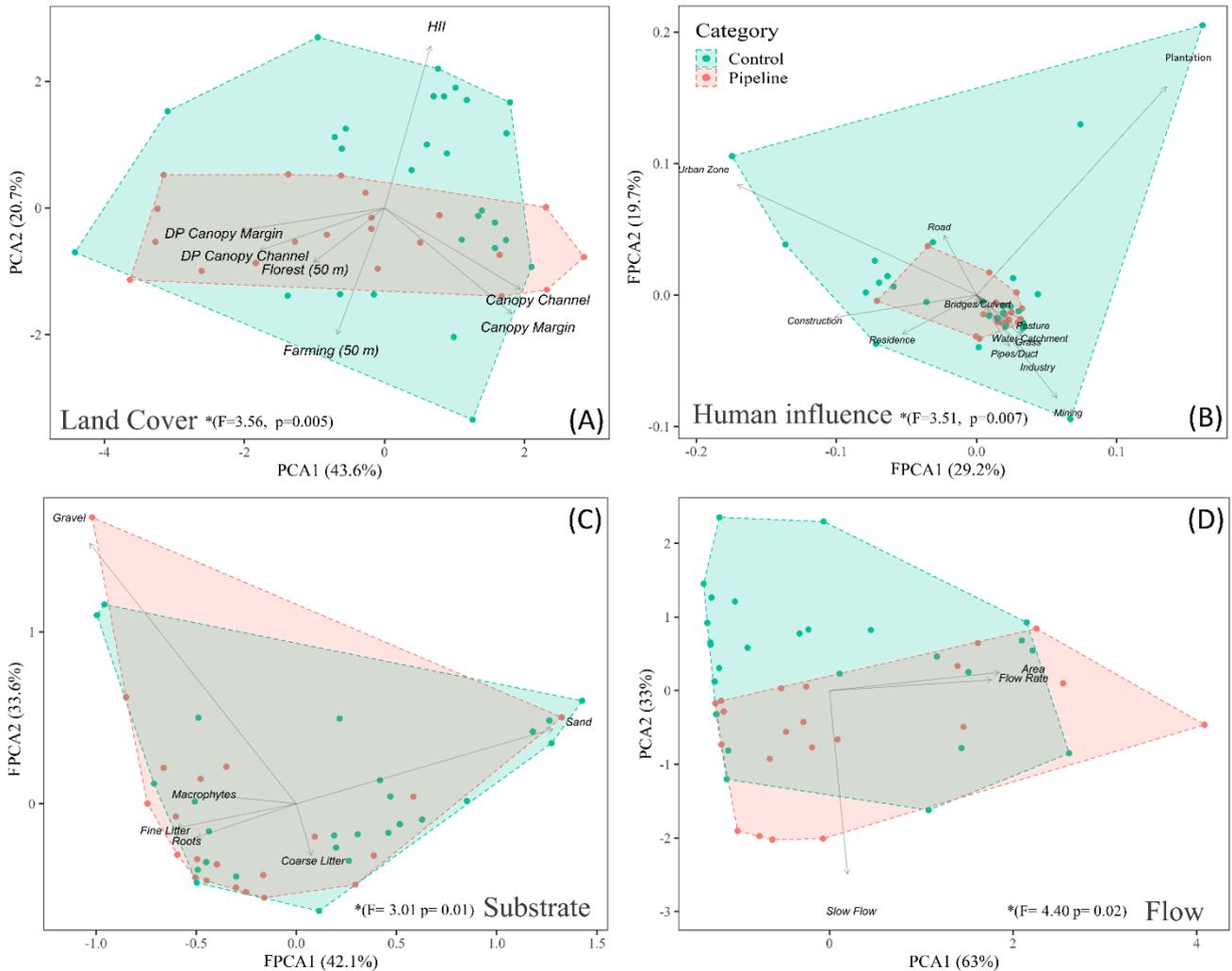


Figura 4 – Análise de ordenamento (PCA) das variáveis relacionadas ao A) uso e cobertura da terra, B) influência humana, C) substrato e D) vazão entre igarapés situados dentro e fora da faixa de servidão do mineroduto. Os conjuntos de variáveis ambientais foram significativas ($p < 0.05$).

Padrão geral da comunidade de Odonata

A subordem Anisoptera teve uma abundância total de 133 indivíduos, pertencentes a duas famílias, 21 gêneros e 32 espécies, aonde as mais abundantes foram *Erythrodiplax fusca* ($n = 14$), *Zenithoptera lanei* ($n = 14$) e *Uracis imbuta* ($n = 12$). Nós coletamos 636 espécimes de Zygoptera, distribuídos em seis famílias, 18 gêneros e 37 espécies, sendo *Epipleoneura metallica* ($n = 100$), *Mnesarete williamsoni* ($n = 73$) e *Mnesarete aenea* ($n = 69$) as espécies mais representativas (veja mais em tabela suplementar 4).

Abundância e Riqueza de espécies

Nossa hipótese (i) foi corroborada parcialmente, uma vez que houve maior abundância apenas para Zygoptera em igarapés sem a presença do mineroduto ($z = -2.71$, $p = 0.006$) (Fig. 5A). Estes pontos controle, apresentaram em média, seis exemplares de zigópteros a mais do que aqueles cortados pelo mineroduto. Por outro lado, contrariando as demais predições de nossa hipótese (i), não

identificamos diferença na riqueza de espécies das duas subordens entre os tratamentos (Zygoptera: $z = -1.474$, $p = 0.141$; Anisoptera: $z = 1.326$, $p = 0.185$) (Fig. 5B), o mesmo padrão foi registrado para a abundância da subordem Anisoptera ($Z = 1.411$, $p = 0.158$).

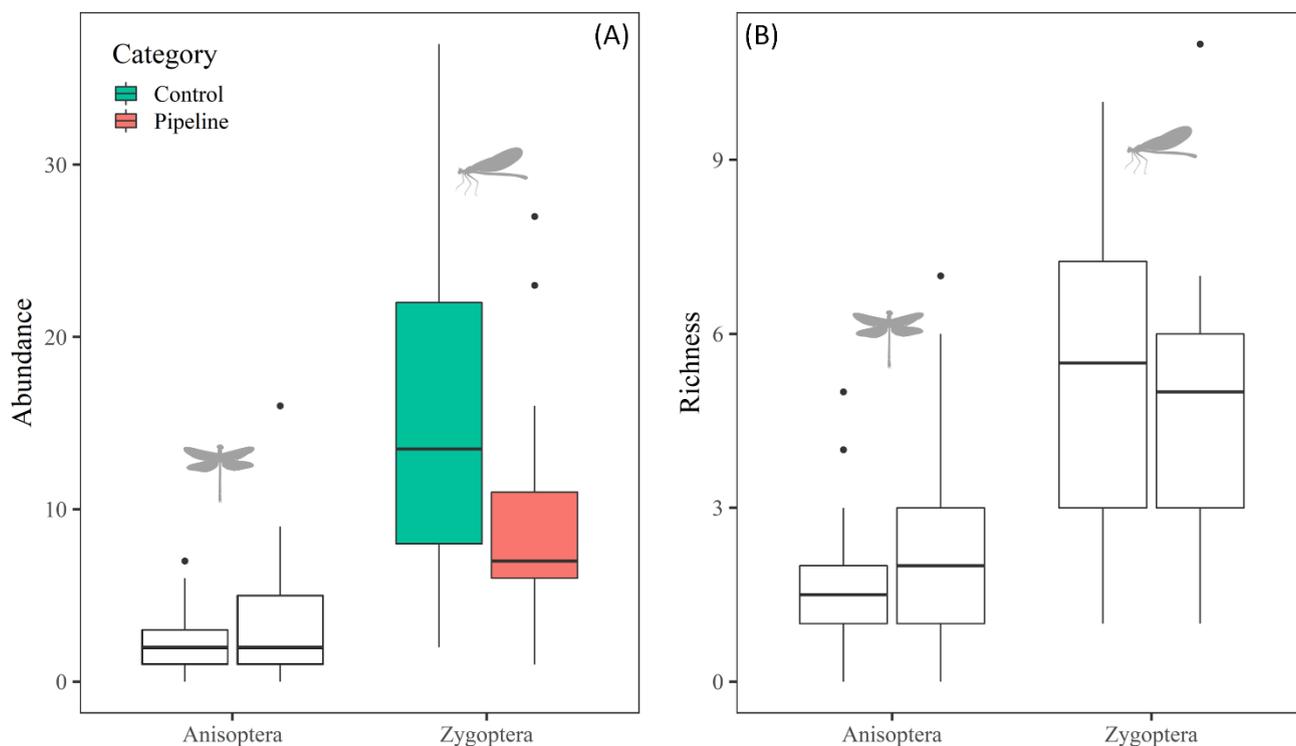


Figura 5 - A) Abundância e B) Riqueza das diferentes subordens em função dos tratamentos controle e mineroduto. *Apenas box plot preenchidos por cor apresentam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0.05$) entre as médias.

Composição de espécies

O primeiro eixo da ordenação da composição de espécies de Anisoptera explicou 16% da variação dos dados (Fig. 6). As espécies *Oligoclada risi* e *Gynacantha mexicana* foram as que mais contribuíram positivamente com esse eixo, e as espécies *Zonophora* sp.1 e *Orthemis cultriformis* negativamente. Por outro lado, o segundo eixo explicou 14.3%, se destacando positivamente a espécie *Oligoclada walkeri* e negativamente as espécies *Brachymesia herbida* e *Micrathyria* sp.1. Em relação a subordem Zygoptera, o primeiro eixo capturou 16.8% da variação dos dados de composição (Fig. 7), sendo as espécies *Perilestes kahli* e *Acanthagrion ascendens* as que mais contribuíram positivamente e as espécies *Hetaerina sanguinea* e *Hetaerina westfalli* negativamente com esse eixo. O segundo eixo explicou 14%, aonde as espécies *Argia croceipennis* e *Acanthallagma luteum* foram as que mais contribuíram positivamente para a formação desse eixo e as espécies *Phasmonera exigua* e *Argia indicatrix* negativamente (Tabela suplementar 4).

Parte de nossa predição (iii) foi corroborada, uma vez que houve diferença na composição na fauna de Anisoptera entre igarapés afetados e não afetados pelo mineroduto ($F = 2.939$, $p = 0.002$).

Nossas análises evidenciaram que as espécies que mais contribuíram para essa dissimilaridade foram *Erythrodiplax fusca* (11%) e *Zenithoptera lanei* (9%), ambas com maior ocorrência em igarapés afetados, e por fim, *Argyrothemis argentea* (8%), que diferentes das demais, é mais ocorrente em igarapés controles. Adicionalmente, das 32 espécies de Anisoptera amostradas, 10 são exclusivas de igarapés cortados pelo mineroduto, 12 exclusivas de igarapés controle, e 10 espécies tiveram distribuição compartilhadas entre os dois tratamentos. Padrão dissimilar foi evidenciado para a subordem Zygoptera, uma vez que das 37 espécies registradas no estudo, 22 são compartilhadas entre os dois tratamentos de igarapés, não havendo diferença na composição de espécies entre igarapés controles e mineroduto ($F=1.204$, $p=0.258$) (tabela suplementar 5).

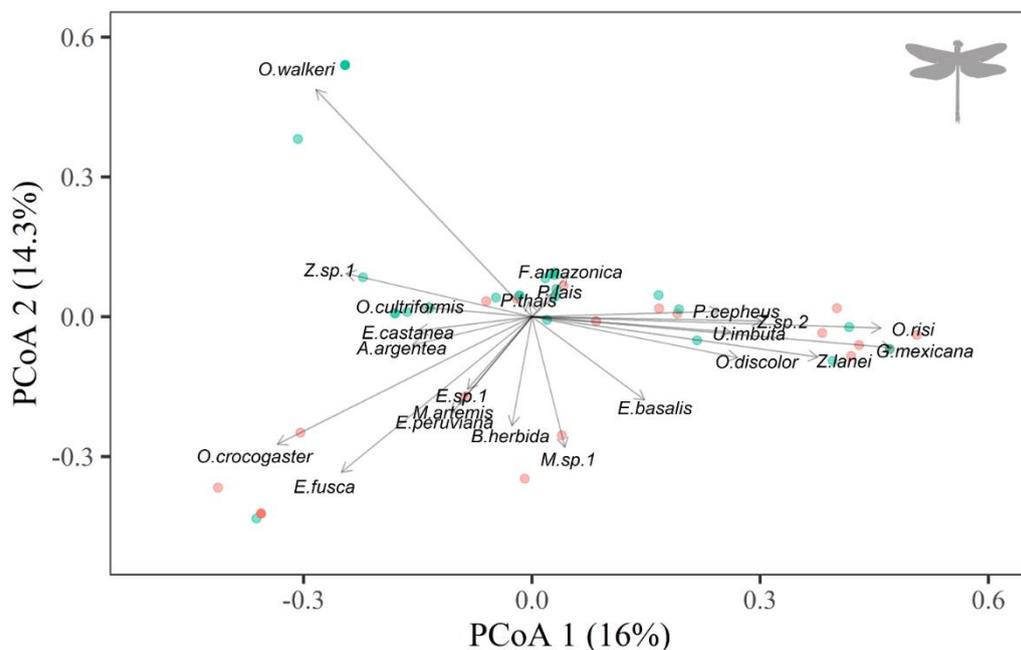
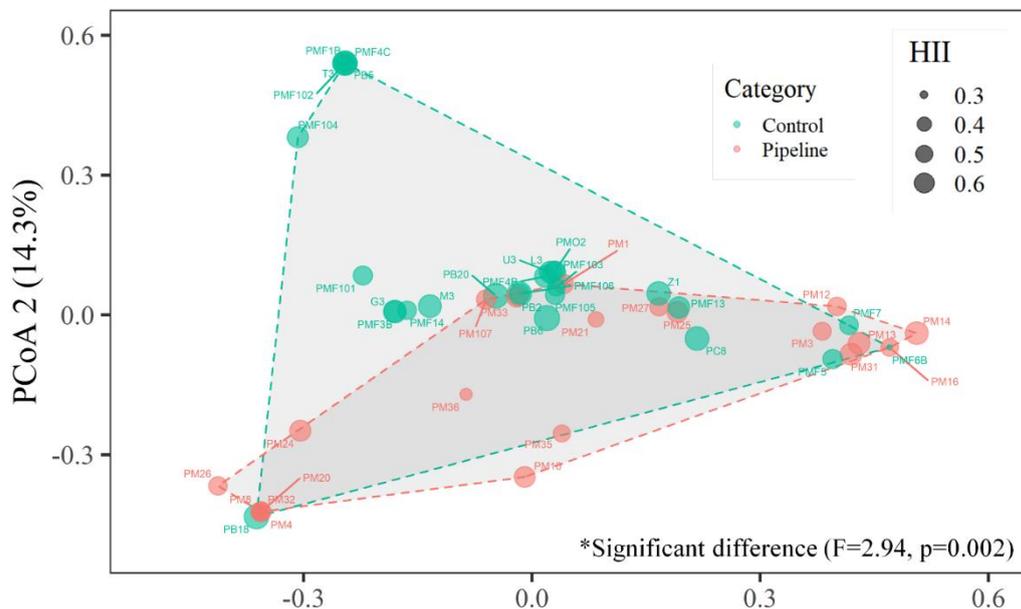


Figura 6 – Análise de Ordenamento (PCoA) da composição de Anisoptera amostrado dentro e fora da zona de influência de um mineroduto transportador de bauxita. Há diferença significativa entre as composições ($p > 0.05$).

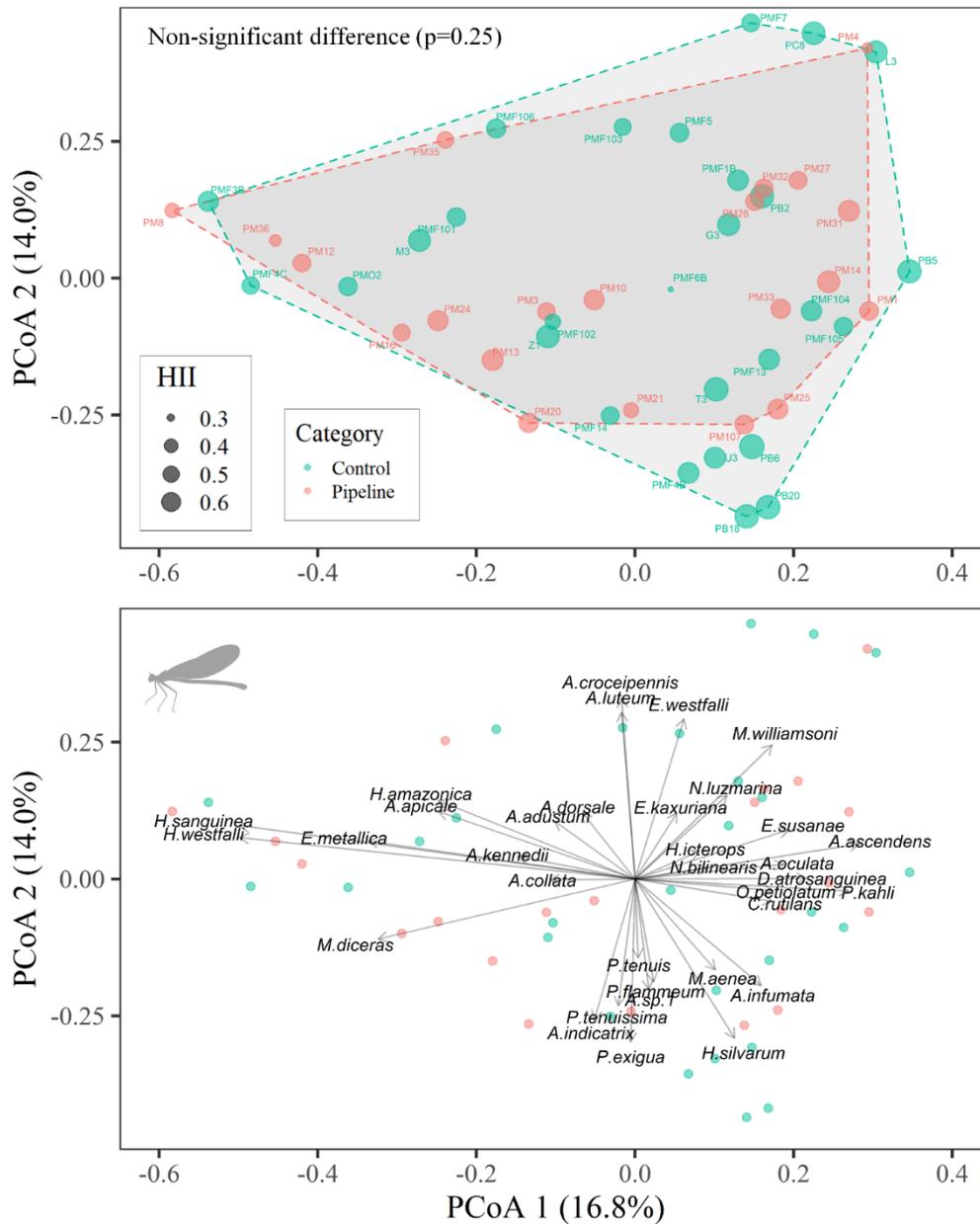


Figura 7 – Análise de Ordenamento (PCoA) da composição de Zygoptera amostrado dentro e fora da zona de influência de um mineroduto transportador de bauxita. Não há diferença significativa entre as composições ($p > 0.05$).

Ao avaliar o efeito dos preditores ambientais na estruturação das comunidades das subordens de Odonata, nossos modelos selecionaram sete variáveis ambientais, que juntas explicaram 42% da variação da abundância de Anisoptera e três métricas explicaram 25% da riqueza, sendo nos dois modelos, oxigênio dissolvido ($b=-0.641$, $p<0.001$; $b=-0.480$, $p<0.001$) e desvio padrão do ângulo das margens ($b=0.300$, $p=0.006$; $b=0.222$, $p=0.036$) as duas métricas mais influentes. Já para Zygoptera, os modelos selecionaram oito métricas que, em conjunto, explicam 54% da variação da abundância, sendo as métricas pH ($b=0.408$, $p=0.079$) e largura molhada ($b=0.257$, $p<0.001$) as que mais contribuíram e; 7 métricas para riqueza, explicando 53% dos dados, aonde largura molhada ($b=0.182$, $p=0.003$) e volume de detrito lenhoso acima do canal (c1d) ($b=-0.174$, $p=0.008$) são as que mais contribuíram com essa explicação total (Fig. 8 e tabela suplementar 5).

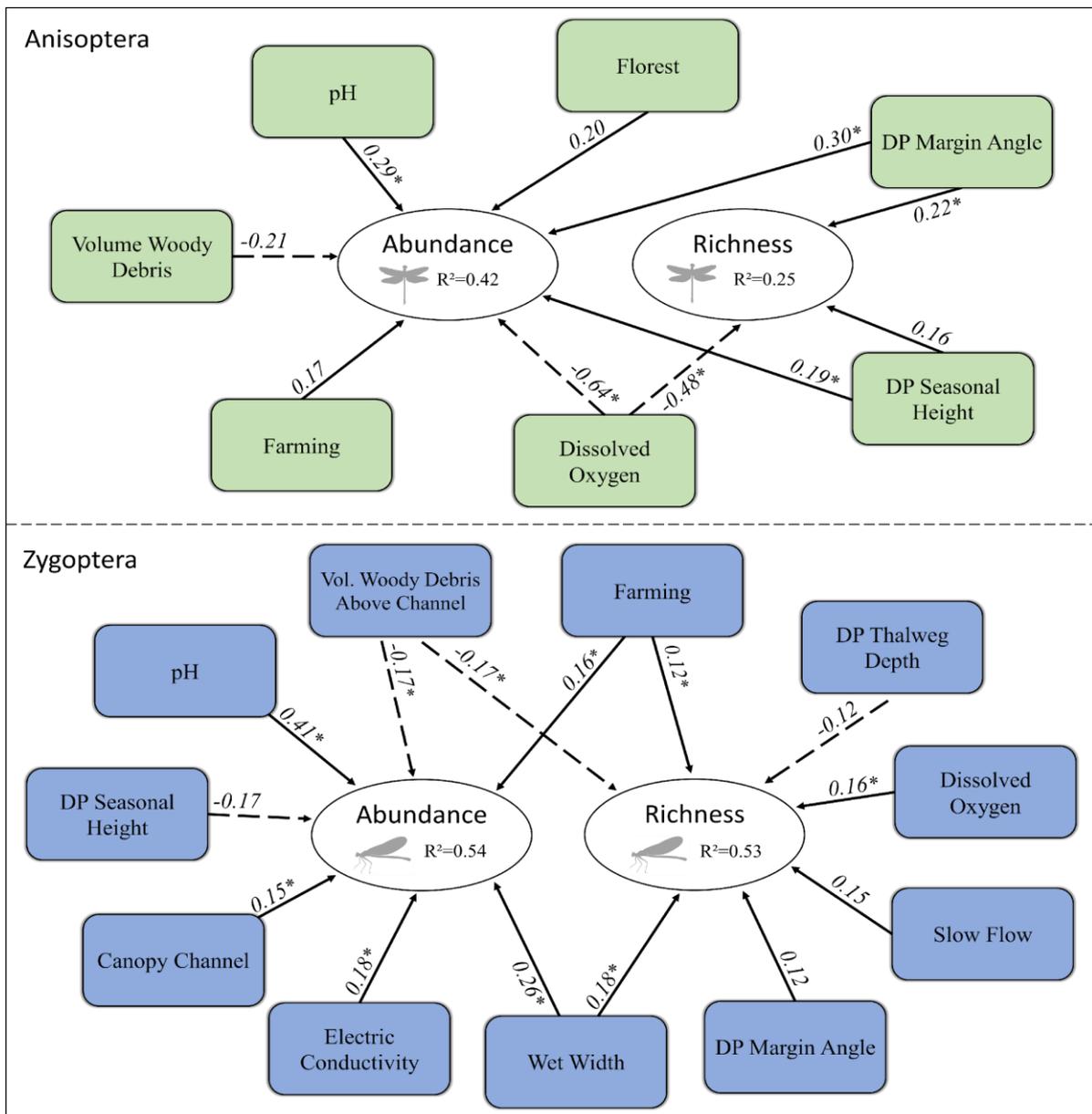


Figura 8. Seleção de modelo realizado a partir de um set de 23 variáveis ambientais amostradas na região no qual mineroduto se estende. As setas com linha contínua apresentam direção positiva e as pontilhadas negativa. Apenas os coeficientes seguidos de asterisco foram estatisticamente significativos dentro do modelo selecionado (>0.05).

Para a composição de espécies, o modelo de Anisoptera explicou 11%, composto pelas métricas ambientais: desvio padrão da profundidade de talvegue, desvio padrão da altura sazonal e pH, sendo essa última, a mais importante. O primeiro eixo desse ordenamento capturou 41% da variação dos dados e o segundo 37% (Fig. 9A). Já para Zygoptera, HII e oxigênio dissolvido foram as únicas variáveis selecionados no modelo, aonde ambas, em conjunto, explicaram 8% da variação da composição. O primeiro eixo desse ordenamento capturou 45% e o segundo 15% dos dados (Fig. 9B).

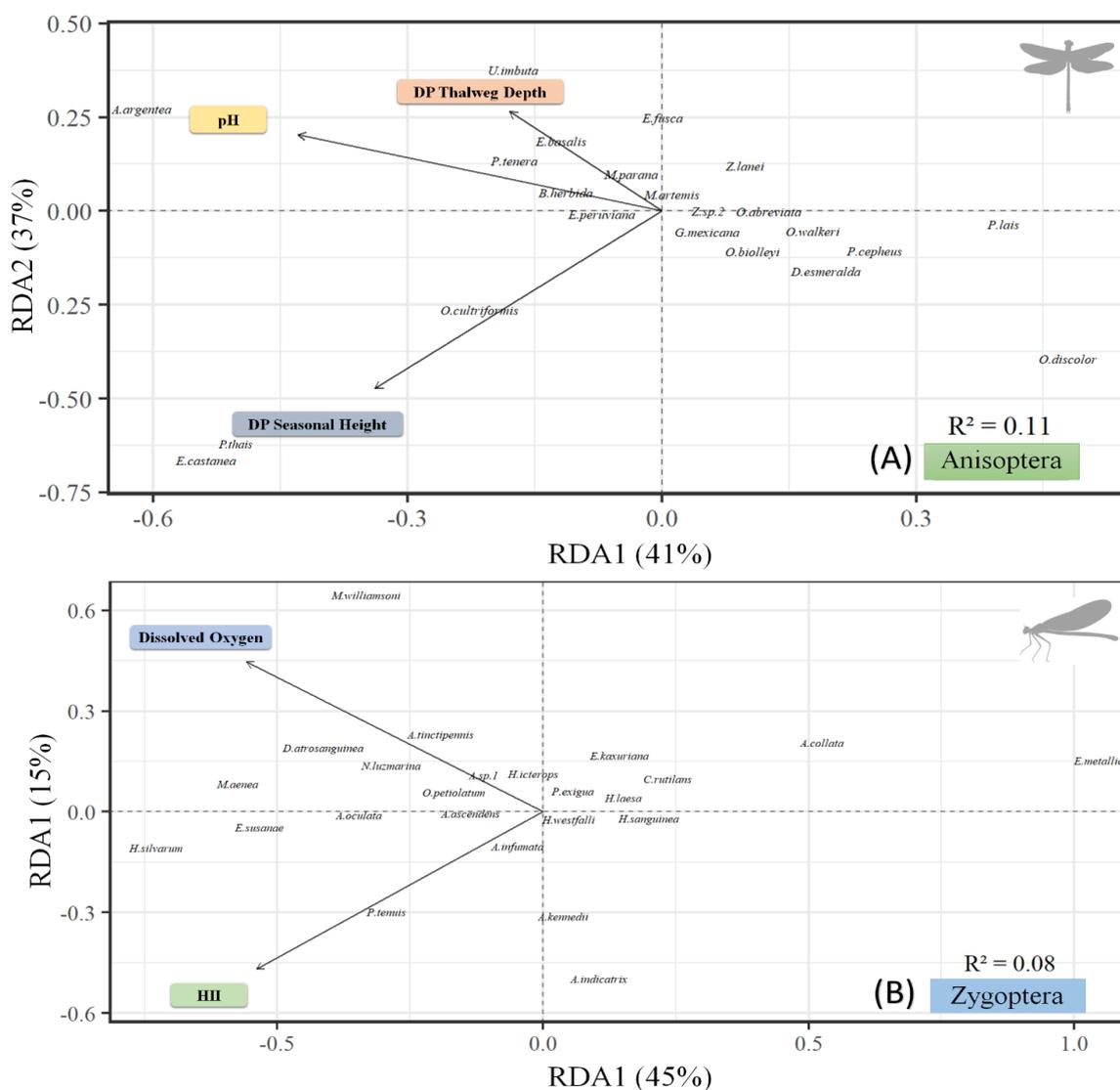


Figure 9 – Análise de Redundância relacionando métricas ambientais a composição de espécies de A) Anisoptera e B) Zygoptera amostrados em igarapés da região atravessada por mineroduto.

Ao avaliar categoricamente as variáveis ambientais que foram importantes (seleção de modelos) para a diversidade das subordens de Odonata na região por onde o mineroduto perpassa, nossas análises evidenciaram que igarapés cortados pelo mineroduto apresentam maiores níveis de acidez ($F=5.222$, $df=47$, $p=0.026$, $\underline{X}_{dif}=0.51$), proporção de fluxos lentos ($F=14.59$, $df=47$, $p<0.0061$, $\underline{X}_{dif}=22.15$) e formação florestal ($F=8.695$, $p=0.004$, $\underline{X}_{dif}=0.10$), bem como menores Índices de Integridade Ambiental - HII ($F=8.336$, $p=0.006$, $\underline{X}_{dif}=0.07$). As demais variáveis selecionadas, como DP da profundidade do talvegue ($F=1.112$, $p=0.297$), oxigênio dissolvido ($F=0.066$, $p=0.798$), madeira grande acima do canal ($F=2.534$, $p=0.118$), DP ângulo da margem ($F=2.117$, $p=0.152$), dossel do canal ($F=0.176$, $p=0.676$), largura molhada ($F=0.789$, $p=0.378$), madeira pequena acima do canal ($F=1.155$, $p=0.288$), volume de detritos lenhosos ($F=0.326$, $p=0.570$), DP altura sazonal ($F=0.712$, $p=0.403$), agropecuária ($F=0.082$, $p=0.775$) e condutividade elétrica ($F=0.543$, $p=0.464$) não apresentaram diferença significativa entre as médias (Fig. 10).

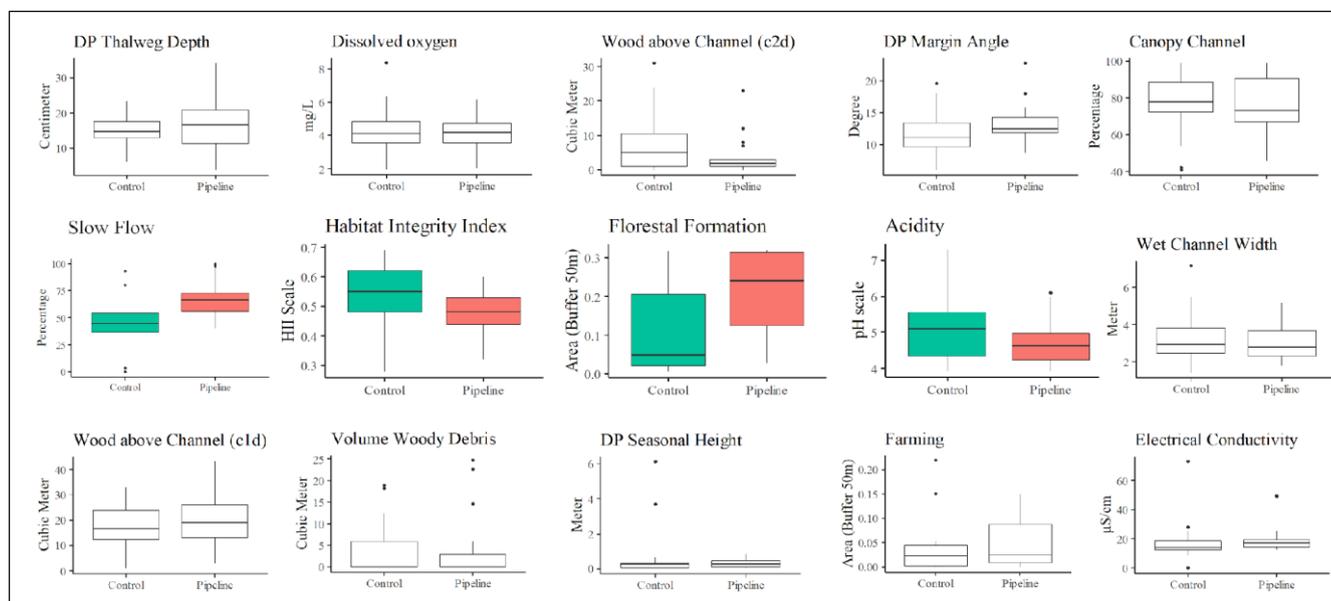


Figura 10 – Variáveis ambientais selecionadas a partir dos modelos lineares ajustados com a diversidade de Odonata. *Apenas box plot preenchidos por cor apresentam diferenças estatisticamente significativas ($p<0.05$) entre as médias.

Discussão

Nossos resultados indicam que a presença da estrada de acesso ao mineroduto tem efeitos nas características ambientais dos riachos. Evidenciamos que os pontos cortados pela estrutura apresentam baixa integridade ambiental, maiores níveis de acidez, bem como uma maior proporção de zonas com fluxo lento, com a presença de macrófitas, raízes e liteira triturada. Apesar dos impactos demonstrados acima, não encontramos diferenças significativas em diversas variáveis ambientais analisadas, como aquelas relacionadas a morfologia do canal, distribuição de madeira (e, portanto,

abrigo e recursos para as comunidades locais) e qualidade da água, com a ressalva do pH. Para as métricas de diversidade, a passagem do mineroduto não impacta a abundância e riqueza da subordem Anisoptera, bem como a riqueza de Zygoptera. Adicionalmente, como prevíamos, o mineroduto teve um impacto negativo sobre a abundância de Zygoptera, onde em igarapés que não são cortados pelo duto encontramos, em média, seis exemplares a mais do que nos que são cortados pelo duto. Por fim, considerando a composição, encontramos uma dissimilaridade das espécies de Anisoptera entre os igarapés controles e tratamento, mas, uma similaridade para a subordem Zygoptera.

A direção das variáveis ambientais aponta para um processo de represamento das drenagens hídricas dentro da zona de influência do mineroduto (Ferreira et al., 2023b). Como os dutos permanecem subterrados em quase toda sua extensão (Liu, 2003), esse fenômeno provavelmente não ocorre em função da passagem da estrutura propriamente dita, mas pela infraestrutura necessária para sua instalação e manutenção, como pontes e estradas, que frequentemente canalizam o fluxo de água (Ferreira et al., 2023a). Portanto, o principal efeito é a conversão de um sistema lótico em semi-lêntico, ocasionando a fragmentação de energia e da drenagem hídrica da região (Leitão et al., 2018).

Uma possível explicação para esta similaridade ambiental entre os tratamentos é a maior proporção florestal encontrada nos entornos dos igarapés dentro da zona do mineroduto. Atribuímos esse padrão a faixa de servidão de 30 metros estabelecido pelo próprio empreendimento (Augusto, 2012), que pode estar funcionando como um cinturão de proteção contra o desmatamento e, conseqüentemente, alterações ambientais mais drásticas no trecho do riacho amostrada. Vale ressaltar também que de acordo com a legislação ambiental vigente para a Amazônia brasileira (Lei nº 12.651/2012 - Código Florestal), dada a largura dos igarapés amostrados (<10 m), a extensão dessa faixa de vegetação mantida é o mínimo necessário para a proteção dos recursos hídricos da região. Mas vale ressaltar que existem trabalhos contestando a eficiência dessa faixa (Carvalho et al. 2013, Dala-Corte et al. 2020).

Observando as análises de diversidade realizadas diretamente com as variáveis ambientais da região, para Anisoptera, quase metade da variação da abundância foi explicada por um conjunto de sete variáveis ambientais, sendo cinco destas, semelhantes entre nossas categorias de igarapés. O mesmo se aplica para a riqueza de Zygoptera e Anisoptera, dado que suas variáveis preditoras não foram dissimilares entre os igarapés controle e tratamento. Portanto, evidenciando que as condições ambientais influenciam a estrutura da comunidade de Odonata da região, no entanto, a passagem do mineroduto parece não está alterar essas condições ambientais chaves para as subordens.

Esta diferença na abundância de Zygoptera, ao longo do tempo, pode gerar reais impactos sobre a população, podendo até mesmo levar a extinção local de espécies mais sensíveis (Miguel et al., 2017). A diferença na cobertura do solo, especialmente afetando a integridade ambiental, é bastante relevante para explicar esse padrão (Oliveira-Junior & Juen, 2019). Uma maior integridade

muitas vezes corresponde a uma maior heterogeneidade ambiental (Brasil et al. 2020), ampliando a oferta dos recursos necessários para a sobrevivência e reprodução das populações e, portanto, aumentando a probabilidade de abrigar maior diversidade de espécies, por propiciarem condições e recursos para espécies que possuem especificidades ambientais diferentes (Zhang et al. 2020). Esse aumento na abundância em função da integridade ambiental corrobora predições de hipóteses importantes para a ecologia de libélulas neotropicais (Carvalho et al., 2013; Miguel et al., 2017; Oliveira-Junior & Juen, 2019a). Além do mais, as fêmeas dos adultos de Odonata possuem diferentes estratégias de oviposição que dependem das condições ambientais, principalmente o tipo de substrato (Rodrigues et al. 2018). Portanto, a heterogeneidade ambiental amplia a disponibilidade de nichos, propiciando mais sítios de oviposição para as fêmeas dos adultos (Pereira et al., 2019; Calvão et al., 2022a,b). Vale ressaltar também que, seja para o forrageamento ou proteção, diversas larvas de Zygoptera apresentam preferências por substrato rico em folhagem e detritos lenhosos (Ferreira et al., 2023b), como é o caso dos pontos controles amostrados. Outro ponto importante é que os pontos mineroduto apresentaram maiores relações com cobertura de macrófitas, que são um substrato importante para as espécies de Odonata e, portanto, também poderiam contrapor o efeito da alteração ambiental (Brito et al., 2021).

Era esperado que ambas as subordens apresentassem mudanças na composição de espécies entre os tratamentos, principalmente Zygoptera, uma vez que são considerados mais sensíveis a alterações ambientais (Miguel et al., 2017; Oliveira-Junior & Juen, 2019). No entanto, não foi esse o padrão constatado, pois apenas a composição de espécies de Anisoptera se mostrou susceptível a impactos gerados pelo mineroduto. A similaridade na fauna de Zygoptera pode ser explicada pelo longo histórico de uso da terra dessa 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), que conseqüentemente, tendem a ser mais tolerantes as mudanças ambientais. Suportando essa hipótese, nossos modelos apontaram uma baixa relação da composição de Zygoptera com as variáveis ambientais. No entanto, oxigênio foi uma das variáveis apontadas e, como exposto, não apresentou diferenças entre os tratamentos. Além do mais, ao compararmos as espécies consideradas indicadoras de ambientes degradados na Amazônia, como *E. basalis*, *E. fusca* e *D. obscura* (Oliveira et al., 2015), podemos constatar que todas foram encontradas nos dois tratamentos do nosso estudo. Esses achados suportam que até mesmo os locais utilizados como controle em nossos estudos, passam por alterações ambientais e com isso, a biodiversidade encontrada nesses locais, são de espécies mais resistentes as alterações e por isso, não sentiriam ou sofreriam o efeito das alterações provadas pelo cruzamento das estradas e do mineroduto no riacho. Outro ponto importante a ser destacado é que as métricas que são importantes para explicaram a variação da comunidade de

Odonata na Amazônia (Oliveira-Junior et al., 2019b,c; Calvão et al., 2020; Resende et al. 2021) tiveram pouco efeito, ou até mesmo nem foram selecionadas pelos modelos.

Para espécies de Odonata, as estratégias de respiração em diferentes ambientes aquáticos é uma das chaves para a sobrevivência e reprodução. Por exemplo, a movimentação ativa da água pelas estruturas internas de algumas espécies de Anisoptera lhes fornecem menos dependência do fluxo natural da água (Suhling et al., 2015). Além do mais, nossas análises evidenciaram uma relação da composição com três variáveis, sendo o pH, fortemente dissimilar entre os tratamentos. A acidez é um importante preditor ambiental e frequentemente regula a colonização e permanência de espécies de Odonata (Rychła et al., 2011). Um corpo d'água com pH abaixo de 5.5 pode ser prejudicial para as larvas de Odonata, pois no período inicial do desenvolvimento a acidez pode danificar as brânquias e dificultar a absorção de oxigênio (Correa et al., 1985). Adicionalmente, um pH muito baixo pode tornar a água mais tóxica, pois aumenta a concentração de metais pesados e outros elementos químicos nocivos (Zhang et al. 2018). Portanto, a conversão de ambientes lóticos para semi-lênticos ou até mesmo lênticos (como sugere nossos resultados ambientais), pode afetar a sobrevivência e reprodução das espécies que não apresentam mecanismo fisiológicos específicos para águas lentas (Couto et al. 2023). Ao longo do tempo, esse processo pode causar a substituição da fauna local, permanecendo apenas as espécies mais tolerantes que integrava a comunidade original (Sahlén, 2005). Vale ressaltar também que na Amazônia, existem diversas espécies de Anisoptera comuns a ambientes lóticos (Ferreira et al., 2023b), como é o caso das espécies frequentemente encontradas nos pontos controle.

As métricas ambientais que geralmente explicam a diversidade de Odonata na Amazônia, como índice de integridade do riacho, temperatura, condutividade, não foram selecionadas em nossas análises para ambas as subordens de Odonata (Brasil et al., 2018; Oliveira-Junior et al., 2019b,c; Calvão et al., 2020; Resende et al. 2021). Ademais, esses estudos evidenciaram que a abundância e riqueza de Anisoptera são maiores em áreas com maior degradação ambiental, enquanto para Zygoptera, observou-se um padrão inverso (Oliveira-Junior et al., 2019a). Novamente, ressaltamos que o padrão encontrado em nosso estudo pode ser atribuído ao contexto histórico do uso da terra da região do nosso estudo, que ao longo de décadas, vem sofrendo fortes intervenções humanas (Prates & Bacha 2011, Pinillos et al. 2021), que tem alterado drasticamente a estruturação dos igarapés, e conseqüentemente afetado as comunidades aquáticas (Leitão et al. 2018, Oliveira-Junior & Juen 2019).

Conclusão

Apesar da relevância da extração de recursos minerais, ressaltamos a importância de avaliar os impactos ambientais gerados por atividade de extração e de transporte de minério, especialmente

em regiões de alta biodiversidade como a Amazônia. Os resultados aqui apresentados evidenciaram que a presença de fatores indiretos como estradas para manter o mineroduto para transportar bauxita altera as características ambientais de igarapés da Amazônia, porém, estes efeitos não se mostraram tão severo sobre as comunidades de Odonata, no qual apenas a abundância de Zygoptera e composição de Anisoptera foram influenciadas. Ressaltamos que esse efeito menos acentuado podem ser um reflexo do longo histórico de exploração humana realizado na região, que pode ter filtrado as espécies mais tolerantes, tendo agora baixa influência das alterações ambientais registradas. Por isso, é de extrema importância que haja um monitoramento ambiental em escala temporal, visando avaliar se estes padrões vão se manter ou modificar ao longo do tempo. Além disso, já que os principais impactos ambientais identificados foram relacionados ao represamento e fragmentação da drenagem hídrica, sugerimos estratégias mais eficientes na canalização dos igarapés, como dispositivos que impeçam a entrada de sedimentos da estrada dentro do canal, mensuração mais apurada da vazão necessária, ou a limpeza constante dos dutos e anilhas utilizados para a transposição do fluxo de água pelas pontes utilizadas para o acesso ao mineroduto. Estudos como esse são importantes para avançarmos no conhecimento dos impactos da atividade de mineração sobre a preservação ambiental de igarapés da Amazônia, especialmente considerando a relevância ecológica da ordem Odonata na avaliação de impactos ambientais.

Agradecimentos

We are grateful to the Hydro Paragominas Company for supporting the research project “Aquatic biota monitoring and assessment upstream and downstream of bauxite pipeline Norsk Hydro Paragominas - Barcarena (Pará, Brazil) – an instream and riverscape approach” (process 20/19) through the Biodiversity Research Consortium Brazil-Norway (BRC) and Hydro Alunorte for supporting the research project “Avaliação de biota aquática e atributos funcionais de plantas das principais microbacias de Barcarena”, for providing funding and logistical support, as well as for scholarship grants to authors. We thank CNPq for their research productivity scholarships to LJ (process 304710/2019-9) and LFAM (process 302406/2019-0). We also acknowledge for helping us with the biological sampling. This paper is number 002 in the publication series of the BRC.

Referências Bibliográficas

- Adegboye, M.A., Fung, W.K. & Karnik, A. (2019) Recent advances in pipeline monitoring and oil leakage detection technologies: Principles and approaches. *Sensors*, **19**, 2548.
- Akaike, H. (1974) A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, **19**, 716-723.
- Aldrich, S., Walker, R., Simmons, C., Caldas, M. & Perz, S. (2012) Contentious Land Change in the Amazon's Arc of Deforestation. *Annals of the Association of American Geographers*, **102**, 103–128.

- Anderson, M.J. (2001) A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, **26**, 32–46.
- 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/>> Fevereiro 2023.
- Augusto, A.L.C. (2012) Mineroduto de Bauxita da Mineração Vera Cruz S/A - Paragominas/PA.
- Batista, J.D., Ferreira, V.R.S., Cabette, H.S.R., De Castro, L.A., De Marco, P. & Juen, L. (2021) Sampling efficiency of a protocol to measure Odonata diversity in tropical streams. *PLOS ONE*, **16**, e0248216.
- Bhabra, H. (2013) Slurry pipeline now goes the distance. *World Pumps*, **2013**, 38–40.
- Borcard, D., Gillet, F. & Legendre, P. (2011) Numerical ecology with. New York: springer.
- Brasil, L.S., Oliveira-Júnior, J.M., Calvão, L.B., Carvalho, F.G, Monteiro-Júnior, C.S., Dias-Silva, K. & Juen, L. (2018) Spatial, biogeographic and environmental predictors of diversity in Amazonian Zygoptera. *Insect conservation and diversity*, **11**, 174-184.
- Brasil, L.S., de Lima, E.L., Spigoloni, Z.A., Ribeiro-Brasil, D.R.G. & Juen, L. (2020) The habitat integrity index and aquatic insect communities in tropical streams: A meta-analysis. *Ecological Indicators*, **116**, 106495.
- Brasil, L.S., Ferreira, V.R.S., Resende, B.O., Juen, L., Batista, J.D., Castro, L.A.D. & Giehl, N.F.D.S. (2021) Dams change beta diversity of aquatic communities in the veredas of the Brazilian Cerrado. *Frontiers in Ecology and Evolution*, **9**, 612642.
- Brito, J., Calvão, L., Cunha, E., Maioli, L., Barbirato, M., Rolim, S. & Juen, L. (2021) Environmental variables affect the diversity of adult damselflies (Odonata: Zygoptera) in western Amazonia. *Int. J. Odonatol*, **24**, 108-121.
- Brumbaugh, W.G., Schmitt, C.J. & May, T.W. (2005) Concentrations of cadmium, lead, and zinc in fish from mining-influenced waters of northeastern Oklahoma: Sampling of blood, carcass, and liver for aquatic biomonitoring. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **49**, 76–88.
- Carvalho, F.G., Pinto, N.S., Júnior, J.M.B.O. & Juen, L. (2013) Effects of marginal vegetation removal on Odonata communities. *Acta Limnologica Brasiliensia*, **25**, 10–18.
- Calvão, L.B., Siqueira, T., Faria, A.P.J., Paiva, C.K. & Juen, L. (2022a) Correlates of Odonata species composition in Amazonian streams depend on dissimilarity coefficient and oviposition strategy. *Ecological Entomology*, **47**, 998-1010.
- Calvão, L.B., Brito, J.D.S., Ferreira, D., Cunha, E.J., Oliveira-Junior, J.M.B. & Juen, L. (2022b) Effects of the loss of forest cover on odonate communities in eastern Amazonia. *Journal of Insect Conservation*, 1-14.
- Casatti, L., Langeani, F., Silva, A.M. & Castro, R.M.C. (2006) Stream fish, water and habitat quality in a pasture dominated basin, southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, **66**, 681–696.
- Chevone, F., Doleadec, S. & Chessel, D. (1994) A fuzzy coding approach for the analysis of long-term ecological data. *Freshwater biology*, **31**, 295-309.

- Clarke, K.R. (1993) Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian journal of ecology*, **18**, 117-143.
- Conesa-García, C. & García-Lorenzo, R. (2013) Evaluating the effectiveness of road-crossing drainage culverts in ephemeral streams. *Hydrological Processes*, **27**, 1781–1796.
- Corbet, P.S. (1999) Dragonflies: behavior and ecology of Odonata. Comstock Publishing Associates, New York.
- Corbet, P.S. & May, M.L. (2008) Fliers and perchers among Odonata: Dichotomy or multidimensional continuum? A provisional reappraisal. *International Journal of Odonatology*, **11**, 155–171.
- Correa, M., Coler, R.A. & Yin, C.M. (1985) Changes in oxygen consumption and nitrogen metabolism in the dragonfly *Somatochlora cingulata* exposed to aluminum in acid waters. *Hydrobiologia*, **121**, 151–156.
- Couto, T.B.A., Rezende, R.S., de Aquino, P.P.U., Costa-Pereira, R., de Campos, G.L., Occhi, T.V.T. et al. (2023) Effects of small hydropower dams on macroinvertebrate and fish assemblages in southern Brazil. *Freshwater Biology*, **68**, 956–971.
- Ellenberg, H. & Mueller Dombois, D. (1967) Tentative physiognomic-ecological classification of plant formations of the earth. *Berichte des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn*, **37**, 21–55.
- Environmental Systems Research Institute – ESRI (2014) *ArcGIS 10.1. Environmental Systems Research Institute Inc.* < <https://www.esri.com/en-us/home> > Janeiro 2023.
- Faddick, R.R. (1979) The environmental and pollution aspects of coal slurry pipelines. Final report, July 1976-March 1978 (No. PB-295818). Colorado School of Mines, Golden, USA.
- Ferreira, V.R.S., Resende, B.O., Bastos, R.C., Brito, J. da S., Carvalho, F.G., Calvão, L.B., Oliveira-Junior, J.M.B., Neiss, U.G., Ferreira, R. & Juen, L. (2023). Amazonian Odonata Trait Bank. *Ecology and Evolution*. Volume 13, Issue 6, page 1-21. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.10149>
- Fjellheim, A. & Raddum, G.G. (1995) Benthic animal response after liming of three south Norwegian rivers. *Water, Air, & Soil Pollution*, **85**, 931–936.
- Foote, A.L. & Hornung, C.L.R. (2005) Odonates as biological indicators of grazing effects on Canadian prairie wetlands. *Ecological Entomology*, **30**, 273–283.
- Garrison, R.W., von Ellenrieder, N. & Louton, J.A. (2006) Dragonfly Genera of the New World: an illustrated and annotated key to the Anisoptera. The Johns Hopkins University Press, Estados Unidos.
- Garrison, R.W., von Ellenrieder, N. & Louton, J.A. (2010) Damselfly Genera of the New World. The Johns Hopkins University Press.
- Garner, G., Malcolm, I.A., Sadler, J.P. & Hannah, D.M. (2017) The role of riparian vegetation density, channel orientation and water velocity in determining river temperature dynamics. *Journal of Hydrology*, **553**, 471-485.
- Gomes, H.I., Mayes, W.M., Rogerson, M., Stewart, D.I. & Burke, I.T. (2016) Alkaline residues and the environment: a review of impacts, management practices and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, **112**, 3571–3582.

- Gower, J.C. (1966) Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. *Biometrika*, **53**, 325-338.
- Gunson, A.J., Klein, B., Veiga, M. & Dunbar, S. (2012) Reducing mine water requirements. *Journal of Cleaner Production*, **21**, 71–82.
- Gurgel, R.S., Farias, P.R.S. & De Oliveira, S.N. (2017) Land use and land cover mapping and identification of misuse in the permanent preservation areas in the Tailândia Municipality - PA. *Semina: Ciências Agrárias*, **38**, 1145–1160.
- Holmberg, K., Kivikytö-Reponen, P., Härkisaari, P., Valtonen, K. & Erdemir, A. (2017) Global energy consumption due to friction and wear in the mining industry. *Tribology International*, **115**, 116–139.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (2022) *Climatologia de precipitação e temperatura*. Janeiro 2023.
- Kaufmann, P.R., Levine, P., Peck, D.V., Robison, E.G. & Seeliger, C. (1999) Quantifying physical habitat in wadeable streams. USEPA [National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Western Ecology Division], Washington D.C.
- Lencioni, F.A.A. (2005) Damsel flies of Brazil. All Print Editora, São Paulo.
- Leitão, R.P., Zuanon, J., Mouillot, D., Leal, C.G., Hughes, R.M., Kaufmann, P.R. et al. (2018) Disentangling the pathways of land use impacts on the functional structure of fish assemblages in Amazon streams. *Ecography*, **41**, 219–232.
- Lencioni, F.A.A. (2017) Damsel flies of Brazil - an illustrated identification guide - Southeast region ed. Câmara Brasileira do Livro, Jacareí, São Paulo.
- Liu, H. (2003) Pipeline Engineering. CRC Press Company, London.
- Macedo, M. & Castello, L. (2015) State of the Amazon: Freshwater Connectivity and Ecosystem Health.
- Mechi, A. & Sanches, D.L. (2010) Impactos Ambientais da Mineração no Estado de São Paulo. *Estudos Avançados*, **68**, 209–220.
- Mendes, T.P., Amado, L.L., Ribeiro, R.A.B. & Juen, L. (2020) Morphological diversity of Odonata larvae (Insecta) and abiotic variables in oil palm plantation areas in the Eastern Amazon. *Hydrobiologia*, **847**, 161–175.
- Miguel, T.B., Oliveira-Junior, J.M.B., Ligeiro, R. & Juen, L. (2017) Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. *Ecological Indicators*, **81**, 555–566.
- Monteiro-Júnior, C.S., Couceiro, S.R.M., Hamada, N. & Juen, L. (2013) Effect of vegetation removal for road building on richness and composition of Odonata communities in Amazonia, Brazil. *International Journal of Odonatology*, **16**, 135–144.
- Naliati, M.B., Almeida, M.R.S. & Fonseca, B.G. (2019) A importância da multimodalidade no transporte brasileiro. *Revista Científica Unilago*, **1**.
- Nasr, A., Björnsson, I., Honfi, D., Larsson Ivanov, O., Johansson, J. & Kjellström, E. (2021) A review of the potential impacts of climate change on the safety and performance of bridges. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, **6**, 192-212.

- Negrão, L.B.A., Da Costa, M.L. & Pöllmann, H. (2018) The Belterra Clay on the bauxite deposits of Rondon do Pará, Eastern Amazon. *Brazilian Journal of Geology*, **48**, 473–484.
- Negrão, L.B.A., Pöllmann, H. & Cortinhas Alves, T.K. (2021) Mineralogical appraisal of bauxite overburdens from Brazil. *Minerals*, **11**, 677
- Nessimian, J.L., Venticinque, E.M., Zuanon, J., De Marco Jr, P., Gordo, M., Fidelis, L., Bastista, J.D. & Juen, L. (2008) Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in central Amazonian streams. *Hydrobiologia*, **614**, 117-131.
- Oertli, B. (2008) The use of dragonflies in the assessment and monitoring of aquatic habitats. *Dragonflies and Damselflies: Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research* (ed. por Córdoba-Aguilar, A), pp. 79-95 Oxford University Press, New York.
- Oliveira-Junior, J.M.B., Dias-Silva, K., Teodósio, M.A. & Juen, L. (2019) The response of Neotropical dragonflies (Insecta: Odonata) to local and regional abiotic factors in small streams of the Amazon. *Insects*, **10**, 446.
- Oliveira-Junior, J.M.B., & Juen, L. (2019) Structuring of dragonfly communities (Insecta: Odonata) in eastern Amazon: Effects of environmental and spatial factors in preserved and altered streams. *Insects*, **10**, 322.
- Oliveira-Junior, J.M.B. & Juen, L. (2019) The Zygoptera/Anisoptera Ratio (Insecta: Odonata): a New Tool for Habitat Alterations Assessment in Amazonian Streams. *Neotropical Entomology*, **48**, 552–560.
- Oliveira, J.M.B., Shimano, Y., Gardner, T.A., Hughes, R.M., De Marco, P. & Juen, L. (2015) Neotropical dragonflies (Insecta: Odonata) as indicators of ecological condition of small streams in the eastern Amazon. *Austral Ecology*, **40**, 733–744.
- Paulson, D., Schorr, M. & Deliry, C. (2022) *World Odonata List*. <<https://www.pugetsound.edu/puget-sound-museum-natural-history/biodiversity-resources/insects/dragonflies/world-odonata-list>> Fevereiro 2023.
- Pasini, I.L.P., Oliveira, M.L.R. & Fonseca, B.C. da (2013) Mineroduto é progresso? Conflito socioambiental no município de Viçosa - MG. *ACTA Geográfica*, **7**, 133–151.
- Peck, D.V., Averill, D.K., Herlihy, A.T., Hughes, R.M., Kaufmann, P.R., Klemm, D.J. et al. (2005) Cappaert. Environmental monitoring and assessment program-surface water western pilot study: field operations manual for wadeable streams, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, D.C.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L. & McMahon, T.A. (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrological Earth Systems Science Discussion*, **4**, 439–473.
- Pereira, D.F.G., de Oliveira Junior, J.M.B. & Juen, L. (2019) Environmental changes promote larger species of Odonata (Insecta) in Amazonian streams. *Ecological Indicators*, **98**, 179–192.
- Pinillos, D., Pocard-Chapuis, R., Bianchi, F.J.J.A., Corbeels, M., Timler, C.J.; Tittonell, P. et al. (2021) Landholders' perceptions on legal reserves and agricultural intensification: Diversity and implications for forest conservation in the eastern Brazilian Amazon. *Forest Policy and Economics*, **129**, 102504.
- Prates, R.C. & Bacha, C.J.C. (2011) Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. *Economia e Sociedade*, **20**, 601–636.

- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>
- Rádková, V., Polášková, V., Bojková, J., Syrovátka, V. & Horsák, M. (2017) Environmental filtering of aquatic insects in spring fens: patterns of species-specific responses related to specialist-generalist categorization. *Hydrobiologia*, **797**, 159–170.
- Resende, B.O., Ferreira, V.R.S., Brasil, L.S., Calvão, L.B., Mendes, T.P., de Carvalho, F.G. et al. (2021) Impact of environmental changes on the behavioral diversity of the Odonata (Insecta) in the Amazon. *Scientific Reports*, **11**, 9742.
- Rivera-Pérez, J.M., Shimano, Y., Luiza-Andrade, A., Silva Pinto, N., Dias, L.G., Ferreira, K.S., Rolim, S. & Juen, L. (2023) Effect of mining on the EPT (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera) assemblage of Amazonian streams based on their environmental specificity. *Hydrobiologia*, **850**, 645-664.
- Rodrigues, M.E., Roque, F.D.O., Guillermo-Ferreira, R., Saito, V.S., Samways, M.J., Guillermo-Ferreira, R. et al. (2018) Egg-laying traits reflect shifts in dragonfly assemblages in response to different amount of tropical forest cover. *Insect Conservation and Diversity*, **12**, 231–240.
- Rychła, A., Benndorf, J. & Buczyński, P. (2011) Impact of pH and conductivity on species richness and community structure of dragonflies (Odonata) in small mining lakes. *Fundamental and Applied Limnology*, **179**, 41–50.
- Sahlén, G. (2005) Specialists vs. generalists in the Odonata - the importance of forest environments in the formation of diverse species pools. *Forests and Dragonflies (Fourth World Dragonfly Association International Symposium of Odonatology* (ed. por Rivera, AC), pp.153–179. Pontevedra, Spain.
- Sonter, L.J., Ali, S.H. & Watson, J.E.M. (2018) Mining and biodiversity: Key issues and research needs in conservation science. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **285**, 20181926.
- Sousa, D.R.N., Oliveira, M.L.R. & Fonseca, B.C. (2015) Conflitos ambientais: uma análise da assimetria de poder entre os atores sociais envolvidos no caso do Mineroduto da Ferrous. *Sociedade & Natureza*, **27**, 405–419.
- Souza, C.M., Shimbo, J.Z., Rosa, M.R., Parente, L.L., Alencar, A.A., Rudorff, B.F.T. et al. (2020) Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, **12**, 2735.
- Sonne, C., Bach, L., Søndergaard, J., Rigét, F.F., Dietz, R., Mosbech, A. et al. (2014) Evaluation of the use of common sculpin (*Myoxocephalus scorpius*) organ histology as bioindicator for element exposure in the fjord of the mining area Maarmorilik, West Greenland. *Environmental Research*, **133**, 304–311.
- Stine, R.A. (1995) Graphical interpretation of variance inflation factors. *The American Statistician*, **49**, 53-56.
- Strahler, A.N. (1957) Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, **38**, 913-920.
- Suhling, F., Sahlén, G., Gorb, S., Kalkman, V.J., Dijkstra, K.B. & van Tol, J. (2015) Order Odonata. *Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates* (ed. por Thorp, J & Rogers, DC), pp.893–932. Academic Press.

- Veiga, M.M., Hinton, J. & Lilly, C. (1999) Mercury in the Amazon: A comprehensive review with special emphasis on bioaccumulation and bioindicators. *Proceedings of NIMD*, **99**, 19–39.
- Wollenberg, A.L. (1977) Redundancy analysis an alternative for canonical correlation analysis. *Psychometrika*, **42**, 207-219.
- Wu, X. & Zhou, J. (2007) Fuzzy principal component analysis and its Kernel-based model. *Journal of Electronics (China)*, **24**, 772-775.
- Zhang, L., Mi, X., Harrison, R.D., Yang, B., Man, X., Ren, H. et al. (2020) Resource heterogeneity, not resource quantity, plays an important role in determining tree species diversity in two species-rich forests. *Frontiers in Ecology and Evolution*, **8**, 1–8.
- Zhang, Y., Zhang, H., Zhang, Z., Liu, C., Sun, C., Zhang, W. et al. (2018) ph effect on heavy metal release from a polluted sediment. *Journal of Chemistry*, **2018**, 1–7.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A.A. & Smith, G.M. (2009) Mixed effects models and extensions in ecology with R. New York: springer.

Material Suplementar

Tabela Suplementar 1 – A latitude e longitude estão em formato de graus decimais. A média da largura molhada e média da profundidade se encontram **em unidades de metros**. A condutividade em mS/cm, o oxigênio dissolvido em mg/L, temperatura da água em graus celsius. HII é uma sigla para Habitat Integrity Index (ver mais em material e métodos).

Ponto	Categoria	Lat.	Long.	Larg.	Profund.	pH	Cond.	O.D.	Temp.	HII
G3	Controle	-1.66	-48.62	4.00	0.38	6.91	0.01	4.33	27.58	0.60
L3	Controle	-1.65	-48.77	1.30	0.18	5.38	8.83	3.27	27.20	0.61
M3	Controle	-1.67	-48.76	1.50	0.18	5.70	12.60	4.80	28.10	0.60
PB18	Controle	-1.76	-48.73	1.80	0.25	5.78	13.23	4.03	25.43	0.66
PB2	Controle	-1.56	-48.62	3.20	0.66	5.27	16.60	4.94	25.36	0.65
PB20	Controle	-1.58	-48.67	1.60	0.28	5.17	15.06	3.87	26.20	0.67
PB5	Controle	-1.69	-48.51	3.50	0.35	7.11	0.01	8.35	25.90	0.65
PB6	Controle	-1.69	-48.53	3.15	0.23	7.29	0.02	5.47	26.14	0.69
PC08	Controle	-1.62	-48.70	2.30	0.32	4.86	25.50	3.40	25.50	0.63
PMF101	Controle	-1.94	-48.21	4.79	0.29	4.78	13.24	2.37	24.90	0.48
PMF102	Controle	-1.97	-48.29	2.49	0.20	4.30	18.29	43.36	26.62	0.40
PMF103	Controle	-1.89	-48.68	4.54	0.41	5.05	12.87	3.53	25.96	0.44
PMF104	Controle	-1.90	-48.64	2.30	0.19	4.35	13.50	3.69	26.43	0.54
PMF105	Controle	-1.98	-48.65	3.75	0.26	4.41	12.18	25.59	25.00	0.48
PMF106	Controle	-1.98	-48.65	5.48	0.32	4.10	13.17	4.21	25.64	0.50
PMF13	Controle	-1.66	-48.75	1.97	0.30	4.42	11.18	2.71	25.88	0.55
PMF14	Controle	-1.60	-48.72	2.33	0.20	5.33	15.60	3.67	26.43	0.46
PMF1B	Controle	-3.20	-47.75	7.16	0.51	4.56	19.40	5.70	25.54	0.55
PMF3B	Controle	-2.93	-47.90	3.17	0.38	5.18	18.41	4.07	26.89	0.54
PMF4B	Controle	-3.16	-47.70	3.68	0.34	5.33	28.49	5.12	27.70	0.56
PMF4C	Controle	-3.04	-47.79	2.24	0.28	5.50	23.03	4.60	28.77	0.45
PMF5	Controle	-2.62	-48.10	3.50	0.40	5.68	15.09	4.98	25.48	0.49
PMF6B	Controle	-2.45	-48.08	4.25	0.33	4.39	14.09	4.09	25.89	0.28
PMF7	Controle	-2.46	-48.08	3.14	0.23	4.22	14.12	4.48	25.83	0.47
T3	Controle	-1.69	-48.65	3.40	0.14	5.04	24.97	4.33	26.33	0.67

U3	Controle	-1.69	-48.61	0.90	0.25	7.17	0.03	6.37	26.80	0.57
Z1	Controle	-1.58	-48.66	0.98	0.26	4.81	23.67	2.33	26.97	0.62
PM1	Mineroduto	-3.23	-47.74	5.17	0.57	4.05	25.88	6.07	24.91	0.49
PM10	Mineroduto	-2.94	-47.85	3.36	0.30	4.67	19.28	3.78	25.57	0.53
PM107	Mineroduto	-1.90	-48.58	3.13	0.25	4.86	14.57	4.16	25.30	0.49
PM12	Mineroduto	-2.87	-47.93	2.79	0.29	4.70	17.88	3.08	25.86	0.46
PM13	Mineroduto	-2.83	-47.94	1.80	0.15	4.30	19.82	35.08	24.73	0.56
PM14	Mineroduto	-2.77	-47.95	3.56	0.36	4.33	15.39	4.54	25.23	0.60
PM16	Mineroduto	-2.62	-48.07	2.30	0.22	5.39	17.12	54.02	24.79	0.44
PM20	Mineroduto	-2.51	-48.09	2.73	0.25	4.53	19.40	4.31	26.84	0.51
PM21	Mineroduto	-2.24	-48.24	2.27	0.09	4.19	17.94	3.32	26.03	0.39
PM24	Mineroduto	-1.91	-48.56	2.03	0.15	4.66	14.06	2.43	26.22	0.54
PM25	Mineroduto	-1.86	-48.63	2.63	0.20	4.25	15.48	3.57	26.03	0.53
PM26	Mineroduto	-1.97	-48.55	3.76	0.29	4.57	13.67	3.94	25.01	0.46
PM27	Mineroduto	-2.03	-48.51	4.28	0.44	4.76	12.32	4.16	25.99	0.46
PM3	Mineroduto	-2.91	-47.89	3.81	0.26	4.69	21.08	53.08	26.02	0.45
PM31	Mineroduto	-1.73	-48.72	3.30	0.36	4.96	14.27	5.07	25.87	0.57
PM32	Mineroduto	-1.71	-48.72	3.10	0.50	5.05	13.40	4.73	25.07	0.48
PM33	Mineroduto	-1.64	-48.72	2.85	0.35	5.37	13.67	6.17	26.60	0.51
PM35	Mineroduto	-1.62	-48.73	4.60	0.62	6.00	20.47	4.75	27.20	0.43
PM36	Mineroduto	-1.57	-48.72	5.00	0.41	6.11	49.27	2.03	27.77	0.33
PM4	Mineroduto	-3.18	-47.76	3.69	0.47	4.77	21.80	5.77	25.93	0.32
PM8	Mineroduto	-2.95	-47.83	2.80	0.34	4.11	17.48	4.21	25.40	0.38

Tabela suplementar 2 – Estatística descritiva dos ordenamentos realizados com os conjuntos de variáveis ambientais e composição das subordens de Odonata amostradas dentro e fora de uma área de mineração ao nordeste da Amazônia brasileira.

Site	Category	Land Use & Cover		Human Influence		Substrate		Flow		Water Conduction		Wood Layout		Channel Morphology		Anisoptera		Zygoptera		Anisoptera		Zygoptera			
		PCA_1	PCA_2	FPCA_1	FPCA_2	FPCA_1	FPCA_2	PCA_1	PCA_2	PCA_1	PCA_2	PCA_1	PCA_2	PCA_1	PCA_2	PCoA_1	PCoA_2	PCoA_1	PCoA_2	RDA_1	RDA_2	RDA_1	RDA_2		
G3	Control	-0.608	0.935	-0.174	0.106	1.426	0.599	-1.285	1.264	2.559	1.149	9.517	2.900	1.962	-0.733	-0.180	0.007	0.118	0.097	-	0.549	-	0.226	-	0.224
L3	Control	-0.553	1.253	-0.036	-0.005	0.216	0.496	-1.200	2.354	0.506	0.854	-3.666	-0.721	-1.158	3.377	0.029	0.090	0.304	0.413	0.020	0.108	-	0.042	-	0.492
M3	Control	-0.952	2.695	-0.063	0.014	0.851	0.017	-0.892	0.582	1.677	1.439	0.371	-3.605	-1.578	-1.577	-0.134	0.019	-0.272	0.068	1.312	1.575	0.318	-	-	0.119

PB18	Control	0.765	2.198	0.161	0.205	0.459	-0.170	-1.228	-0.320	0.353	-0.280	-1.206	1.144	-2.305	3.508	-0.362	-0.433	0.141	-0.435	-	0.092	0.150	-	0.309	-	0.469	
PB2	Control	-0.711	1.120	-0.070	0.009	0.417	0.136	-1.250	0.124	0.322	-0.663	-0.160	0.985	4.281	5.619	-0.016	0.046	0.160	0.149	-	0.031	0.077	-	0.464	-	0.235	
PB20	Control	0.852	1.761	-0.073	0.026	-0.488	0.500	-1.297	0.655	0.067	0.139	-2.371	-0.201	-2.142	2.011	-0.047	0.041	0.168	-0.419	-	0.622	-	1.013	-	0.302	-	0.535
PB5	Control	1.014	1.901	-0.031	0.040	0.516	-0.119	-1.201	0.306	4.160	-1.122	6.261	-0.861	-0.164	0.817	-0.246	0.540	0.346	0.012	-	0.514	-	0.389	-	1.131	-	0.532
PB6	Control	1.792	1.669	0.074	0.130	0.306	-0.177	-1.121	-1.202	2.883	-0.063	0.677	1.695	1.230	-1.525	0.020	-0.007	0.147	-0.308	-	0.605	-	0.461	-	0.662	-	0.234
PC8	Control	1.741	1.179	-0.070	0.009	0.469	0.043	-1.370	1.451	-1.050	0.099	7.990	-1.087	-1.116	0.849	0.217	-0.051	0.225	0.447	-	0.259	-	0.073	-	0.115	-	0.522
PM1	Pipeline	-0.186	-0.328	0.002	-0.033	-0.165	-0.414	4.086	-0.463	-0.632	-1.459	4.338	1.766	3.692	-1.145	0.042	0.067	0.295	-0.060	-	0.098	-	0.079	-	0.260	-	0.439
PM10	Pipeline	2.305	0.010	0.000	-0.032	-0.448	-0.447	-0.253	0.054	-0.724	-0.470	-1.742	0.839	0.461	-0.500	-0.010	-0.347	-0.052	-0.040	-	0.120	-	0.036	-	0.017	-	0.107
PM107	Pipeline	-3.633	-1.136	0.009	0.017	-1.019	1.666	2.545	0.101	-0.336	-0.783	6.722	-0.400	-0.004	0.075	-0.060	0.033	0.138	-0.268	-	0.042	-	0.223	-	0.079	-	0.049
PM12	Pipeline	1.643	-0.741	0.023	-0.019	-0.251	-0.513	-0.649	-0.927	-0.924	-0.039	1.924	-5.187	0.933	-0.336	0.401	0.018	-0.420	0.027	-	0.144	-	0.258	-	0.346	-	0.087
PM13	Pipeline	0.785	-0.116	0.023	-0.019	-0.477	0.145	-0.763	-1.975	-1.805	-0.970	1.198	-5.716	-2.299	-0.443	0.430	-0.060	-0.179	-0.150	-	0.425	-	0.220	-	0.144	-	0.423
PM14	Pipeline	-0.270	0.239	0.029	0.002	-0.504	-0.428	-0.284	-0.425	-0.639	-1.193	-1.690	0.659	3.030	-1.391	0.506	-0.039	0.244	-0.007	-	0.301	-	0.404	-	0.246	-	0.201
PM16	Pipeline	-3.153	0.520	0.014	-0.006	-0.662	0.209	-0.525	0.032	-0.362	-1.028	-2.472	0.426	-1.604	0.168	0.470	-0.069	-0.294	-0.099	-	0.094	-	0.350	-	0.140	-	0.263
PM20	Pipeline	0.509	-0.547	0.023	-0.008	-0.349	0.215	-0.473	-0.558	-0.235	0.247	-1.237	-0.468	-0.252	-0.257	-0.356	-0.422	-0.134	-0.265	-	0.196	-	0.093	-	0.007	-	0.035
PM21	Pipeline	-2.611	-0.995	0.019	-0.021	-0.849	0.620	-1.152	-0.284	-1.058	-0.154	-3.025	0.152	-3.395	-0.895	0.084	-0.010	-0.005	-0.241	-	0.624	-	0.443	-	0.472	-	0.165
PM24	Pipeline	-3.242	-0.014	0.015	-0.021	-0.742	0.001	-0.189	-0.771	-1.085	0.245	-3.079	-0.262	-5.412	-4.214	-0.304	-0.249	-0.248	-0.078	-	0.223	-	0.103	-	0.307	-	0.496
PM25	Pipeline	2.318	-1.292	0.033	-0.010	-0.160	-0.546	-0.621	-2.024	-0.816	-0.328	-3.204	-0.281	-2.640	-1.679	0.191	0.007	0.180	-0.239	-	0.510	-	0.297	-	0.096	-	0.197
PM26	Pipeline	1.673	-1.395	0.014	-0.017	-0.396	-0.352	-0.070	-2.009	-0.756	-1.195	-2.719	-0.131	0.176	-0.714	-0.413	-0.367	0.151	0.140	-	0.256	-	0.060	-	0.183	-	0.100
PM27	Pipeline	2.847	-0.776	0.020	-0.015	-0.601	-0.074	1.617	0.646	-0.110	-0.542	-0.459	1.567	3.814	-2.166	0.167	0.018	0.206	0.179	-	0.091	-	0.072	-	0.131	-	0.160
PM3	Pipeline	-0.096	-0.960	0.031	-0.019	-0.301	-0.488	0.089	-0.663	-0.220	-0.110	-0.897	1.680	-0.097	-0.469	0.381	-0.035	-0.112	-0.061	-	0.248	-	0.150	-	0.118	-	0.231
PM31	Pipeline	-1.373	0.531	-0.035	0.037	0.584	0.041	1.461	-0.492	0.458	-0.577	-0.213	0.413	0.671	1.406	0.420	-0.084	0.270	0.123	-	0.112	-	0.376	-	0.299	-	0.030
PM32	Pipeline	-1.276	-0.533	-0.071	-0.004	1.325	0.503	-1.177	-0.731	0.094	-1.082	-2.476	0.376	-0.853	0.636	-0.356	-0.422	0.162	0.164	-	0.070	-	0.102	-	0.021	-	0.221
PM33	Pipeline	-0.619	0.511	0.030	-0.021	0.387	-0.301	-1.180	-0.138	1.584	-0.166	4.759	-4.399	1.333	5.599	-0.020	0.038	0.184	-0.056	-	0.069	-	0.011	-	0.373	-	0.456
PM35	Pipeline	-0.183	-0.152	0.005	-0.015	0.092	-0.192	-1.243	-0.172	1.212	1.300	-2.259	-1.358	-0.125	2.093	0.039	-0.254	-0.239	0.253	-	0.310	-	0.369	-	0.094	-	0.372
PM36	Pipeline	-1.837	-0.869	0.021	-0.023	0.295	-0.470	-1.001	-1.905	-1.065	3.908	-1.858	0.399	-1.166	1.175	-0.087	-0.170	-0.453	0.069	-	0.406	-	0.275	-	0.862	-	0.057
PM4	Pipeline	-3.270	-0.535	0.031	-0.022	-0.593	-0.297	1.396	0.334	0.426	-0.439	-1.132	1.192	2.553	-0.387	-0.356	-0.422	0.293	0.421	-	0.115	-	0.198	-	0.155	-	0.927
PM8	Pipeline	-0.822	-0.422	0.025	-0.013	-0.494	-0.322	2.255	0.844	-0.965	-0.979	-0.486	2.144	0.535	-0.234	-0.356	-0.422	-0.583	0.123	-	0.417	-	0.181	-	0.333	-	0.382
PMF10 1	Control	-0.152	-1.366	0.009	-0.016	-0.436	-0.160	0.110	0.231	-1.505	-0.773	-1.763	1.313	-0.570	-2.491	-0.222	0.084	-0.225	0.112	-	0.202	-	0.017	-	0.449	-	0.319
PMF10 2	Control	-0.634	-1.363	0.004	-0.005	-0.957	1.159	-0.325	0.775	-0.563	0.194	-2.707	0.214	-1.157	-1.177	-0.246	0.540	-0.104	-0.080	-	0.279	-	0.093	-	0.344	-	0.255
PMF10 3	Control	0.989	-2.038	0.015	-0.018	0.199	-0.255	2.213	0.544	-0.481	-0.364	-2.459	0.147	1.567	-1.210	0.032	0.060	-0.016	0.276	-	0.188	-	0.066	-	0.302	-	0.077
PMF10 4	Control	1.577	-0.633	0.030	-0.012	0.189	-0.184	1.439	-0.780	-0.540	-0.130	-2.606	0.378	-2.417	-0.935	-0.307	0.381	0.223	-0.060	-	0.310	-	0.165	-	0.072	-	0.226
PMF10 5	Control	2.101	-0.931	0.002	-0.040	1.180	0.420	-0.064	2.297	-0.549	-0.883	-2.114	0.111	-0.081	-0.395	0.030	0.043	0.263	-0.089	-	0.385	-	0.222	-	0.122	-	0.056

PMF106	Control	1.103	-0.500	0.021	-0.024	1.263	0.484	1.082	-1.622	-0.420	-0.910	-0.411	0.790	1.546	-1.035	-0.016	0.046	-0.175	0.273	0.253	-0.092	0.016	0.065
PMF13	Control	1.577	-0.230	0.019	-0.008	-0.506	0.014	-1.030	1.211	-1.032	-0.352	-2.784	0.234	-1.971	-0.382	0.193	0.016	0.169	-0.149	0.224	-0.108	0.211	-0.443
PMF14	Control	-3.096	1.528	-0.079	0.002	0.262	-0.332	-1.102	-0.814	0.135	0.475	-0.246	-1.761	-0.243	0.678	-0.164	0.010	-0.031	-0.251	-0.075	0.255	0.235	0.040
PMF1B	Control	0.388	0.597	0.033	-0.022	-0.492	-0.384	2.150	0.926	0.055	-1.110	5.741	4.129	5.226	-2.055	-0.246	0.540	0.130	0.179	0.285	-0.113	-0.402	0.262
PMF3B	Control	1.391	-0.042	0.024	-0.009	-0.497	-0.459	2.095	0.681	0.267	0.722	2.251	-2.257	1.915	-1.233	-0.180	0.007	-0.538	0.140	-0.278	0.237	-0.039	-0.099
PMF4B	Control	1.339	-0.126	0.026	0.013	0.628	-0.092	1.171	0.463	0.620	1.535	2.443	-0.325	0.814	-0.822	0.018	0.083	0.067	-0.356	-0.043	0.209	-0.269	0.052
PMF4C	Control	1.735	-0.506	0.019	-0.014	-0.300	-0.423	2.612	-0.851	1.259	2.398	-2.359	0.475	-0.675	-0.040	-0.246	0.540	-0.485	-0.013	-0.090	0.044	0.076	0.280
PMF5	Control	-4.419	-0.701	0.033	-0.025	-0.449	-0.340	1.515	0.250	0.545	-0.704	-1.888	0.562	2.463	-1.123	0.395	-0.095	0.056	0.265	-0.164	0.247	-0.123	0.282
PMF6B	Control	1.258	-3.344	0.044	0.001	-0.710	0.117	0.451	0.822	-0.563	-0.706	-2.988	0.160	1.488	-0.944	0.470	-0.069	0.045	-0.021	0.186	-0.025	0.569	0.677
PMF7	Control	-1.381	-1.387	0.020	-0.008	-0.994	1.096	-0.229	0.829	-0.499	-0.931	-2.949	-0.093	-0.325	-0.132	0.417	-0.022	0.146	0.466	0.233	-0.068	0.042	0.206
PMO2	Control	0.891	0.861	0.067	-0.094	0.114	-0.623	-1.234	-0.320	-2.583	3.766	5.077	2.041	-2.138	3.171	0.031	0.095	-0.362	-0.016	-0.098	0.003	0.520	-0.401
T3	Control	0.701	1.763	-0.059	0.006	1.274	0.352	-1.294	0.625	-0.134	0.524	-2.382	-0.142	-2.396	0.163	-0.246	0.540	0.103	-0.203	0.235	-0.113	-0.392	-0.431
U3	Control	0.605	1.001	-0.072	-0.037	1.274	0.352	-1.252	0.124	3.502	0.127	3.045	0.659	-0.464	-1.305	0.024	0.092	0.101	-0.328	-0.569	0.448	-0.554	0.323
Z1	Control	1.175	1.704	-0.136	0.038	0.114	-0.623	-1.331	0.919	-1.035	1.383	1.692	-0.298	-0.946	2.599	0.167	0.046	-0.110	-0.107	0.059	0.132	0.118	-0.733

Tabela suplementar 3 – Loading e autovalores das ordenações geradas a partir de dados ambientais coletadas em uma área de mineroduto. Estatística descritiva de análises permutacionais multivariada também é fornecido para cada um dos conjuntos de métricas ambientais.

Output PERMANOVA			Dataset	Variable	Axis 1	Axis 2	Eigen 1
				HII	0.164	0.639	3.053
	Category	Residual		Florest (50 m)	-	-	1.454
d.f.	1.00	47.00		Farming (50 m)	0.169	0.499	1.020
Σ Square	16.92	223.08	Land Cover	Canopy Channel	0.485	0.321	0.797
R ²	0.07	0.93		DP Canopy Channel	0.444	0.167	0.513
F	3.57			Canopy Margin	0.454	0.417	0.122
p	0.01			DP Canopy Margin	0.510	0.088	0.041
			Human Influence	Residence	0.038	0.021	0.003

	Category	Residual					
				Grass	0.021	0.020	0.002
				Construction	0.072	0.012	0.002
				Pipes/Duct	0.014	0.023	0.002
				Road	0.017	0.032	0.001
				Bridges/Culvert	0.000	0.004	0.000
				Plants	0.097	0.113	0.000
				Pasture	0.025	0.014	0.000
				Industry	0.027	0.034	0.000
				Mining	0.041	0.056	0.000
				Water Catchment	0.024	0.021	0.000
				Urban Zone	0.122	0.060	0.000
				Gravel	0.047	0.046	0.011
				Macrophytes	0.017	0.015	0.009
				Roots	0.042	0.014	0.003
				Fine Litter	0.130	0.060	0.002
				Sand	0.215	0.071	0.001
				Coarse Litter	0.021	0.207	0.000
				Area	0.705	0.053	1.913
				Flow Rate	0.705	0.058	0.994
				Slow Flow	0.078	0.997	0.093

	Category	Residual				
d.f.	1.00	47.00				
Σ Square	50.03	669.97				
R ²	0.07	0.93				
F	3.51					
p	0.01					

	Category	Residual				
d.f.	1.00	47.00				
Σ Square	17.34	270.66	Substrate			
R ²	0.06	0.94				
F	3.01					
p	0.02					

	Category	Residual				
d.f.	1.00	47.00				
Σ Square	12.34	131.60	Flow			
R ²	0.09	0.91				
F	4.40					
p	0.02					

	Category	Residual					
	y	1					
d.f.	1.00	47.00		pH	0.571	0.407	1.632
Σ Square	8.70	183.30	Water Condition	Electric.Conductivity	-	0.449	0.538
R ²	0.05	0.95		Dissolved.Oxygen	-	0.611	0.327
F	2.23			Temperature	0.316	0.662	0.433
p	0.08						

				Bed Wood Number 1 (C1W)	0.148	0.264	10.688
				Bed Wood Number 2 (C2W)	0.253	0.213	3.262
				Bed Wood Number 3 (C3W)	0.215	0.266	2.788
				Bed Wood Volume 1 (V1L)	0.267	0.234	1.022
				Bed Wood Volume 3 (V3L)	0.206	0.255	0.760
				Bed Wood Volume 2 (V2L)	0.262	0.162	0.530
				Total Wood Number above Channel 1 (c1d)	0.041	0.037	0.400
				Total Wood Number above Channel 2 (c2d)	0.190	0.161	0.253
				Total Wood Number above Channel 3 (c3d)	0.145	0.188	0.131
d.f.	1.00	47.00					
Σ Square	21.91	938.09	Wood Layout	Volume out of Channel 1 (V1F)	0.201	0.391	0.119
R ²	0.02	0.98		Volume out of Channel 2 (V2F)	0.205	0.394	0.038
F	1.10			Volume out of Channel 3 (V3F)	0.188	0.417	0.007
p	0.31			Bed Wood Number + Surface 1 (C1T)	0.136	0.231	0.002
				Bed Wood Number + Surface 2 (C2T)	0.269	0.107	0.000
				Bed Wood Number + Surface 3 (C3T)	0.247	0.052	0.000
				Bed Wood Number + Surface 4 (C4T)	0.237	0.061	0.000
				Bed Wood Volume + Surface 1 (V1T)	0.301	0.007	0.000
				Bed Wood Volume + Surface 2 (V2T)	0.299	0.012	0.000
				Bed Wood Volume + Surface 3 (V3T)	0.276	0.100	0.000

			Bed Wood Volume + Surface 4 (V4T)	0.210	0.204	0.000
			Depth	0.351	0.228	4.331
			DP Depth	0.125	0.367	3.579
			Immersion	0.032	0.465	2.224
			DP Immersion	0.048	0.454	1.938
			Wet Width	0.368	0.117	1.311
			DP Wet Width	0.077	0.157	1.123
			Seasonal Width	0.175	0.211	0.850
d.f.	1.00	47.00	DP Seasonal Width	0.179	0.170	0.811
Sum Square	9.64	854.36	Seasonal Height	0.184	0.263	0.614
R ²	0.01	0.99	DP Seasonal Height	0.055	0.043	0.487
F	0.53		Incision Height	0.115	0.300	0.256
p	0.89		DP Incision Height	0.196	0.184	0.158
			Margin Angle	0.339	0.128	0.093
			DP Margin Angle	0.180	0.102	0.075
			Thalweg Depth	0.438	0.105	0.063
			DP Thalweg Depth	0.274	0.090	0.044
			Wet Area	0.387	0.164	0.027
			Ratio Width/Depth	0.024	0.107	0.015

Tabela Suplementar 4 – Tabela de espécies contendo ano e autor da descrição, status de conservação (red list e ICMbio), distribuição nos estados e Amazônia brasileira. Além do mais, fornecemos a estatística descritiva das análises de ordenamento e permutacional realizadas com dados de composição de espécies das subordens de Odonata amostradas em uma região de mineração de bauxita.

Suborder and output			Family	Author	IUCN (2023)	SA LV E	Distribution state - Brazil	Amazon	Control	Pipe line	PCo A 1	PCo A 2	Eigen value	RD A1	RD A2
Anisoptera	Libelluli dae		<i>Argyrothemis argentea</i>	Ris, 1909	Least Concern	LC	AC, AM, MA, MT, PA, RO	X	8	3	0.14	0.04	3.358	0.25	0.09
			<i>Brachymesia herbida</i>	Gundlach, 1889	Least Concern	LC	AC, AL, AM, AP, BA, GO, MA, MG, MS, MT, PA, PB, PE, RJ, SE, SP, TO	X	0	2	0.02	0.21	3.011	0.03	0.03
			<i>Dasythemis esmeralda</i>	Ris, 1910	Least Concern	LC	AM, CE, GO, MG, MS, MT, PA, PE, RJ, RO, SE, SP	X	0	3	0.04	0.08	2.573	0.07	0.04
			<i>Diastatops obscura</i>	Fabricius, 1775	Least Concern	LC	AC, AL, AM, AP, BA, CE, ES, GO, MA, MG, MS, MT, PA, PB, PE, PI, PR, RJ, RO, RR, RS, SE, SP, TO	X	1	1	0.02	0.05	2.030	0.00	0.00
			<i>Erythemis peruviana</i>	Rambur, 1942	Least Concern	LC	AL, AM, AP, BA, CE, ES, GO, MA, MG, MS, MT, PA, PB, PE, RJ, RR, RS, SE, SP	X	0	1	0.08	0.17	1.807	0.01	0.01
			<i>Erythrodiplax basalis</i>	Kirby, 1897	Least Concern	LC	AC, AL, AM, AP, BA, CE, GO, MA, MG, MS, MT, PA, PE, PI, PR, RJ, RO, RR, RS, SE, SP	X	3	8	0.13	0.16	1.707	0.03	0.08
			<i>Erythrodiplax castanea</i>	Burmeister, 1839	Least Concern	LC	AM, BA, CE, ES, MA, MG, MS, MT, PA, RJ, RO, SC, SE, SP, TO	X	3	2	0.13	0.02	1.358	0.20	0.25
			<i>Erythrodiplax fusca</i>	Rambur, 1842	Least Concern	LC	AC, AL, AM, AP, BA, CE, ES, GO, MA, MG, MS, MT, PA, PE, PI, PR, RJ, RO, RR, RS, SC, SE, SP, TO	X	3	11	0.22	0.30	0.959	0.01	0.08
			<i>Erythrodiplax sp.1</i>	-	-	-	-	X	0	7	0.07	0.14	0.881	0.02	0.02
			<i>Fylgia amazonica</i>	Kirby, 1889	Least Concern	LC	AC, AM, GO, MA, MS, MT, PA, RO	X	7	1	0.04	0.08	0.765	0.10	0.12
			<i>Macrothemis hahneli</i>	Ris, 1913	Least Concern	N/A	N/A	N/A	1	0	0.02	0.09	0.500	0.00	0.01
			<i>Micrathyria artemis</i>	Ris, 1911	Least Concern	LC	AC, AM, AP, BA, ES, GO, MA, MG, MS, MT, PA, RJ, RO, RS, SP	X	0	1	0.08	0.17	0.479	0.01	0.01
			<i>Micrathyria sp.1</i>	-	-	-	-	-	0	1	0.03	0.25	0.434	0.01	0.02
			<i>Misagria parana</i>	Kirby, 1889	Least Concern	LC	AM, PA, RO, RR	X	2	0	0.01	0.08	0.304	0.00	0.02
			<i>Oligoclada abbreviata</i>	Rambur, 1842	Least Concern	LC	AM, BA, ES, MG, MT, PA, PE, RJ, RO, RR, SE, SP	X	1	0	0.01	0.04	0.273	0.04	0.01
			<i>Oligoclada crocogaster</i>	Borror, 1931	Least Concern	LC	MG, MS, PA, RO	X	0	2	0.30	0.24	0.250	0.01	0.00
PERMA NOVA	Cate gory	Resi dual	<i>Oligoclada risi</i>	Geijskes, 1984	Least Concern	LC	AM	X	1	0	0.41	0.02	0.205	0.01	0.00
Degree Freedom	1.00	47.00	<i>Oligoclada walkeri</i>	Geijskes, 1931	Least Concern	LC	AC, AM, MT, PA, RO	X	3	0	0.25	0.44	0.192	0.05	0.02

	<i>Protoneura tenuis</i>	Selys, 1860	Least Concer n	LC	AC, AL, AM, DF, GO, MA, MG, MS, MT, PA, RO, RR	X	21	6	0.00	0.13	-	-	0.11	0.10
	<i>Psaironeura tenuissima</i>	Selys, 1886	Least Concer n	LC	AM, AP, MS, PA, RO	X	4	3	0.01	0.25	-	-	0.01	0.01
Polythori dae	<i>Chalchopteryx rutilans</i>	Rambur, 1842	Least Concer n	LC	AC, AM, GO, MT, PA, RO	X	12	21	0.15	0.01	-	-	0.06	0.04
Dicteriad idae	<i>Dictierias atrosanguinea</i>	Selys, 1853	Data Deficie nt	LC	AM, PA	X	11	6	0.19	0.00	-	-	0.10	0.06
Calopterygidae	<i>Hetaerina amazonica</i>	Sjöstedt, 1918	Least Concer n	LC	AM, AP, BA, MS, MT, PA, RO	X	1	0	0.22	0.11	-	-	0.01	0.01
	<i>Hetaerina laesa</i>	Hagen in Selys, 1853	Least Concer n	LC	AC, AM, AP, GO, MA, MT, PA, RO, RR	X	15	7	0.00	0.01	-	-	0.03	0.00
	<i>Hetaerina sanguinea</i>	Selys, 1853	Least Concer n	LC	AM, MA, PA, RO, RR	X	0	3	0.45	0.06	-	-	0.05	0.00
	<i>Hetaerina westfalli</i>	Rácenis, 1968	Least Concer n	LC	AM, BA, GO, MT, PA, RO, RR	X	0	1	0.45	0.06	-	-	0.03	0.00
	<i>Mnesarete aenea</i>	Selys, 1853	Least Concer n	LC	AC, AM, MT, PA, RO, RR	X	50	19	0.09	0.15	-	-	0.20	0.01
	<i>Mnesarete williamsoni</i>	Garrison, 2006	Least Concer n	LC	MT, PA	X	52	21	0.15	0.22	-	-	0.12	0.22
Heteragrionidae	<i>Heteragrion icterops</i>	Selys, 1862	Least Concer n	LC	AM, MT, PA, RO	X	3	0	0.07	0.04	-	-	0.01	0.04
	<i>Heteragrion silvarum</i>	Sjöstedt, 1918	Least Concer n	LC	AM, PA, RO	X	31	4	0.11	0.26	-	-	0.22	0.02
	<i>Oxystigma petiolatum</i>	Selys, 1862	Least Concer n	LC	AM, AP, MA, PA, RO, RR	X	15	3	0.14	0.01	-	-	0.06	0.00
Perilestes	<i>Perilestes kahli</i>	Williamson & Williamson, 1924	Least Concer n	LC	AC, PA, RO, RR	X	0	1	0.24	0.00	-	-	0.01	0.01

Tabela suplementar 5 – Seleção de modelos apontando as relações lineares da abundância e riqueza das subordens de Odonata com diferentes conjuntos de variáveis ambientais amostradas no nordeste da Amazônia.

Predictor Variables	Selected Environmental Variables	Estimate (β)	Std. Error	z value	p value
Abundance Anisoptera (R ² =0.42)	(Intercept)	0.810	0.112	7.254	<0.001*
	Florest (buffer 50 m)	0.196	0.104	1.885	0.059
	Farming (buffer 50 m)	0.166	0.108	1.532	0.126
	pH	0.292	0.116	2.514	0.011*
	Dissolved Oxygen	-0.641	0.127	-5.061	<0.001*

	DP Seasonal Height	0.188	0.095	1.986	0.047*
	DP Margin Angle	0.300	0.111	2.707	0.006*
	Volume Woody Debris (bed+surface)	-0.212	0.113	-1.878	0.060
Richness Anisoptera (R ² =0.25)	(Intercept)	0.579	0.112	5.176	<0.001*
	Dissolved Oxygen	-0.477	0.126	-3.776	<0.001*
	DP Seasonal Height	0.157	0.083	1.893	0.058
	DP Margin Angle	0.222	0.106	2.086	0.036*
Abundance Zygoptera (R ² =0.54)	(Intercept)	2.432	0.068	35.794	<0.001*
	Farming (buffer 50 m)	0.157	0.076	2.067	0.039*
	Canopy Channel	0.154	0.076	2.028	0.043*
	pH	0.408	0.079	5.144	<0.001*
	Electric Conductivity	0.182	0.065	2.813	0.004*
	Wet Channel Width	0.257	0.069	3.732	<0.001*
	DP Seasonal Height	-0.172	0.095	-1.819	0.069
	Vol. Woody Debris Above Channel (c1d)	-0.170	0.074	-2.288	0.022*
Vol. Woody Debris Above Channel (c2d)	-0.160	0.090	-1.782	0.075	
Richness Zygoptera (R ² =0.53)	(Intercept)	1.563	0.068	23.163	<0.001*
	Farming (buffer 50 m)	0.124	0.062	2.013	0.044*
	Dissolved Oxygen	0.156	0.071	2.206	0.027*
	Wet Channel Width	0.182	0.063	2.9	0.003*
	DP Margin Angle	0.116	0.076	1.529	0.126
	DP Thalweg Depth	-0.115	0.077	-1.489	0.136
	Vol. Woody Debris Above Channel (c1d)	-0.174	0.066	-2.638	0.008*
	Slow Flow (all pool types + glides)	0.149	0.071	2.108	0.051

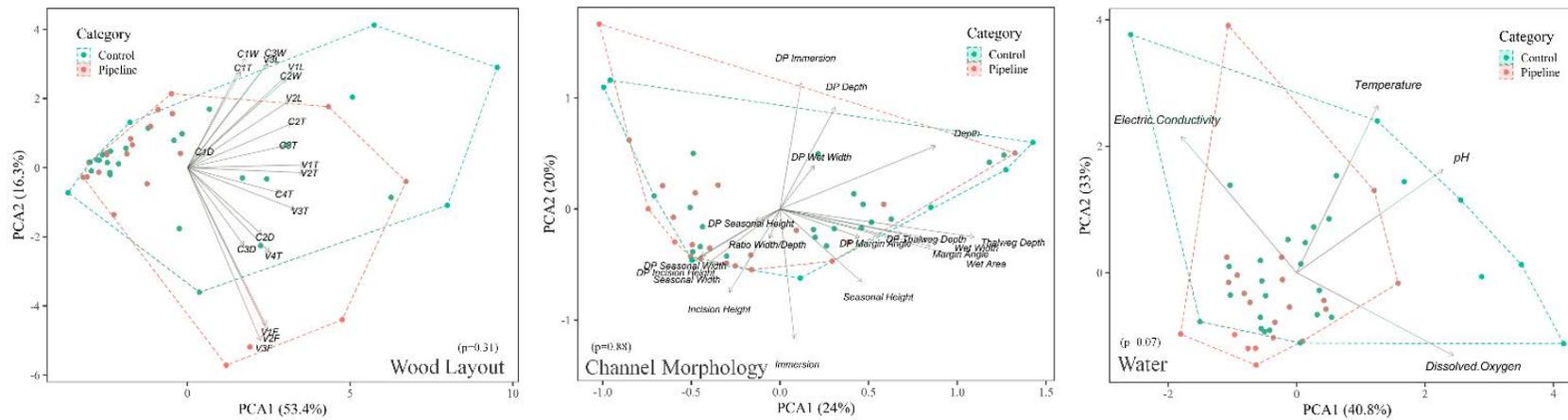


Figura suplementar 1 - Ordenamento das variáveis ambientais entre igarapés dentro e fora da faixa de servidão de um mineroduto transportador de bauxita. Todos os conjuntos não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0.05$).

Tabela suplementar 6 – Seleção de modelos de uma RDA realizada a partir da composição de espécies das subordens de Odonata e métricas ambientais.

Suborder	Selectio n	Varianc e	F	p	Category	RDA1	RDA2	Eigenvalue RDA
Anisoptera	Model	0.0793	1.753	0.002	DP Seasonal Height	-	-	0.03217
	Residual	0.67861	d.f.(3,45))	pH	0.4065	-0.5669	0.02902
					DP Thalweg Depth	-	0.2450	0.3185
					Depth	0.2155	9	0.01811
		$R^2=0.104$						
Zygoptera	Model	0.0611	2.0818	0.003	HII	0.7545	-0.6563	0.04533
	Residual	0.67504	d.f.(2,46)	2	Dissolved Oxygen	-	0.6248	0.01576

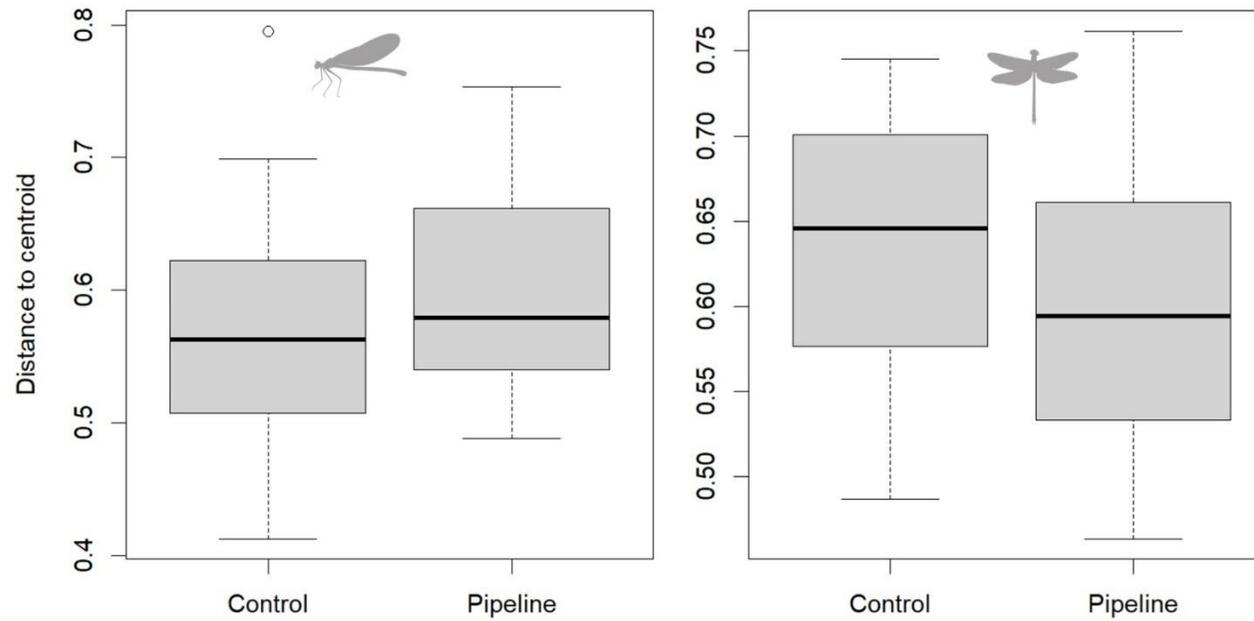


Figura suplementar 2 – Análise Permutational Multivariate Analysis of Dispersion (PERMDISP), apontando que não há diferentes dispersão entorno do centroide de ambas as subordens de Odonata amostradas numa região de mineração de bauxita.

3º Capítulo: FRAGMENTAÇÃO E REPRESAMENTO DE IGARAPÉS AMAZÔNICOS PELA AÇÃO DE ESTRADAS E DE UM MINERODUTO

Resumo

Novas estratégias de transporte de minério, além das tradicionais rodovias e ferrovias, vêm sendo propostos e utilizados ao longo do tempo, como é o caso dos minerodutos. Há vantagens sob uma perspectiva ambiental, pois emitem menos gases de efeito estufa, consomem menos energia, além de produzirem menos poluição sonora e visual. No entanto, existe a necessidade do uso de estradas para o acesso e manutenção da estrutura, que por sua vez, pode causar diversos impactos ambientais e alterações nas comunidades bióticas mais sensíveis, como é o caso dos insetos aquáticos pertencentes a ordem Odonata. Portanto, nosso objetivo foi avaliar quais os efeitos ambientais causados pela utilização de estradas de acesso a um mineroduto e se essas alterações são capazes de interferir na estrutura da comunidade de um grupo considerado bioindicador de mudanças ambientais. Nossos resultados evidenciaram que a passagem do mineroduto e da estrada sobre os igarapés amazônicos fragmenta o fluxo de energia, sendo registrado maior proporção de espécies e de madeira na região a montante. Também constatamos um processo de represamento, com a redução da velocidade natural da água na zona que antecede o mineroduto, aumentando a proporção de macrófitas aquáticas. Atribuímos essas alterações às falhas na mensuração e manutenção dos bueiros utilizados para canalizar os igarapés. Por outro lado, na zona a jusante, encontramos uma maior quantidade de cascalho grosso e fino no leito do riacho, causado provavelmente pelo intenso fluxo de maquinário nas estradas e da água das chuvas que são canalizadas para os igarapés. Evidenciamos também que as subordens de Odonata apresentam diferentes sensibilidades a esses impactos ambientais gerados, pois a estrutura da comunidade de Zygoptera não foi afetada. Acreditamos que o histórico uso da terra na região possa ter extinguido as espécies especialistas da comunidade original, permanecendo apenas aquelas tolerantes e que, portanto, sofrem menos com os efeitos observados. No entanto, Anisoptera apresentou uma maior abundância e riqueza na zona que antecede a passagem do mineroduto e estrada, provavelmente, por serem mais associados as características ambientais encontradas em sistemas lênticos ou semi-lênticos. Concluímos que o uso de mineroduto não está afetando os riachos, já que permanecem enterrados por quase toda sua extensão, produzindo poucos impactos no meio ambiente. Por outro lado, a necessidade da utilização de estradas para a manutenção e acesso a estrutura ainda permanece sendo um grande passivo ambiental. Portanto, indicamos que sejam realizados redimensionamento dos bueiros das pontes, para evitar o represamento e fragmentação dos igarapés e que o escoamento da água das estradas não seja direcionado diretamente para dentro dos corpos hídricos.

Palavras-chaves: Odonata, fluxo de energia, mineração, sedimento, bueiro, ecologia de estradas.

Introdução

Na sociedade contemporânea, por muitas décadas, o uso de rodovias e ferrovias na distribuição de matéria prima foi amplamente utilizado (Pittman 2005). No entanto, outros meios promissores vêm sendo propostos, como é o caso dos minerodutos. Essa estratégia de transporte acontece em uma estrutura tubular composta por centenas de dutos interconectados que, por meio de estações de bombeamento, conduzem uma mistura de minério e água (poupa) sob alta pressão até o local desejado, geralmente onde ocorre o processamento final do material (Liu 2003). O primeiro mineroduto construído exclusivamente para o transporte de bauxita, se encontra na Amazônia brasileira. A jazida de bauxita fica situada no município de Paragominas, nordeste do estado do Pará. No entanto, o minério é enviado para o município de Barcarena, onde é processado, separado da água e dotransferido para o navio e e enviado à Noruega. No ano de 2003, foi iniciado a construção do mineroduto (Augusto 2012), com comprimento total de 244 km de extensão, escoando aproximadamente 15 milhões de toneladas de polpa de bauxita por ano (Abal 2017).

Existem diversas vantagens de utilizar minerodutos quando comparados a outros meios tradicionais de transporte de minério. Na área empresarial, o menor custo operacional é um dos fortes atrativos, pois os minerodutos são seguros, operam 24 horas por dia, em baixo consumo energético, não necessitando de intervenção humana frequente (Das et al. 2020). Sob uma ótica ambiental, os impactos nas mudanças climáticas são mínimos, já que os minerodutos não emitem poluentes atmosféricos como os gerados pelos transportes rodoviários ou ferroviários todos os anos (Behari et al. 2022). Os minerodutos ocupam menos espaço e permanecem enterrados por quase toda sua extensão e, uma vez instalado, pouco interfere no meio ambiente a sua volta (Ferreira et al. 2023). No entanto, há necessidade de se construir estradas laterais para o acesso e manutenção da estrutura que, provavelmente, são as grandes causadoras de impactos ambientais, principalmente no sistema de drenagem hídrica da região (Monteiro-Júnior et al. 2013, Leitão et al. 2018).

Os ambientes lóticos são formados por riachos e rios que são interconectados por uma extensa rede de drenagens (Strahler 1957). Os igarapés são conhecidos como os riachos de pequenas dimensões da Amazônia, apesar de pequenos são responsáveis por aproximadamente 80% da rede de drenagem da Amazônia (Nessimian et al. 2008). São muito dependentes da mata ripária, uma vez que a biodiversidade existente precisa da energia proveniente dessa vegetação marginal (Monteiro-Júnior et al. 2013). Esses riachos de Terra Firme possuem fluxo constante ao longo do ano, que são alimentados pela água do lençol freático e pela água das chuvas. A vazão é constante em áreas mais preservadas, onde é esperado uma variação natural entre áreas de corredeiras, poções e meandros distintas, ocorrendo em intervalos de cinco a sete vezes a largura do canal (Nessimian et al. 2008). Essa variabilidade ou heterogeneidade é importante, pois suporta uma complexa biodiversidade específica somente nesse habitat (Cruz et al. 2022; Faria et al. 2023).

A construção de estradas apresenta alto potencial de causar impactos significativos à saúde de ecossistemas aquáticos por meio da quebra de conectividade (Leitão et al, 2018; Monteiro-Júnior et al. 2013). Esse processo ocorre quando o fluxo contínuo de energia, na forma de nutrientes, sedimentos, matéria orgânica (viva ou morta) e energia solar, é interrompido ou diminuído devido à presença das barreiras físicas imposta pelas estradas. A fragmentação de energia em riachos amazônicos tem implicações importantes para a sustentabilidade e a saúde desses ecossistemas, pois a interrupção do fluxo de energia pode afetar a produtividade dos riachos, influenciando toda a cadeia alimentar e a disponibilidade de recursos para as espécies que dependem desses ambientes (Goosem 2007). Esse fenômeno pode resultar numa fragmentação de energia ao longo das drenagens hídricas, afetando negativamente a distribuição e a diversidade de espécies aquáticas (Park et al. 2008). Além disso, a perda de conectividade entre diferentes trechos pode limitar a dispersão de organismos, acarretando num isolamento genético e, portanto, na perda de diversidade biológica (Brejão et al. 2020).

As estradas também causam uma extensa remoção de vegetação ripária. Essa vegetação desempenha um papel crucial na regulação do clima local dos riachos. Uma vez removida, raios solares atingem diretamente o substrato abaixo da copa das árvores, o que resulta em mudanças significativas na disponibilidade de luz, temperatura da água e de umidade (Monteiro-Júnior et al. 2013). Outro ponto é o efeito de borda e a massiva perda de habitat, pois a vegetação submersa, troncos caídos e raízes expostas, servem como abrigo para diversas espécies aquáticas (Goosem 2007). Essas vias de acesso também podem levar a um acúmulo excessivo de sedimentos dentro do canal (Wellman et al. 2011), seja por processos de erosão causado pela ausência de sistemas radiculares da vegetação ciliar ou pela entrada de sedimento alóctones proveniente dos aterros de pontes e tráfego de veículos automotores (Couceiro et al. 2010). Essa sedimentação prejudica a qualidade da água (e.g. aumentando turbidez e condutividade elétrica), causam uma súbita homogeneização do ambiente através do soterramento de micro-habitats formados no leito do canal, afetando também a disponibilidade de alimentos (Couceiro et al. 2011). Todos esses impactos em conjunto afetam diretamente a sobrevivência de organismos aquáticos, principalmente os bentônicos, como peixes e macroinvertebrados filtradores (Bojsen e Jacobsen 2003; Fjellheim e Raddum 1995).

Eventualmente, as estradas cruzam nascentes que transpõem seu trajeto. A canalização dos canais de água geralmente é realizada por meio de manilhas de concreto ou galerias de madeira posicionadas embaixo das pontes de acesso (Ferreira et al. 2023). No entanto, na maioria das vezes, não são realizados cálculos de vazão adequados, desconsiderando, por exemplo, a dinâmica sazonal da água ao longo do ano (Conesa-García e García-Lorenzo 2013). Pulsos de inundação são comuns na região amazônica; quando ocorrem, frequentemente obstruem a passagem de água por essas canalizações, seja pelo excesso de sedimento fino ou material lenhoso de grande porte, causando um processo de represamento do fluxo aquático. Essa conversão de ambientes lóticos, com variáveis

aquáticas específicas (e.g. pH, turbidez e velocidade da água), em ambientes semi-lênticos, pode gerar um extenso impacto ambiental em toda a drenagem hídrica subsequente (Pasini et al. 2013), bem como na sua fauna aquática (Brasil et al. 2021; Couto et al. 2023).

Todas essas alterações são capazes de afetar diretamente a comunidade de espécies aquáticas, principalmente aquelas mais sensíveis, como a ordem Odonata (Miguel et al. 2017; Mendes et al. 2019; Silva et al. 2021). Esse grupo de insetos apresenta ciclo de vida anfibiótico, possibilitando uma avaliação ambiental dupla dos ambientes, pois o grupo responde tanto as modificações em habitats aquáticos quanto nos terrestres (Carvalho et al. 2018). Na região neotropical, a ordem é dividida em duas subordens, Anisoptera e Zygoptera, onde de maneira geral, os anisópteros são mais robustos e sustentam longos voos dado as proporções de suas asas e musculatura alar (Suhling et al. 2015). A maioria das espécies desse grupo apresentam estratégias termorreguladoras do tipo heliotérmica, dependendo mais da radiação solar direta sobre seus corpos. O tipo de respiração também é específico, já que essa ordem utiliza um sistema respiratório com lamelas internas, chamada de pirâmide anal, ficando menos susceptíveis a impactos de sedimentação ou soterramento do habitat. Por outro lado, a subordem Zygoptera apresenta tamanho corporal menor e, conseqüentemente, com menor capacidade de dispersão, permanecendo próximas aos leitos dos riachos (De Marco et al. 2015; Corbet 1999). Diferentemente dos Anisoptera, sua estratégia de termorregulação é do tipo conformadora termal, dependendo menos da radiação solar direta (Oliveira-Junior et al. 2017). Portanto, como apontado, a divisão das subordens reflete particularidades morfológicas, fisiológicas e, conseqüentemente, ecológicas, que são fundamentais para um direcionamento das hipóteses levando em consideração as especificidades de cada subordem (De Marco et al. 2015; Oliveira-Junior e Juen 2019).

Como anteriormente discutido, as estradas e o mineroduto podem acarretar diferentes impactos ambientais sobre os ecossistemas aquáticos da Amazônia, sendo o represamento e fragmentação de energia os principais. Portanto, nosso objetivo foi avaliar quais os efeitos ambientais causados pela utilização de estradas e do mineroduto e se essas alterações são capazes de interferir sobre a estrutura da comunidade de libélulas adultas de igarapés amazônicos. Nossa hipótese é de que (i) haverá uma redução na velocidade da água na zona a montante da passagem do mineroduto, causado pela passagem de pontes e estradas de acesso. Além do mais, o fluxo de energia será afetado, portanto, acreditamos que (ii) encontraremos maior proporção de sedimentos orgânicos e materiais lenhosos na zona que antecede a canalização da água por meio das pontes. Essas alterações, por conseqüência, influenciarão na estrutura das comunidades de Odonata entre as regiões acima e abaixo do mineroduto. Sendo assim, predizemos que (iii) haverá uma maior riqueza e abundância de Anisoptera na zona a montante enquanto (iv) para Zygoptera, essas métricas serão maiores na zona a jusante. No entanto, em virtude da maioria das espécies possuírem capacidades dispersivas o

suficiente para se deslocar e colonizar habitats considerados ideais ao longo do igarapé, (v) um efeito pontual da passagem do mineroduto e da estrada não será capaz de alterar a composição de espécies das subordens entre as zonas.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado em 18 igarapés cortados pelo mineroduto e por estrada, distribuídos em sete municípios da região nordeste da Amazônia brasileira (Fig. 1). A estrutura tem início na cidade de Paragominas, transportando minério ao longo de seus 244 km de extensão, até chegar no município de Barcarena. O mineroduto possui uma faixa lateral de servidão de aproximadamente 30 metros de largura, por onde passa uma estrada utilizada para o acesso e manutenção da estrutura (Augusto 2012). Essa via de acesso conta com inúmeras pontes e aterros ao longo de seu trajeto, por onde o fluxo de água dos igarapés são canalizados através de manilhas de concreto, galerias de madeira ou troncos ocós (Fig. 2).

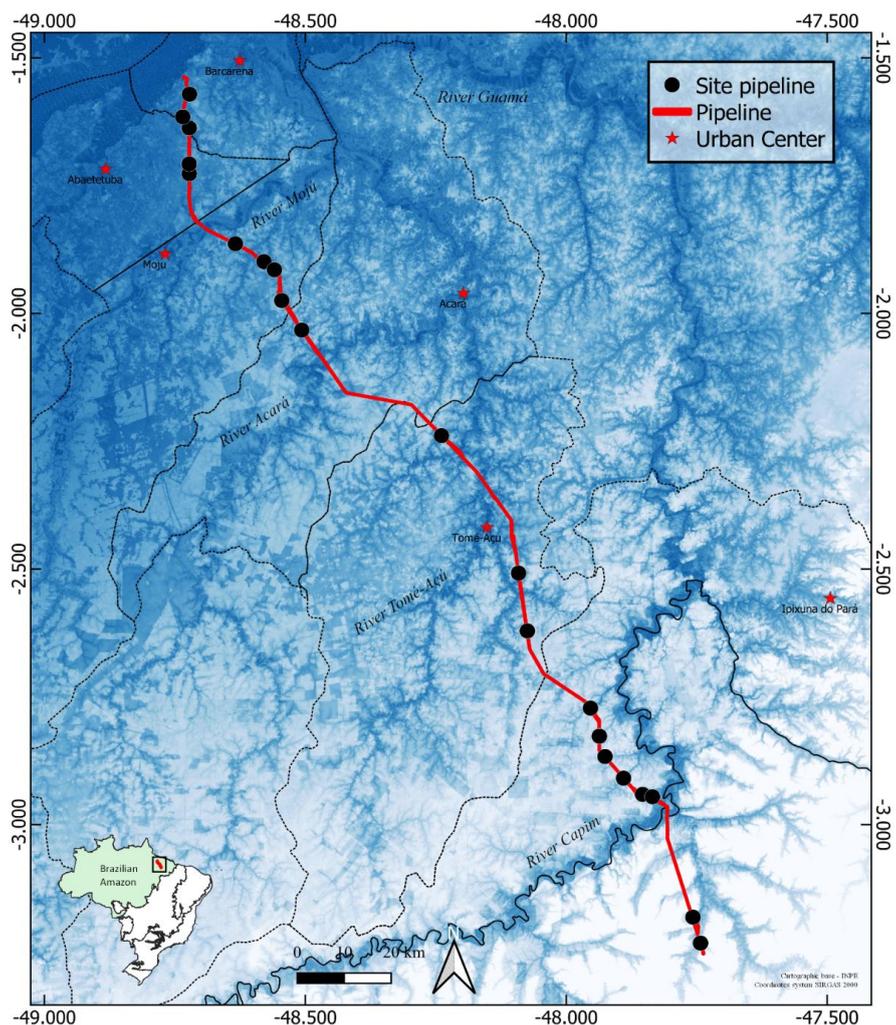


Figura 1. Mapa indicando a localização dos 18 igarapés cortados por estradas de acesso e por um mineroduto transportador de bauxita. A estrutura possui 244 km de extensão, perpassando diferentes paisagens e drenagens hidrográficas da região nordeste da Amazônia brasileira. Os tons do mapa representam a elevação da região, quanto mais escuro o azul mais baixo é a altitude da região.



Figura 2 – O mineroduto é acessado por meio de uma estrada lateral localizada na faixa de servidão da estrutura. Ao cruzarem corpos de água, a canalização do fluxo de água é realizada por meio de A) manilhas de concreto, B) troncos ocos, C) galerias de madeira ou D) dutos de concreto. A imagem da esquerda foi fotografada a montante da canalização e da direita a jusante da canalização.

A região está localizada no centro do chamado arco do desmatamento da Amazônia, sendo sua paisagem constituída principalmente por pecuária para a criação de gado e monoculturas (Pinillos et al. 2021), como a plantação de dendê (Juen et al. 2016). No entanto, há a presença de grandes rios e formações florestais primárias e secundárias, principalmente nas áreas protegidas por povos tradicionais. O clima regional é tropical úmido (Af) conforme a classificação de Köopen (Peel et al. 2007), apresentando uma estação chuvosa que vai de dezembro a maio, e uma estação de estiagem que ocorre de junho a novembro. A vegetação predominante na região é classificada como Floresta Ombrófila Densa Submontana (Ellenberg e Mueller Dombois 1967), com temperaturas médias anuais variando de 25.5°C a 26.8°C e precipitação total de 2800 mm/ano (INPE 2022).

A região possui um intenso uso do solo, que iniciou no século passado, sendo as principais atividades voltadas para a extração de seringa destinadas à produção de látex (Prates e Bacha, 2011). O desmatamento na região se intensificou próximo a virada do século 21, após uma série de concessões fiscais fornecidas pelo governo militar, bem como a abertura de estradas e a melhoria das estradas

que já existiam, como por exemplo, a BR010, possibilitando maior acesso as áreas e consequentemente, também a uma maior alteração do uso do solo. Atualmente, os principais usos do solo estão relacionados com a criação de gado e agricultura, com destaque para a plantação de dendê (Pinillos^[OBJ]; Gurgel^[OBJ]). Vale salientar que existem zonas na passagem do mineroduto na qual, Florestas primárias e secundárias são dominantes, com a presença de grandes rios, como o Rio Capim, Rio Tomé-Açú, Rio Mariquita, Rio Acará e Rio Mojú. Em alguns pontos específicos, o mineroduto atravessa áreas pertencentes a povos tradicionais, como indígenas e quilombolas.

Em cada um dos igarapés foram amostrados a fauna de Odonata e variáveis ambientais. Como critério na procura e seleção dos pontos amostrais sempre buscamos córregos de 1ª a 3ª ordem (Strahler 1957), perenes com fluxo de água constante ao longo de todo o ano, pertencentes a diferentes bacias, garantindo assim, uma independência espacial, bem como contemplar o máximo possível de paisagens e da variabilidade ambiental existente na região. Quanto ao uso do solo, buscamos contemplar todos os tipos existentes dentro do gradiente ambiental da região.

Coleta dos dados

Em cada riacho, um trecho de 150 m foi demarcado e posteriormente subdividido por onze transectos equidistantes, nomeados de “A” a “K” na direção a montante, totalizando 10 segmentos longitudinais de 15 metros cada. O delineamento do estudo foi realizado de forma pareada, com amostras distribuídas acima e abaixo do mineroduto e da estrada, amostramos 75 metros acima (a montante) e 75 metros abaixo (a jusante) do mineroduto e da estrada (Fig. 3). Nós utilizamos um puçá entomológico para amostrar as libélulas entre os horários de 11:00 e 14:00 horas, período de maior atividade desses insetos (Batista et al. 2021). O esforço amostral médio foi de uma hora por transecto, seguindo o mesmo protocolo já testado e validado na Amazônia (Oliveira-Junior et al 2015; Resende et al 2021). Todos os indivíduos avistados foram capturados, guardados em envelope entomológico e transportados para o laboratório. Posteriormente, nós fixamos o material biológico em acetona P.A. e os identificamos através de literatura específica até espécie (Lencioni 2005, 2017; Garrison et al. 2006, 2010). Todo o material biológico coletado foi depositado na Coleção Zoológica da Universidade Federal do Pará – Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO).

Variáveis ambientais

Aplicamos um protocolo que permiti avaliar a integridade física da região acima e abaixo do mineroduto. Essas variáveis são categorizadas em quatro diferentes grupos: substrato, abrigo, morfologia do canal e disposição de madeira (Kaufmann et al. 1999; Peck et al. 2006). Também avaliamos as variáveis físico-químicas: temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade

elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e potencial hidrogeniônico (pH), em três diferentes pontos do transecto de cada igarapé (0m, 75m e 150m). Nós consideramos as medições 0 m à 75 m como a jusante e de 75 a 150 como a montante do mineroduto e da estrada. As variáveis selecionadas para representar as condições locais são apontadas em literaturas como importantes para explicar a variação da comunidade de Odonata na Amazônia (Oliveira-Junior e Juen 2019; Brasil et al. 2020; Resende et al. 2021), além disso, são métricas que podem ser afetadas pela ação antrópica, foco desse estudo. Por fim, no intuito de avaliar o nível de preservação ambiental dos pontos amostrados, aplicamos um Índice de Integridade Ambiental (HII) (Nessimian et al. 2008).

Buscando diminuir os problemas de multicolinearidade nos dados, filtramos as 64 variáveis totais seguindo essa sequência de procedimentos: calculamos coeficientes (%) de zero e retiramos todas aquelas variáveis com mais de 70%; ajustamos correlações de Pearson (dados contínuos) e Spearman (dados ordinais) par-a-par entre as variáveis. Nos casos em que foi confirmado uma correlação ($r > 70\%$), mantivemos a variável com maior relevância para a comunidade de Odonata segundo a literatura científica disponível. Posteriormente, apenas para os dados contínuos, calculamos Fatores de Inflação da Variância (VIF), retirando sequencialmente as variáveis com valores superiores a três (Stine 1995). Após essa seleção, o subconjunto final contou com 32 variáveis ambientais.

Análise de dados

Em nosso estudo, cada igarapé representa uma unidade amostral, totalizando 18 amostras. Realizamos uma média das métricas ambientais amostradas nos cinco segmentos acima e nos cinco segmentos abaixo da passagem do mineroduto e estas representam os dados ambientais nas análises (Fig. 3).

Para testar as hipóteses (i) e (ii), detectando padrões ambientais entre os tratamentos, nós ajustamos testes permutacionais, com 999 permutações e $\alpha = 0.05$. Para avaliar as predições (iii e iv) de que a abundância e a riqueza das subordens responderão de forma antagônicas entre a região a montante e a jusante, nós utilizamos análises Lineares Generalizadas considerando as zonas como variável preditora categórica. Utilizamos a família Poisson para riqueza e binomial negativa para abundância. Os resíduos das análises sempre foram avaliados, bem como possíveis casos de superdispersão dos dados. Para avaliar a predição (v) de que a composição de espécies vai ser semelhante entre nossos tratamentos, nós realizamos uma Análises de Coordenadas Principais (PcoA) utilizando matrizes de Bray-Curtis calculadas a partir da abundância das espécies (Legendre e Legendre 1998). Possíveis agrupamentos formados foram testados através de Análises Permutacionais de Variância (PERMANOVA), com 999 permutações e $\alpha = 0.05$ (Gower 1966), aonde também avaliamos a dispersão dos centróides através de uma Análise Permutacional de

Dispersão Multivariada (PERMDISP) (Figura suplementar 2). Todas as análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2022), utilizando os pacotes “vegan”, “lme4”, “adespatial”, “lmePerm” e “ggplot2”.

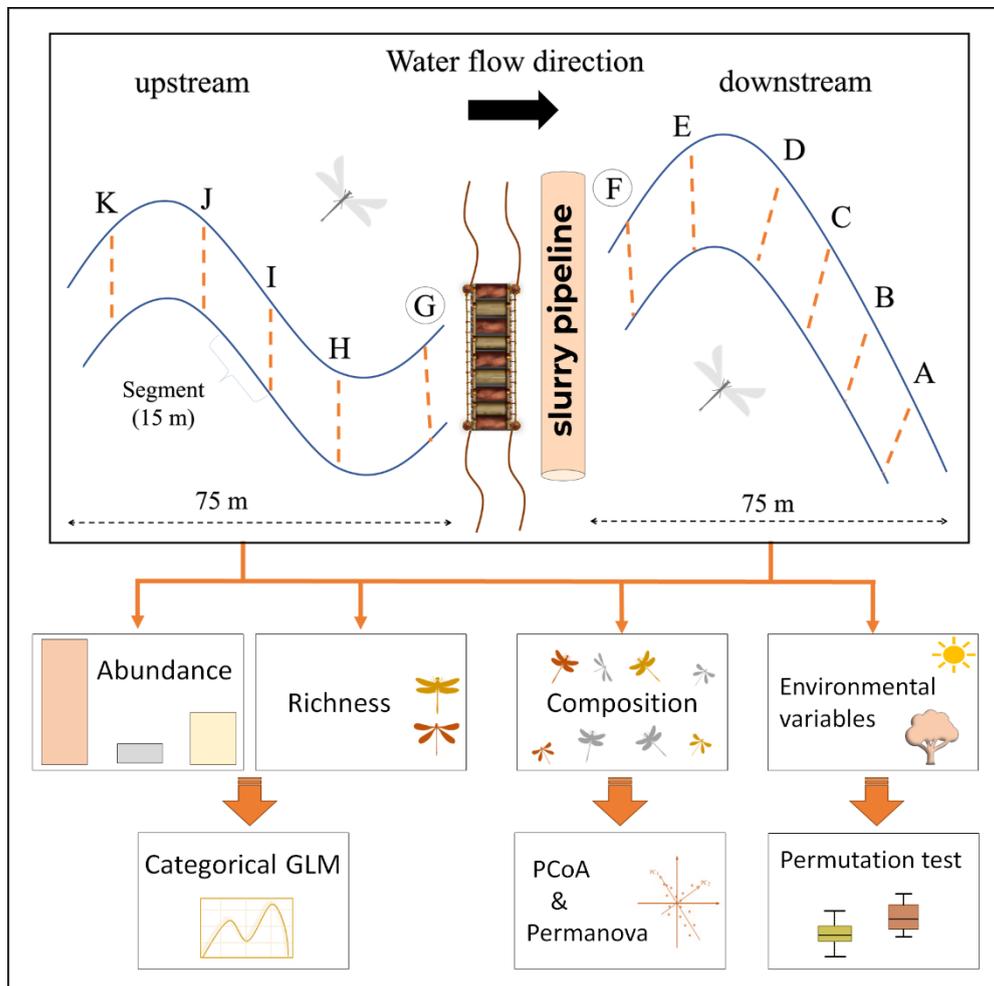


Figura 3 – Esquemática do desenho experimental e do fluxograma das análises estatísticas. O transecto de coleta foi delimitado 75 metros acima (a montante) e 75 metros abaixo (a jusante) do mineroduto e estrada de acesso. Este por sua vez, é subdividido em 10 segmentos equidistantes, nomeados de "A" a "K" na direção a montante do córrego. Processo do tratamento analítico utilizado para testar hipóteses referentes ao efeito do mineroduto e estradas sobre a estrutura da comunidade das subordens de Odonata.

Resultados

Condições ambientais

Nossos resultados evidenciaram que das 32 métricas ambientais analisadas, 24 são similares nas áreas a montante e a jusante (maiores informações no material suplementar) e oito foram diferentes entre as zonas. As métricas que foram afetadas estão ligadas a composição do substrato do leito, mais especificamente cascalho fino e grosso, foram mais presentes na zona a jusante (F:5.206, p:0.028; F:5.510, p:0.024), enquanto macrófitas foi mais frequente a montante (F:4.099, p:0.049). Assim como o esperado pela hipótese (iii), evidenciamos também que a região a montante apresenta maiores proporções de fluxo lento (F: 4.290, p:0.045) enquanto a zona a jusante maiores proporções de fluxo rápido (F:4.611, p:0.038). Nossos resultados também corroboraram a hipótese (iv), já que métricas ligadas a quantidade de material lenhoso disponível, como grandes troncos (F: 4.070, p:0.043), madeira disposta no leito (F: 4.170, p:0.048) e total de madeira disposta no leito e na superfície do canal (F:4.170, p:0.048), foram mais abundantes na zona a montante do que a jusante do mineroduto (Fig. 4).

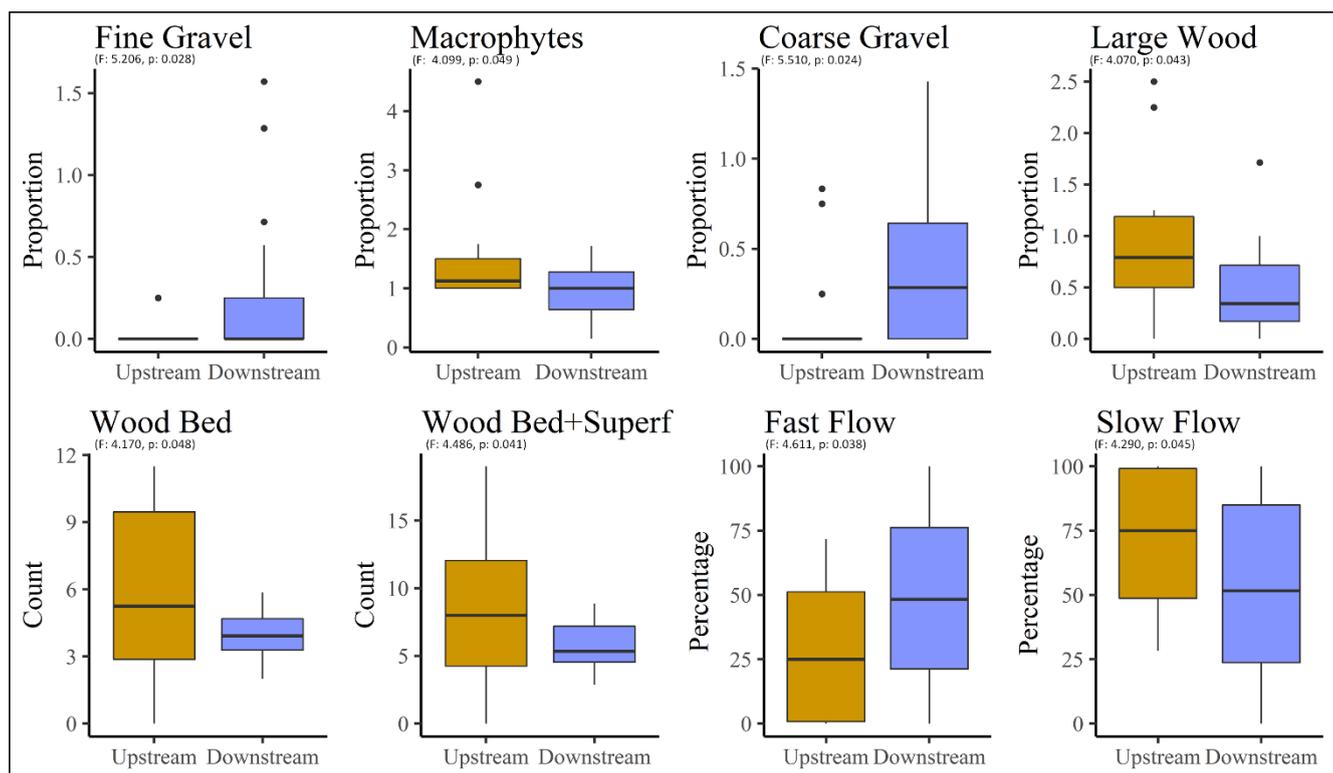


Figura 4 – Box plot das variáveis ambientais com médias estatisticamente diferentes ($p < 0.05$) entre as zonas a montante e a jusante da passagem de um mineroduto sobre igarapés da Amazônia.

Odonatofauna

Nos 18 igarapés amostrados em área de mineroduto, nós coletamos um total de 241 exemplares pertencentes a 48 espécies de Odonata. Separando por subordem, capturamos 65

exemplares de Anisoptera, distribuídos em duas famílias, 14 gêneros, pertencentes a 19 espécies, aonde as mais abundantes foram *Erythrodiplax fusca* (n= 11), *Erythrodiplax basalis* (n=8) e *Zenithoptera lanei* (n= 7). Em relação a subordem Zygoptera, coletamos 176 exemplares, distribuídos em 6 famílias, 17 gêneros, pertencentes a 29 espécies, das quais *Epipleoneura metallica* (n= 30), *Mnesarete williamsoni* (n= 21) e *Mnesarete aenea* (n=16) foram as espécies mais representativas (veja mais em material suplementar).

Abundância e Riqueza de espécies

Nossa hipótese (iii) foi corroborada em relação a subordem Anisoptera, tanto para a abundância ($z=2.356$, $p=0.018$) quanto para a riqueza ($z=2.640$, $p=0.008$), sendo maior na zona a montante da passagem do mineroduto. Em média, encontramos uma espécie e dois exemplares de anisópteros a mais a montante dos igarapés. No entanto, ao contrário das nossas previsões (iv), não houve diferenças significativas para Zygoptera (Abundância: $z=-1.669$, $p=0.095$; Riqueza: $z=-1.667$, $p=0.095$) (Fig. 5).

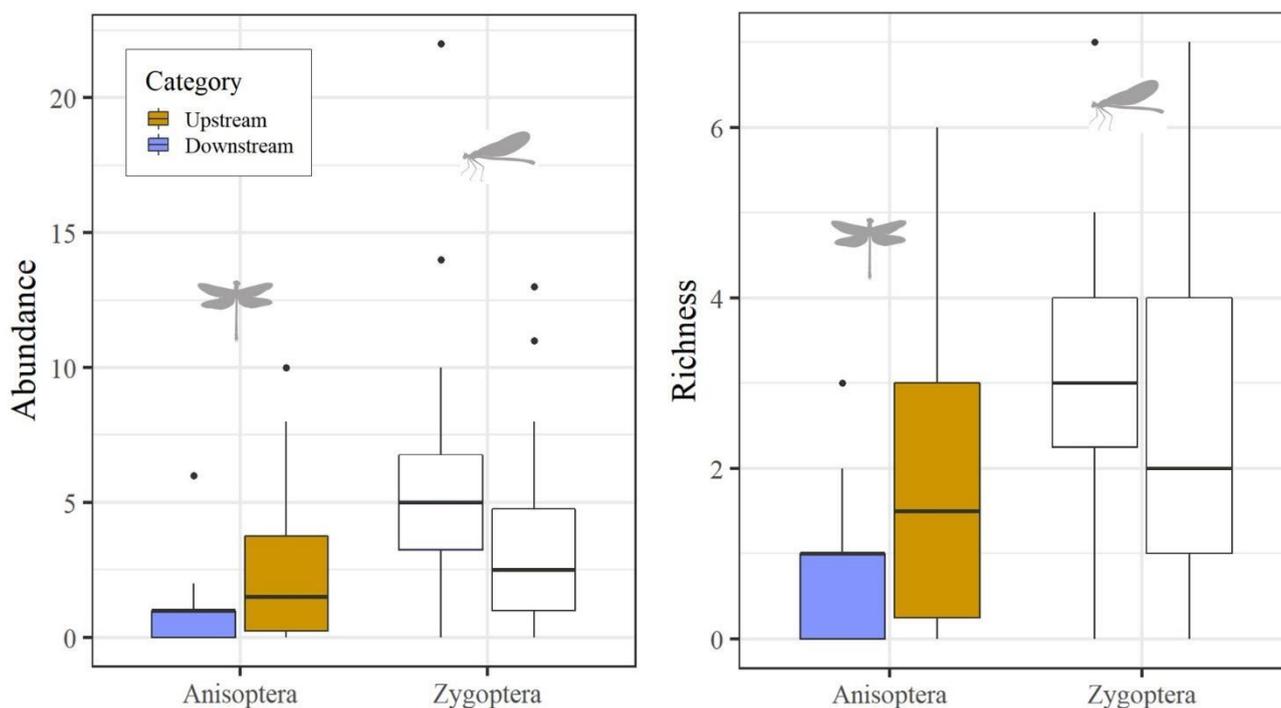


Figura 5 – Riqueza e abundância das diferentes subordens em função dos tratamentos. *Apenas os boxplot preenchidos por cor apresentam diferenças estatisticamente significativas ($p<0.05$) entre as médias.

Composição de espécies

O primeiro eixo do ordenamento da composição de espécies de Anisoptera explicou 20% da variação dos dados. As espécies *Oligoclada crocogaster* e *A. argentea* foram as que mais contribuíram positivamente com esse eixo, e as espécies *Fylgia amazonica* e *Gynacantha mexicana*

negativamente. Por outro lado, o segundo eixo explicou 18%, se destacando positivamente as espécies *Brachymesia herbida* e *Micrathyria* sp.1 e *Perithemis lais* e *Orthemis discolor* negativamente. Em relação a subordem Zygoptera, o primeiro eixo capturou 14.5% da variação dos dados de composição, sendo as espécies *Argia tinctipennis* e *Epipleoneura susanae* as que mais contribuíram positivamente e o morfotipo *Argia* sp.1 negativamente com esse eixo. O segundo eixo explicou 13%, aonde as espécies *Protoneura tenuis*, *Phoenicagrion flammeum* e *Psaironeura tenuissima* foram as que mais contribuíram positivamente para a formação desse eixo e as espécies *Neoneura bilinearis* e *Argia oculata* negativamente (Fig. 6).

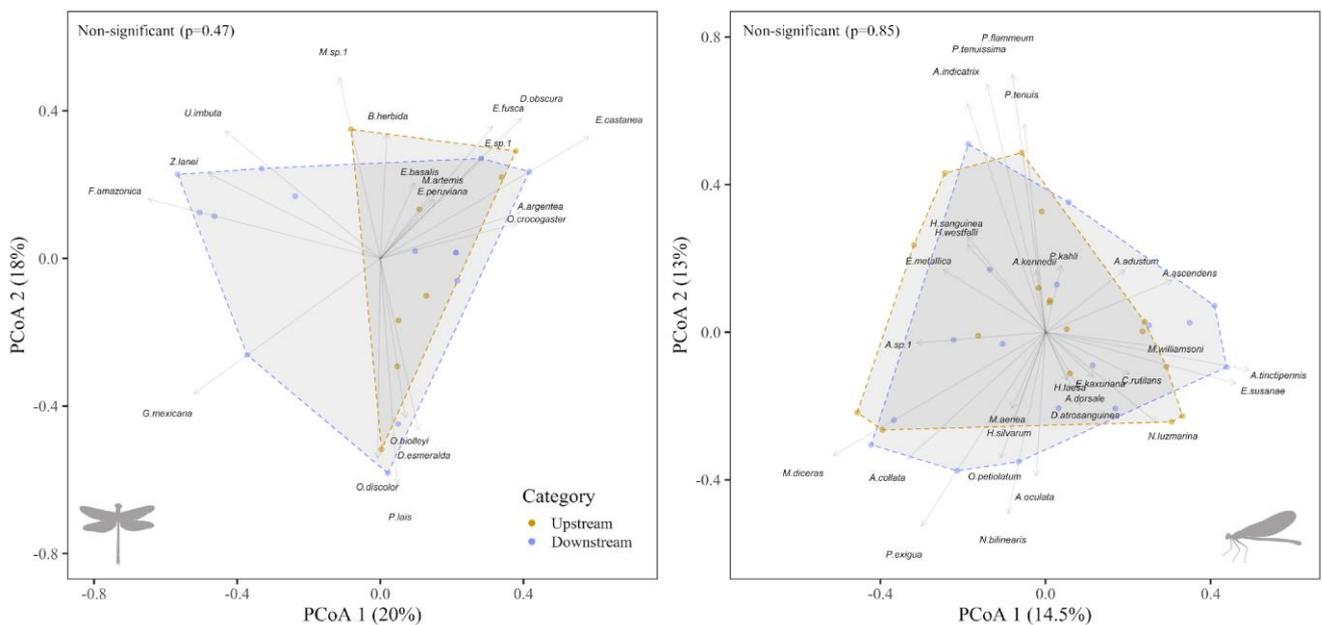


Figura 6 – Ordenamento da composição das subordens de Odonata em função da região a montante e a jusante do mineroduto.

Corroborando nossa hipótese (iii), não há diferenças significativas na composição das espécies a montante e a jusante da passagem do mineroduto, tanto para a subordem Anisoptera ($F=0.985$, $p=0.466$), com 10 de suas 19 espécies sendo compartilhadas entre ambas as zonas dos igarapés, quanto para Zygoptera ($F=0.659$, $p=0.858$), com 16 espécies compartilhadas de um total de 29 espécies registradas no estudo.

Discussão

Nossos resultados evidenciam que a passagem de um mineroduto e de uma estrada sobre igarapés amazônicos modificam suas métricas ambientais, pois constatamos uma maior proporção de macrófitas, material lenhoso e do fluxo de água reduzida na zona a montante. Por outro lado, na zona a jusante, encontramos uma maior quantidade de cascalho grosso e fino no leito do riacho, bem como

uma maior velocidade do fluxo de água. Esses efeitos demonstram que as subordens de Odonata apresentam diferentes sensibilidades a esses impactos ambientais, uma vez que Anisoptera apresentou uma maior abundância e riqueza na zona que antecede a passagem do mineroduto. Já a comunidade de Zygoptera não foi afetada.

O aumento das variáveis ambientais encontradas a montante indica um efeito de represamento do fluxo aquático em função da passagem do mineroduto e da estrada (Ferreira et al. 2023). As macrófitas são plantas aquáticas que, em sua maioria, dependem de um fluxo de água reduzido para colonizar os ambientes através da fixação de suas raízes no leito ou para não serem carregadas pela correnteza para aquelas de vida livre (Fares et al. 2020). A maior abundância de troncos e galhos na região a montante, pode ser uma evidência de um processo de fragmentação do fluxo natural de energia ao longo das drenagens, já que esses materiais lenhosos não transpõe a passagem do mineroduto. Os troncos, geralmente em processo de decomposição, também funcionam como verdadeiros ecossistemas, pois os organismos utilizam como abrigo, substrato para oviposição e desenvolvimento das larvas, ou até mesmo para a alimentação (Resende et al. 2021; Calvão et al. 2022a). Também são estruturas fixas importante para aumentar a heterogeneidade do canal, contribuindo para criar e manter micro-habitat específico para muitas espécies. Por fim, a maior evidência do represamento dos canais é a própria redução do fluxo da água que encontramos na região a montante.

O mineroduto permanece subterrado em quase toda sua extensão (Liu 2003). Portanto, os padrões ambientais encontrados, provavelmente, não ocorrem somente em função da passagem da estrutura propriamente dita, mas sim pela canalização do fluxo de água por de baixo das pontes e estradas de acesso ao mineroduto, que geralmente é realizado por meio de manilhas de concreto ou canaletas de madeira (Ferreira et al. 2023a), que na maioria das vezes é realizado sem calcular adequadamente o volume de água do igarapé (Conesa-García et al. 2013), e com isso, acabam criando um represamento ou fragmentação do canal. Além do mais, existe um intenso fluxo de maquinários e veículos por essas estradas de acesso, isso pode contribuir para a entrada de sedimentos dentro do igarapé, o que explicaria a maior quantidade de cascalho fino e grosso na região a jusante (Couceiro et al. 2010, 2011). O sistema de escoamento da água da estrada é direcionado para o canal dos riachos, e em consequência disso, os sedimentos são levados junto com a água das chuvas. Sendo assim, tudo indica que o principal efeito da presença do mineroduto e estradas é a conversão de sistemas lóticos em semi-lêntico, ocasionando a fragmentação de energia e o represamento da drenagem hídrica da região (Leitão et al. 2018; Brasil et al. 2021).

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 as zonas é a maior proporção florestal encontrada nos entornos dos igarapés dentro da zona do mineroduto (Ferreira et al. 2023a), dado a faixa de servidão de 30 metros estabelecido pelo próprio

empreendimento (Augusto 2012). Essa faixa é fiscalizada por órgãos privados e públicos, apresentando, de maneira geral, uma vegetação arbórea bem estabelecida, que pode estar funcionando como um cinturão de proteção contra o desmatamento e, conseqüentemente, alterações ambientais mais drásticas no trecho do riacho amostrada. Vale ressaltar também que, de acordo com a legislação ambiental vigente para a Amazônia brasileira (Lei nº 12.651/2012 - Código Florestal), dada a largura dos igarapés amostrados (<10 m), a extensão dessa faixa de vegetação mantida é o mínimo necessário para a proteção dos recursos hídricos da região, apesar de estudos na região apontarem que a legislação nem sempre é cumprida, existindo um grande passivo ambiental nas áreas de APPs (Nunes et al. 2019).

Outra possível explicação para a similaridade ambiental registrada entre a região acima e abaixo pode ser atribuída ao histórico de construção e manutenção do mineroduto e da estrada. O mineroduto iniciou suas atividades no ano de 2007, contemplando mais de uma década, com isso é provável que toda a área circundante ao mineroduto tenha passado por alterações, tornando difícil discernir quaisquer mudanças pontuais que foram causadas pela sua instalação. Portanto, recomendamos a realização de estudos considerando regiões mais distantes da estrutura como grupo de controle, buscando identificar possíveis novos padrões ambientais. Também é válido destacar que, como os riachos são sistemas conectados pelo canal e pela mata ciliar, as libélulas podem voar de uma área para outra e, portanto, áreas menos alteradas podem estar atuando como um poço de biodiversidade fornecendo indivíduos e espécies para as regiões mais afetadas (Alves-Martins et al. 2019), haja vista, que a abertura de dossel pelo mineroduto e da estrada é em média de 25 metros, e não representaria uma barreira para a dispersão das espécies.

Apesar dos impactos ambientais apontados, nenhuma métrica taxonômica da subordem Zygoptera foi alterada. Dado a notoriedade dessa subordem em responder as mudanças ambientais, o histórico de uso da terra pode ser uma possível explicação para esse padrão. O mineroduto percorre uma região de intensa atividade humana, que vem sendo usada desde o século passado, através da exploração da seringa, mineração e industrialização. Mais recentemente, os usos da terra mais comuns na região são a criação de animais e agricultura, principalmente a palma de dendê, que é uma das monoculturas mais presente na paisagem circundante a estrutura (Prates e Bacha 2011; Gurgel et al. 2017; Pinillos et al. 2021). A região está localizada no centro do “Arco do Desmatamento” da Amazônia, onde a vegetação sofre alta taxas de desmatamento (Gardner et al. 2013). Isso nos leva a acreditar que o extenso histórico de atividades humanas pode ter atuado, filtrando apenas as espécies mais tolerantes da comunidade original, resultando em uma baixa influência das alterações no ambiente observadas. Suportando essa hipótese, coletas realizadas na região a mais de 10 anos atrás (Oliveira-Junior et al. 2015, 2017) demonstra uma diferença na estrutura da comunidade de Odonata comparadas com os resultados dos estudos atuais (Ferreira et al. 2023), mostrando maior riqueza e abundância daquelas Zygoptera consideradas especialistas de habitat conservado e que não estão mais

presentes nas coletas atuais (e.g. *Heteragrion aurantiacum* e *Argia infumata*). Por outro lado, algumas espécies consideradas tolerantes a degradação ambiental, permanecem presentes, como as pertencentes ao gênero *Acanthagrion* (Calvão et al. 2018, 2022b).

Os Anisoptera se mostraram mais suscetíveis a colonizar a região a montante do mineroduto. Muitas espécies dessa subordem têm preferências por habitats lênticos (Ferreira et al. 2023). A redução no fluxo de água na zona a montante pode ter gerado um processo de sobreposição de espécies, permanecendo tanto aquelas de habitats lênticos quanto lóticos (Couto et al. 2023). Além do mais, na região a montante, constatamos maior presença de macrófitas, as quais diversas larvas de Anisoptera têm alta associação com suas raízes, uma vez que fornecem maior proteção contra predadores (Brito et al. 2021), servem de poleiro e substrato de oviposição para os adultos (Resende et al. 2021; Calvão et al. 2022a). Por outro lado, a composição de Anisoptera não foi alterada. A maioria das espécies da ordem Odonata apresenta alta capacidade de dispersão na fase adulta, principalmente para os exemplares pertencentes a subordem Anisoptera, que possuem, inclusive, espécies com hábitos migratórios intercontinentais (Corbet 1999). Portanto, mesmo que haja condições de vida ideais em apenas uma das zonas amostradas, era esperado que esses organismos pudessem se locomover suficientemente ao longo do igarapé, podendo sair para forragear e reproduzir e, posteriormente, retornar ao seu território original, sendo o mineroduto e estradas, barreiras físicas incapazes de segregar a composição de espécies.

Conclusão

A presença das estradas de acesso ao mineroduto reduz o fluxo aquático, gerando um efeito de represamento na zona que antecede a passagem da estrutura. Isso leva a mudanças nas características locais, como uma maior proporção de macrófitas e material lenhoso na zona a montante, além de uma maior quantidade de cascalho no leito do riacho e uma maior velocidade de fluxo de água após a passagem do mineroduto e estradas. Essas mudanças ambientais apresentaram impactos apenas na abundância e riqueza da comunidade de Anisoptera, evidenciando que as subordens respondem de maneiras diferentes aos impactos estudados. Acreditamos que o longo histórico de uso e cobertura da região possa ter filtrado as espécies especialistas de Zygoptera, permanecendo apenas as mais tolerantes, que sofrem menos com os impactos observados. A tendência de colonização de Anisoptera na zona a montante pode ser associado às preferências dessa subordem por ambientes lênticos, geralmente dominado por macrófitas. É importante notar que os padrões ambientais encontrados não são exclusivamente devido à passagem direta do mineroduto, mas também são influenciados pela canalização do fluxo de água por meio de pontes e estradas de acesso ao mineroduto. No entanto, as áreas adjacentes ao mineroduto que estão dentro da faixa de servidão apresentam uma vegetação arbórea bem estabelecida, o que pode estar funcionando como

um cinturão de proteção contra alterações ambientais mais drásticas. Além do mais, o mineroduto foi instalado a uma década atrás, portanto, os efeitos podem não ser mais mensuráveis. Recomendamos a realização de estudos adicionais que considerem regiões mais distantes do mineroduto como grupo de controle, a fim de identificar possíveis novos padrões ambientais. Sugerimos realizar um acompanhamento temporal para verificar se o padrão detectado será mantido ou mudará ao longo do tempo. Além do mais, recomendamos cálculos de dimensionamento dos bueiros mais adequados, considerando diferentes estações do ano, bem como uma manutenção mais frequente da situação dos canais.

Agradecimentos

We are grateful to the Hydro Paragominas Company for supporting the research project “Aquatic biota monitoring and assessment upstream and downstream of bauxite pipeline Norsk Hydro Paragominas - Barcarena (Pará, Brazil) – an instream and riverscape approach” (process 20/19) through the Biodiversity Research Consortium Brazil-Norway (BRC) and Hydro Alunorte for supporting the research project “Avaliação de biota aquática e atributos funcionais de plantas das principais microbacias de Barcarena”, for providing funding and logistical support, as well as for scholarship grants to authors. We thank CNPq for their research productivity scholarships to LJ (process 304710/2019-9) and LFAM (process 302406/2019-0). We also acknowledge for helping us with the biological sampling. This paper is number 00XX in the publication series of the BRC.

Referências Bibliográficas

Abal. 2017. *Bauxita no brasil*. São Paulo, 60p.

Augusto, A.L.C. 2012. *Mineroduto de Bauxita da Mineracao Vera Cruz S/A - Paragominas/PA*. Paragominas, 10p.

Brasil, L.S.; Ferreira, V.R.S.; Resende, B.O. de; Juen, L.; Batista, J.D.; Castro, L.A. de; et al. 2021. Dams Change Beta Diversity of Aquatic Communities in the Veredas of the Brazilian Cerrado. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9.

Brasil, L.S.; Giehl, N.F.D.S.; Almeida, S.M.; Valadão, M.B.X.; dos Santos, J.O.; Pinto, N.S.; et al. 2014. Does the damming of streams in the southern Amazon basin affect dragonfly and damselfly assemblages (Odonata: Insecta)? A preliminary study. *International Journal of Odonatology* 17: 187–197. <https://doi.org/10.1080/13887890.2014.963712>

Brejão, G.L.; Teresa, F.B.; Gerhard, P. 2020. When roads cross streams: Fish assemblage responses to fluvial fragmentation in lowland Amazonian streams. *Neotropical Ichthyology* 18: 1–16.

Brito, J.S.; Michelan, T.S.; Juen, L. 2021. Aquatic macrophytes are important substrates for Libellulidae (Odonata) larvae and adults. *Limnology* 22: 139–149.

Calvão, L.B.; Juen, L.; de Oliveira Junior, J.M.B.; Batista, J.D.; De Marco Júnior, P. 2018. Land use

- modifies Odonata diversity in streams of the Brazilian Cerrado. *Journal of Insect Conservation* 22: 675–685.
- Calvão, L.B.; Siqueira, T.; Faria, A.P.J.; Paiva, C.K.S.; Juen, L. 2022a. Correlates of Odonata species composition in Amazonian streams depend on dissimilarity coefficient and oviposition strategy. *Ecological Entomology* 47: 998–1010.
- Calvão, L.B.; Brito, J. da S.; Ferreira, D.; Cunha, E.J.; Oliveira-Junior, J.M.B.; Juen, L. 2022b. Effects of the loss of forest cover on odonate communities in eastern Amazonia. *Journal of Insect Conservation*: 205–218.
- Conesa-García, C.; García-Lorenzo, R. 2013. Evaluating the effectiveness of road-crossing drainage culverts in ephemeral streams. *Hydrological Processes* 27: 1781–1796.
- Couceiro, S.R.M.; Hamada, N.; Forsberg, B.R.; Padovesi-Fonseca, C. 2010. Effects of anthropogenic silt on aquatic macroinvertebrates and abiotic variables in streams in the Brazilian Amazon. *Journal of Soils and Sediments* 10: 89–103.
- Couceiro, S.R.M.; Hamada, N.; Forsberg, B.R.; Padovesi-Fonseca, C. 2011. Trophic structure of macroinvertebrates in Amazonian streams impacted by anthropogenic siltation. *Austral Ecology* 36: 628–637.
- Couto, T.B.A.; Rezende, R.S.; de Aquino, P.P.U.; Costa-Pereira, R.; de Campos, G.L.; Occhi, T.V.T.; et al. 2023. Effects of small hydropower dams on macroinvertebrate and fish assemblages in southern Brazil. *Freshwater Biology* 68: 956–971.
- Cruz, G.M.; Faria, A.P.J.; Juen, L. 2022. Patterns and metacommunity structure of aquatic insects (Trichoptera) in Amazonian streams depend on the environmental conditions. *Hydrobiologia* 849: 2831–2843.
- Faria, A.P.J.; Ligeiro, R.; Lenize, .; Calvão, B.; Giam, X.; Leibold, M.A.; et al. 2023. Land use types determine environmental heterogeneity and aquatic insect diversity in Amazonian streams. *Hydrobiologia* 2023: 1–18.
- Garrison, R.W.; von Ellenrieder, N.; Louton, J.A. 2006. *Dragonfly Genera of the New World: an illustrated and annotated key to the Anisoptera*. The Johns Hopkins University Press, Estados Unidos, 368p.
- Garrison, R.W.; von Ellenrieder, N.; Louton, J.A. 2010. *Damselfly Genera of the New World*. The Johns Hopkins University Press, .
- Goosem, M. 2007. Fragmentation impacts caused by roads through rainforests. *Current Science* 93: 1587–1595.
- Gurgel, R.S.; Farias, P.R.S.; De Oliveira, S.N. 2017. Land use and land cover mapping and identification of misuse in the permanent preservation areas in the Tailândia Municipality - PA. *Semina: Ciências Agrárias* 38: 1145–1160.
- Juen, L.; Cunha, E.J.; Carvalho, F.G.; Ferreira, M.C.; Begot, T.O.; Andrade, A.L.; et al. 2016. Effects of oil palm plantations on the habitat structure and biota of streams in Eastern Amazon. *RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS*.
- Leitão, R.P.; Zuanon, J.; Mouillot, D.; Leal, C.G.; Hughes, R.M.; Kaufmann, P.R.; et al. 2018. Disentangling the pathways of land use impacts on the functional structure of fish assemblages in Amazon streams. *Ecography* 41: 219–232.

- Lencioni, F.A.A. 2005. *Damselflies of Brazil*. 1st ed. All Print Editora, São Paulo, 324p.
- Lencioni, F.A.A. 2017. *Damselflies of Brazil: an illustrated identification guide Southeast Region*. .
- Liu, H. 2003. *Pipeline Engineering*. CRC Press Company, London, 1–421p.
- De Marco, P.; Batista, J.D.; Cabette, H.S.R. 2015. Community assembly of adult odonates in tropical streams: An ecophysiological hypothesis. *PLoS ONE* 10.
- Mendes, T.P.; Amado, L.L.; Ribeiro, R.A.B.; Juen, L. 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>
- Monteiro-Júnior, C.S.; Couceiro, S.R.M.; Hamada, N.; Juen, L. 2013. Effect of vegetation removal for road building on richness and composition of Odonata communities in Amazonia, Brazil. *International Journal of Odonatology* 16: 135–144.
- Nessimian, J.L.; Venticinque, E.M.; Zuanon, J.; De Marco, P.; Gordo, M.; Fidelis, L.; et al. 2008. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia* 614: 117–131.
- Nunes, S.; Barlow, J.; Gardner, T.; Sales, M.; Monteiro, D.; Souza, C. 2019. Uncertainties in assessing the extent and legal compliance status of riparian forests in the eastern Brazilian Amazon. *Land Use Policy* 82: 37–47.
- Oliveira-Junior, J.M.B.; Juen, L. 2019. The Zygoptera/Anisoptera Ratio (Insecta: Odonata): a New Tool for Habitat Alterations Assessment in Amazonian Streams. *Neotropical Entomology* 48: 552–560.
- Oliveira, J.M.B.; Shimano, Y.; Gardner, T.A.; Hughes, R.M.; De Marco, P.; Juen, L. 2015. Neotropical dragonflies (Insecta: Odonata) as indicators of ecological condition of small streams in the eastern Amazon. *Austral Ecology* 40: 733–744. <https://doi.org/10.1111/aec.12242>
- U.S.Geological Survey. 2022. Mineral Commodity Summaries 2022. U.S.Geological Survey: 202.
- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>
- Park, D.; Sullivan, M.; Bayne, E.; Scrimgeour, G. 2008. Landscape-level stream fragmentation caused by hanging culverts along roads in Alberta’s boreal forest. <https://doi.org/10.1139/X07-179> 38: 566–575.
- Pinillos, D.; Pocard-Chapuis, R.; Bianchi, F.J.J.A.; Corbeels, M.; Timler, C.J.; Tittonell, P.; et al. 2021. Landholders’ perceptions on legal reserves and agricultural intensification: Diversity and implications for forest conservation in the eastern Brazilian Amazon. *Forest Policy and Economics* 129: 102504.
- Prates, R.C.; Bacha, C.J.C. 2011. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. *Economia e Sociedade* 20: 601–636.
- Resende, B.O.; Ferreira, V.R.S.; Brasil, L.S.; Calvão, L.B.; Mendes, T.P.; de Carvalho, F.G.; et al. 2021. Impact of environmental changes on the behavioral diversity of the Odonata (Insecta) in the Amazon. *Scientific Reports* 2021 11:1 11: 1–12.
- Strahler. 1957. Quantitative classification of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*.

- Suhling, F.; Sahlén, G.; Gorb, S.; Kalkman, V.J.; Dijkstra, K.B.; van Tol, J. 2015. Order Odonata. In: Thorp, J.; Rogers, D.C. (Eds.), *Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates*, Vol. 1, 4th ed. Academic Press, p.893–932.
- Wellman, J.C.; Combs, D.L.; Cook, S.B. 2011. Long-Term Impacts of Bridge and Culvert Construction or Replacement on Fish Communities and Sediment Characteristics of Streams. [Http://dx.doi.org/10.1080/02705060.2000.9663750](http://dx.doi.org/10.1080/02705060.2000.9663750) 15: 317–328.
- Augusto, A.L.C. 2012. *Mineroduto de Bauxita da Mineracao Vera Cruz S/A - Paragominas/PA*. Paragominas, 10p.
- Brasil, L.S.; Ferreira, V.R.S.; Resende, B.O. de; Juen, L.; Batista, J.D.; Castro, L.A. de; et al. 2021. Dams Change Beta Diversity of Aquatic Communities in the Veredas of the Brazilian Cerrado. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9.
- Brejão, G.L.; Teresa, F.B.; Gerhard, P. 2020. When roads cross streams: Fish assemblage responses to fluvial fragmentation in lowland Amazonian streams. *Neotropical Ichthyology* 18: 1–16.
- Brito, J.S.; Michelan, T.S.; Juen, L. 2021. Aquatic macrophytes are important substrates for Libellulidae (Odonata) larvae and adults. *Limnology* 22: 139–149.
- Calvão, L.B.; Juen, L.; de Oliveira Junior, J.M.B.; Batista, J.D.; De Marco Júnior, P. 2018. Land use modifies Odonata diversity in streams of the Brazilian Cerrado. *Journal of Insect Conservation* 22: 675–685.
- Calvão, L.B.; Siqueira, T.; Faria, A.P.J.; Paiva, C.K.S.; Juen, L. 2022a. Correlates of Odonata species composition in Amazonian streams depend on dissimilarity coefficient and oviposition strategy. *Ecological Entomology* 47: 998–1010.
- Calvão, L.B.; Brito, J. da S.; Ferreira, D.; Cunha, E.J.; Oliveira-Junior, J.M.B.; Juen, L. 2022b. Effects of the loss of forest cover on odonate communities in eastern Amazonia. *Journal of Insect Conservation*: 205–218.
- Conesa-García, C.; García-Lorenzo, R. 2013. Evaluating the effectiveness of road-crossing drainage culverts in ephemeral streams. *Hydrological Processes* 27: 1781–1796.
- Couceiro, S.R.M.; Hamada, N.; Forsberg, B.R.; Padovesi-Fonseca, C. 2010. Effects of anthropogenic silt on aquatic macroinvertebrates and abiotic variables in streams in the Brazilian Amazon. *Journal of Soils and Sediments* 10: 89–103.
- Couceiro, S.R.M.; Hamada, N.; Forsberg, B.R.; Padovesi-Fonseca, C. 2011. Trophic structure of macroinvertebrates in Amazonian streams impacted by anthropogenic siltation. *Austral Ecology* 36: 628–637.
- Couto, T.B.A.; Rezende, R.S.; de Aquino, P.P.U.; Costa-Pereira, R.; de Campos, G.L.; Occhi, T.V.T.; et al. 2023. Effects of small hydropower dams on macroinvertebrate and fish assemblages in southern Brazil. *Freshwater Biology* 68: 956–971.
- Cruz, G.M.; Faria, A.P.J.; Juen, L. 2022. Patterns and metacommunity structure of aquatic insects (Trichoptera) in Amazonian streams depend on the environmental conditions. *Hydrobiologia* 849: 2831–2843.
- Faria, A.P.J.; Ligeiro, R.; Lenize, ; Calvão, B.; Giam, X.; Leibold, M.A.; et al. 2023. Land use types determine environmental heterogeneity and aquatic insect diversity in Amazonian streams.

- Garrison, R.W.; von Ellenrieder, N.; Louton, J.A. 2006. *Dragonfly Genera of the New World: an illustrated and annotated key to the Anisoptera*. The Johns Hopkins University Press, Estados Unidos, 368p.
- Garrison, R.W.; von Ellenrieder, N.; Louton, J.A. 2010. *Damselfly Genera of the New World*. The Johns Hopkins University Press, .
- Goosem, M. 2007. Fragmentation impacts caused by roads through rainforests. *Current Science* 93: 1587–1595.
- Gurgel, R.S.; Farias, P.R.S.; De Oliveira, S.N. 2017. Land use and land cover mapping and identification of misuse in the permanent preservation areas in the Tailândia Municipality - PA. *Semina: Ciências Agrárias* 38: 1145–1160.
- Juen, L.; Cunha, E.J.; Carvalho, F.G.; Ferreira, M.C.; Begot, T.O.; Andrade, A.L.; et al. 2016. Effects of oil palm plantations on the habitat structure and biota of streams in Eastern Amazon. *RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS*.
- Leitão, R.P.; Zuanon, J.; Mouillot, D.; Leal, C.G.; Hughes, R.M.; Kaufmann, P.R.; et al. 2018. Disentangling the pathways of land use impacts on the functional structure of fish assemblages in Amazon streams. *Ecography* 41: 219–232.
- Lencioni, F.A.A. 2005. *Damselflies of Brazil*. 1st ed. All Print Editora, São Paulo, 324p.
- Lencioni, F.A.A. 2017. *Damselflies of Brazil: an illustrated identification guide Southeast Region*. .
- Liu, H. 2003. *Pipeline Engineering*. CRC Press Company, London, 1–421p.
- De Marco, P.; Batista, J.D.; Cabette, H.S.R. 2015. Community assembly of adult odonates in tropical streams: An ecophysiological hypothesis. *PLoS ONE* 10.
- Monteiro-Júnior, C.S.; Couceiro, S.R.M.; Hamada, N.; Juen, L. 2013. Effect of vegetation removal for road building on richness and composition of Odonata communities in Amazonia, Brazil. *International Journal of Odonatology* 16: 135–144.
- Nessimian, J.L.; Venticinque, E.M.; Zuanon, J.; De Marco, P.; Gordo, M.; Fidelis, L.; et al. 2008. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia* 614: 117–131.
- Nunes, S.; Barlow, J.; Gardner, T.; Sales, M.; Monteiro, D.; Souza, C. 2019. Uncertainties in assessing the extent and legal compliance status of riparian forests in the eastern Brazilian Amazon. *Land Use Policy* 82: 37–47.
- Oliveira-Junior, J.M.B.; Juen, L. 2019. The Zygoptera/Anisoptera Ratio (Insecta: Odonata): a New Tool for Habitat Alterations Assessment in Amazonian Streams. *Neotropical Entomology* 48: 552–560.
- Park, D.; Sullivan, M.; Bayne, E.; Scrimgeour, G. 2008. Landscape-level stream fragmentation caused by hanging culverts along roads in Alberta's boreal forest. <https://doi.org/10.1139/X07-179> 38: 566–575.
- Pinillos, D.; Pocard-Chapuis, R.; Bianchi, F.J.J.A.; Corbeels, M.; Timler, C.J.; Tittonell, P.; et al. 2021. Landholders' perceptions on legal reserves and agricultural intensification: Diversity and implications for forest conservation in the eastern Brazilian Amazon. *Forest Policy and*

Economics 129: 102504.

Prates, R.C.; Bacha, C.J.C. 2011. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. *Economia e Sociedade* 20: 601–636.

Resende, B.O.; Ferreira, V.R.S.; Brasil, L.S.; Calvão, L.B.; Mendes, T.P.; de Carvalho, F.G.; et al. 2021. Impact of environmental changes on the behavioral diversity of the Odonata (Insecta) in the Amazon. *Scientific Reports* 2021 11:1 11: 1–12.

Strahler. 1957. Quantitative classification of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*.

Suhling, F.; Sahlén, G.; Gorb, S.; Kalkman, V.J.; Dijkstra, K.B.; van Tol, J. 2015. Order Odonata. In: Thorp, J.; Rogers, D.C. (Eds.), *Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates*, Vol. 1, 4th ed. Academic Press, p.893–932.

Wellman, J.C.; Combs, D.L.; Cook, S.B. 2011. Long-Term Impacts of Bridge and Culvert Construction or Replacement on Fish Communities and Sediment Characteristics of Streams. [Http://dx.doi.org/10.1080/02705060.2000.9663750](http://dx.doi.org/10.1080/02705060.2000.9663750) 15: 317–328.

Material Suplementar

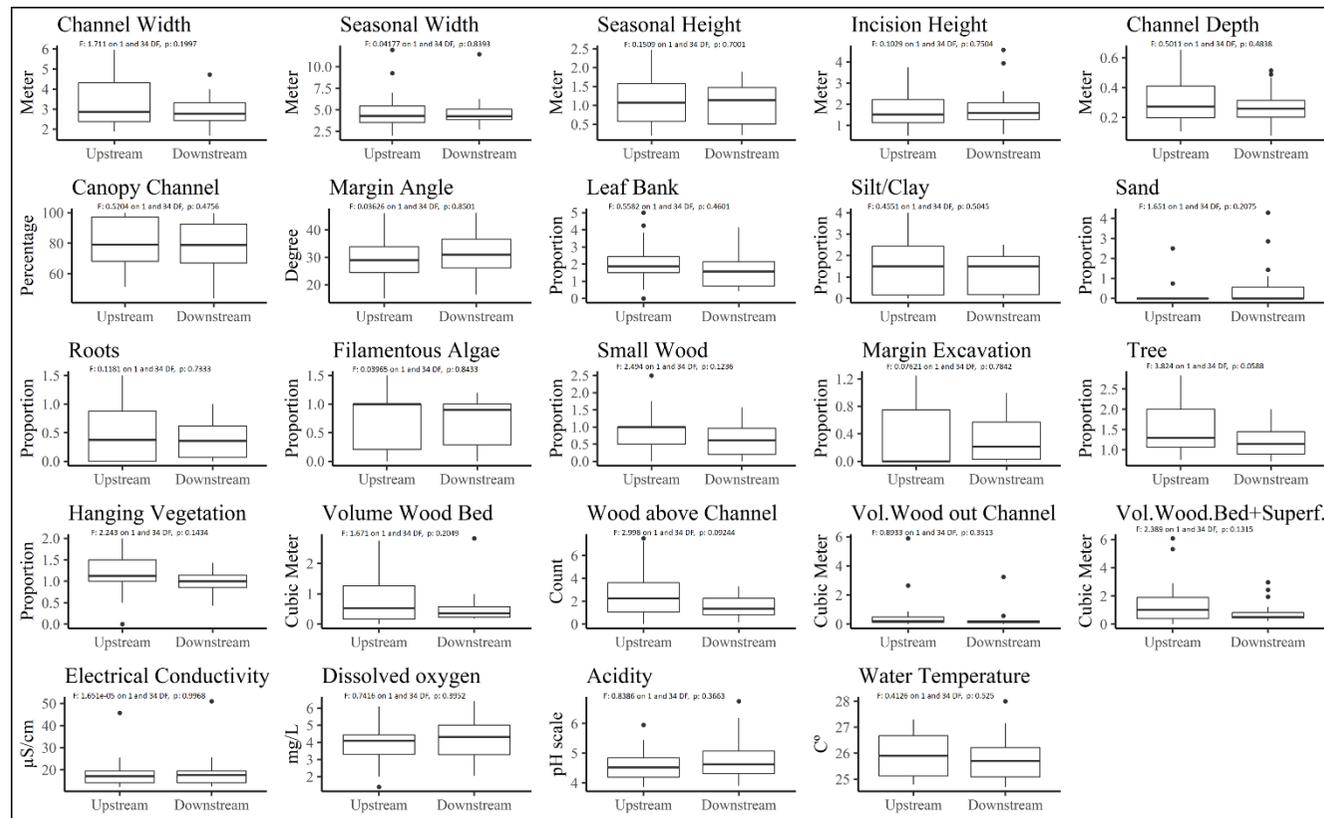


Figura suplementar 1 – Métricas ambientais que não foram estatisticamente diferentes entre os tratamentos a montante e a jusante da passagem de um mineroduto.

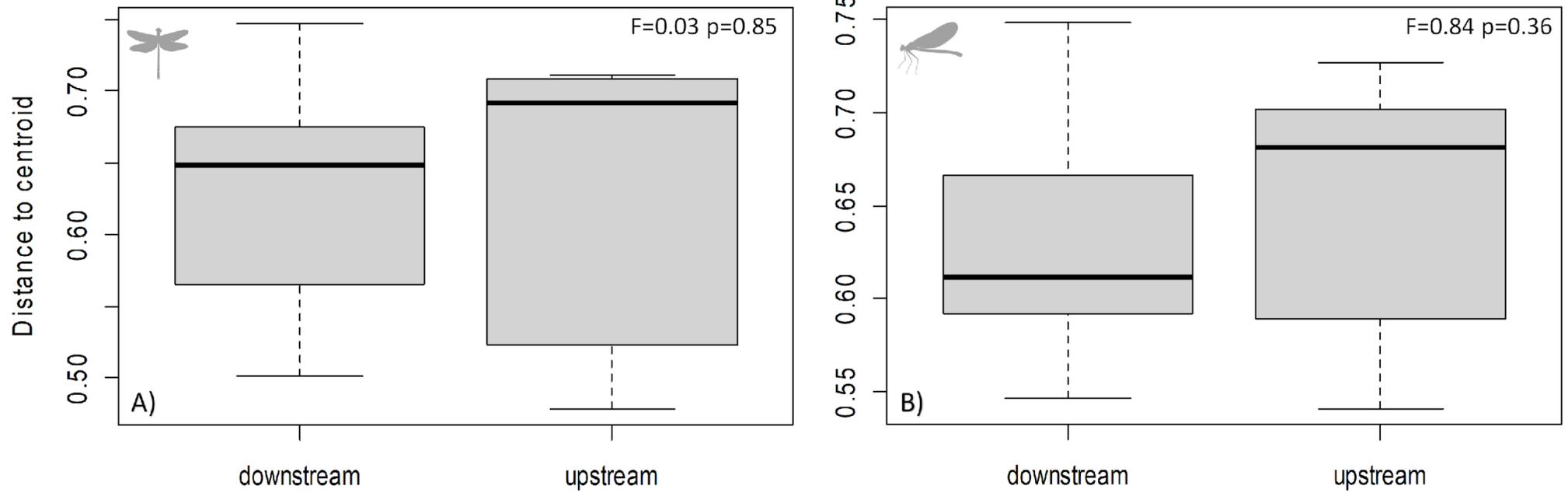


Figura Suplementar 2 – Um box plot apontando a distância das médias ao centróide. Testamos se dispersão nas composições de espécies entre os tratamentos são diferentes, no entanto, nenhuma das subordens foram significativas.

Tabela suplementar 1 – 32 métricas ambientais avaliadas na zona a montante e a jusante da passagem de um mineroduto e estrada.

	Site	Width	Seasonal Width	Seasonal Height	Incision Height	Depth	Capacity	Angle Bank	Leaf Bank	Silt / Clay	Sand	Rotors	Fine Gravel	Macrophytes	Coarse Gravel	Filamentous Algae	Large Wood	Small Wood	Margin Excavation	Tree	Hanging Vegetation	N wood bed (C1W)	Vol bed 1 (V1W)	N wood above 1 (c1d)	Vol out 1 (V1F)	N wood bed + sup (C1T)	Vol wood bed + sup (V1T)	pH	Cond. Elet.	Temperature	Fauna	Slope
Upstream	P1	5.96	6.99	2.19	2.30	0.65	67.28	41.63	1.50	2.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.25	1.00	2.25	2.50	0.00	2.5	2.00	11.50	2.67	7.50	2.65	19.00	5.32	25.5	5.6	24.9	60.00	40.00
	P10	3.09	4.26	1.00	1.20	0.20	95.04	22.75	1.50	3.25	0.25	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.50	1.00	1.00	5.0	0.50	6.00	0.72	4.25	0.32	10.25	1.03	19.4	0.9	71.67	28.33	
	P12	2.03	3.11	1.21	1.45	0.24	96.51	32.13	2.00	2.25	0.50	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	1.25	1.00	0.50	2.5	1.50	3.25	0.19	3.25	5.89	6.50	6.08	18.1	0.9	63.33	36.67	
	P13	2.02	2.75	1.01	1.60	0.17	80.88	27.88	2.50	1.75	0.00	0.00	0.00	1.25	0.75	1.00	0.50	0.50	0.25	2.5	1.00	0.50	0.03	0.00	0.00	0.50	0.03	19.4	5.8	0.00	0.00	
	P14	4.50	4.84	2.47	2.68	0.52	99.08	39.50	2.00	2.50	0.50	0.00	0.00	1.50	0.00	1.00	0.50	0.75	1.00	0.0	1.25	11.25	1.33	3.75	0.46	15.00	1.80	15.6	8.2	43.33	56.67	
	P16	2.42	3.41	0.86	1.25	0.15	62.68	24.13	0.50	4.00	0.50	0.00	0.00	1.25	0.00	1.00	0.75	0.50	0.00	0.0	1.5	1.00	6.50	0.51	2.00	0.12	8.50	0.63	16.7	2.9	10.00	90.00

		<i>Orthemis biolleyi</i>	Calvert, 1906	Least Concern (LC)	LC	AC, AM, MA, MT, PA, RO	X	1	1	
		<i>Orthemis discolor</i>	Burmeister, 1839	Least Concern (LC)	LC	AC, AM, AP, BA, CE, ES, GO, MA, MG, MS, MT, PA, PB, PE, PI, PR, RJ, RO, RR, RS, SC, SE, SP	X	1	5	
		<i>Perithemis lais</i>	Perty, 1834	Least Concern (LC)	LC	AM, AP, BA, ES, GO, MA, MG, MS, MT, PA, PB, PE, PI, PR, RO, RR, SE, SP	X	1	1	
		<i>Uracis imbuta</i>	Burmeister, 1839	Least Concern (LC)	LC	AC, AL, AM, AP, BA, CE, DF, GO, MA, MT, PA, PB, PE, PI, PR, RO, RR, SE, SP	X	1	4	
		<i>Zenithoptera lanei</i>	Santos, 1941	Least Concern (LC)	LC	AC, AM, BA, DF, ES, GO, MA, MG, MS, MT, PA, PE, RJ, RO, RS, SC, SP, TO	X	2	5	
	Aeshnidae	<i>Gynacantha mexicana</i>	Selys, 1868	Least Concern (LC)	LC	AM, AP, RJ, RR	X	0	1	
		<i>Acanthagrion adustum</i>	Williamson, 1916	Least Concern (LC)	LC	AM, AP, MS, PA, RO, RR	X	0	2	
		<i>Acanthagrion ascendens</i>	Calvert, 1909	Least Concern (LC)	LC	AC, AP, DF, GO, MG, MS, MT, PA, PR, RO, RS, SC, SP	X	0	2	
		<i>Acanthagrion kennedii</i>	Williamson, 1916	Least Concern (LC)	LC	AP, MA, PA	X	1	0	
		<i>Acanthagrion sp.1</i>	-	-	-	-	-	0	1	
		<i>Aeolagrion dorsale</i>	Selys, 1876	Least Concern (LC)	LC	MS, PA, RO	X	1	0	
		<i>Argia collata</i>	Selys, 1865	Least Concern (LC)	LC	AC, AM, MA, MT, PA	X	4	9	
		<i>Argia indicatrix</i>	Calvert, 1902	Least Concern (LC)	LC	AC, AM, MA, MT, PA, RO, RR	X	3	2	
		<i>Argia oculata</i>	Hagen in Selys, 1865	Least Concern (LC)	LC	AC, AM, MS, MT, PA, RO	X	0	2	
		<i>Argia tinctipennis</i>	Selys, 1865	Least Concern (LC)	LC	AM, CE, GO, MA, MG, MS, MT, PA, RO, RR	X	2	3	
		<i>Epipleoneura kaxuriana</i>	Machado, 1985	Least Concern (LC)	LC	AM, AP, PA, RO	X	4	2	
		<i>Epipleoneura metallica</i>	Rácenis, 1955	Least Concern (LC)	LC	AM, BA, DF, GO, MA, MG, MS, MT, PA, PE, RO, SE, TO	X	8	22	
		<i>Epipleoneura susanae</i>	Pessacq, 2014	Data Deficient (DD)	DD	MT		New Occurrence	3	6
		<i>Metaleptobasis diceras</i>	Selys, 1877	Least Concern (LC)	LC	BA, GO, MT, PA, RO, RR, TO	X	0	1	
		<i>Neoneura bilinearis</i>	Selys, 1860	Least Concern (LC)	LC	AM, AP, ES, MG, MS, MT, PA, RO, RR, SP	X	0	1	
		<i>Neoneura luzmarina</i>	De Marmels, 1989	Least Concern (LC)	LC	AM, MA, MT, PA, RR	X	7	3	
Zygoptera	Coenagrionidae									

	<i>Phasmoneura exigua</i>	Selys, 1886	Least Concern (LC)	LC	AM, AP, MT, PA	X	0	1
	<i>Phoenicagrion flammeum</i>	Selys, 1876	Least Concern (LC)	LC	AC, AM, AP, MT, PA, PB, RO, RR	X	1	0
	<i>Protoneura tenuis</i>	Selys, 1860	Least Concern (LC)	LC	AC, AL, AM, DF, GO, MA, MG, MS, MT, PA, RO, RR	X	2	4
	<i>Psaironeura tenuissima</i>	Selys, 1886	Least Concern (LC)	LC	AM, AP, MS, PA, RO	X	2	1
Polythoridae	<i>Chalcopteryx rutilans</i>	Rambur, 1842	Least Concern (LC)	LC	AC, AM, GO, MT, PA, RO	X	3	13
Dicteriadidae	<i>Dictérias atrosanguinea</i>	Selys, 1853	Data Deficient (DD)	LC	AM, PA	X	1	4
	<i>Hetaerina laesa</i>	Hagen in Selys, 1853	Least Concern (LC)	LC	AC, AM, AP, GO, MA, MT, PA, RO, RR	X	2	5
	<i>Hetaerina sanguinea</i>	Selys, 1853	Least Concern (LC)	LC	AM, MA, PA, RO, RR	X	0	3
Calopterygidae	<i>Hetaerina westfalli</i>	Rácenis, 1968	Least Concern (LC)	LC	AM, BA, GO, MT, PA, RO, RR	X	0	1
	<i>Mnesarete aenea</i>	Selys, 1853	Least Concern (LC)	LC	AC, AM, MT, PA, RO, RR	X	9	7
	<i>Mnesarete williamsoni</i>	Garrison, 2006	Least Concern (LC)	LC	MT, PA	X	5	16
Heteragrionidae	<i>Heteragrion silvarum</i>	Sjöstedt, 1918	Least Concern (LC)	LC	AM, PA, RO	X	2	2
	<i>Oxystigma petiolatum</i>	Selys, 1862	Least Concern (LC)	LC	AM, AP, MA, PA, RO, RR	X	1	1
Perilestidae	<i>Perilestes kahli</i>	Williamson & Williamson, 1924	Least Concern (LC)	LC	AC, PA, RO, RR	X	0	1

Tabela Suplementar 3 – Código identificador de cada um dos igarapés amostrados, contendo também a sua localização em graus decimais, bem como, um Índice de Integridade Ambiental. Além do mais, é disponibilizado a riqueza e abundância das espécies das duas subordens de Odonata amostradas em 18 igarapés cortados por uma estrada e mineroduto na Amazônia.

Site	Latitude	Longitude	HII	Treatment	Anisoptera Richness	Zygoptera Richness	Anisoptera Abundance	Zygoptera Abundance
PM1	-3.2319	-47.743	0.4	Downstream		0	3	0
				Upstream		1	4	1
PM10	-2.941	-47.854	0.5	Downstream		3	0	4
				Upstream		0	1	0

PM1 2	-2.8669	-47.926	0.4 6	Downstream Upstream	2 0	1 1	2 0	2 2
PM1 3	-2.8271	-47.937	0.5 6	Downstream Upstream	3 0	4 4	3 0	6 5
PM1 4	-2.7723	-47.954	0.6	Downstream Upstream	2 0	2 3	2 0	2 5
PM1 6	-2.6212	-48.075	0.4 4	Downstream Upstream	1 1	2 3	1 1	2 5
PM2 0	-2.508	-48.092	0.5 1	Downstream Upstream	0 0	3 4	0 0	5 11
PM2 1	-2.2391	-48.239	0.3 9	Downstream Upstream	3 1	5 0	5 1	6 0
PM2 4	-1.9146	-48.559	0.5 4	Downstream Upstream	4 2	2 2	5 2	2 3
PM2 5	-1.8637	-48.634	0.5 3	Downstream Upstream	2 0	6 1	2 0	8 1
PM2 6	-1.9749	-48.545	0.4 6	Downstream Upstream	1 1	7 7	1 2	16 11
PM2 7	-2.0327	-48.507	0.4 6	Downstream Upstream	1 0	3 5	1 0	6 7
PM3 1	-1.7267	-48.723	0.5 7	Downstream Upstream	3 0	7 1	5 0	9 1
PM3 2	-1.7076	-48.723	0.4 8	Downstream Upstream	0 0	4 1	0 0	5 1
PM3 3	-1.6373	-48.723	0.5 1	Downstream Upstream	1 0	3 1	1 0	4 1
PM3 5	-1.6156	-48.735	0.4 3	Downstream Upstream	1 5	4 1	1 8	7 1
PM3 6	-1.5712	-48.722	0.3 3	Downstream Upstream	4 5	4 1	9 7	22 1
PM4	-3.1813	-47.757	0.3 2	Downstream Upstream	0 1	2 1	0 1	10 1

Tabela Suplementar 4 – Scores referentes a uma análise PCoA, realiza a partir da composição de espécies das subordens de Odonata amostradas em uma região cortada por um mineroduto.

Site	Category	Anisoptera		Zygoptera	
		PCoA_1	PCoA_2	PCoA_1	PCoA_2
PM1	Downstream	0.4697110	5	0.17609	0.20807
PM10	Downstream	-0.3997579	-0.2317	-0.0333	-0.2195
PM12	Downstream	-0.3106216	0.45671	-0.4139	0.3067
PM13	Downstream	-0.3733119	0.3645	-0.1968	-0.4615
PM14	Downstream	-0.3568564	0.55551	0.02183	-0.1457
PM16	Downstream	-0.3233042	0.49713	-0.3612	0.23446
PM20	Downstream	0.4697110	5	-0.0985	0.0684
PM21	Downstream	-0.2829484	-0.0466	-0.2019	0.38802
PM24	Downstream	-0.3326126	-0.4271	0.04945	-0.3267
PM25	Downstream	-0.3043696	-0.019	-0.0527	0.36458
PM26	Downstream	-0.235649	-0.2074	0.04019	0.22116
PM27	Downstream	-0.2632055	0.23396	0.35178	-0.0105
PM31	Downstream	-0.3771976	0.31574	0.41043	-0.058

PM32	Downstream	0.4697110			
	m	5	0.00871	0.4433	0.09449
PM33	Downstream	-0.2169506	-0.0964	0.11862	0.10131
	m				
PM35	Downstream	-0.235649	-0.2074	-0.2168	0.0679
	m				
PM36	Downstream	-0.3391711	-0.2969	-0.139	-0.1568
	m	0.4697110			
PM4	Downstream	5	0.00871	0.251	-0.02
PM1	Upstream	-0.2194506	-0.0417	0.34181	0.24512
		0.4697110			
PM10	Upstream	5	0.00871	0.00713	-0.0996
		0.4697110			
PM12	Upstream	5	0.00871	-0.3206	-0.1854
		0.4697110			
PM13	Upstream	5	0.00871	-0.0691	-0.4656
		0.4697110			
PM14	Upstream	5	0.00871	0.31465	0.24861
PM16	Upstream	-0.2943479	-0.0033	-0.4446	0.26965
		0.4697110			
PM20	Upstream	5	0.00871	-0.1592	0.04192
PM21	Upstream	-0.2071997	-0.0452	-0.0333	-0.2195
PM24	Upstream	-0.2227953	-0.125	-0.2512	-0.3785
		0.4697110			
PM25	Upstream	5	0.00871	0.00524	-0.0967
PM26	Upstream	-0.3200062	-0.3936	0.06814	0.15061
		0.4697110			
PM27	Upstream	5	0.00871	0.29795	0.10108
		0.4697110			
PM31	Upstream	5	0.00871	-0.0182	-0.3249
		0.4697110			
PM32	Upstream	5	0.00871	-0.3881	0.26279
		0.4697110			
PM33	Upstream	5	0.00871	0.23954	-0.0276
PM35	Upstream	-0.3762782	0.0645	0.05031	-0.019

PM36	Upstream	-0.2864368	-0.117	-0.0224	-0.1386
PM4	Upstream	-0.2978345	-0.3516	0.23333	-0.021

4º Capítulo: USO DA TERRA NA AMAZÔNIA E SUAS IMPLICAÇÕES PARA A BIODIVERSIDADE DE ODONATA

Resumo

A Amazônia, apesar de sua grande biodiversidade e importância para os serviços ecossistêmicos e regulação climática, vem sendo alterada por atividades antrópicas, com uma grande intensificação nos últimos anos. Essas alterações e pressões variam de acordo com a região, aumentando drasticamente com a facilidade de acesso e de logística na região, que é justamente o caso registrado no centro de endemismo de Belém, a região mais degradada da Amazônia. Um padrão recorrente é o efeito negativo das atividades antrópicas, reduzindo a biodiversidade da área. No entanto, avaliações prévias na maioria das vezes contemplam uma ou poucas métricas de diversidade, sendo as métricas taxonômicas, como a abundância e riqueza de espécies, as mais comuns. Em virtude desse cenário, o nosso objetivo foi avaliar a biodiversidade de Odonata da forma mais completa possível em diferentes usos e coberturas do solo, investigando quais as dimensões e métricas de diversidade são mais adequadas para os cenários de alterações antrópicas mais comuns na região, buscando relacionar os padrões encontrados com variáveis ambientais locais observadas. Para isso, construímos 6 matrizes M contendo 12 diferentes métricas de diversidade (PDfaith, mntd, PSV e Peve; FRic, FEve, FDiv e FDis; riqueza, abundância, shannon e simpson). Posteriormente, calculamos valores de *Evenness of Eigenvalues* (EE) e *Importance Values* (IV) para comunidades de 183 igarapés distribuídos em bacias de drenagens em áreas de floresta, monocultura de palma de dendê, pasto, mineração, mineroduto e áreas urbanas. Nossos resultados evidenciaram uma baixa complementaridade (0.22-0.38) entre as dimensões taxonômicas, funcionais e filogenéticas na biodiversidade de Odonata na Amazônia, demonstrando ser adequado utilizar qualquer uma dessas dimensões, mesmo havendo uma pequena perda de informação. Ressaltamos ainda que a conversão de áreas naturais em antropizadas reduzem a variação biológica de Odonata, onde as comunidades pertencentes a zonas urbanas e com efeitos secundários da mineração são as mais drasticamente afetadas. Por fim, evidenciamos que algumas métricas são mais importantes do que outras a depender da comunidade avaliada, sendo abundância e riqueza funcional as que devem ser obrigatoriamente contemplados em estudos que visam avaliar e monitorar a biodiversidade desses insetos na Amazônia.

Palavras-chave: métricas de diversidade, atividades antrópicas, variação biológica, dimensionalidade.

Introdução

A Amazônia é a maior floresta tropical do mundo, apresentando 6.700.000 km² de território. Possui uma extensa e complexa rede de drenagens formadas por pequenos e grandes rios, que criam uma grande diversidade de ambientes e de condições muito específicas. Diversas áreas são isoladas por grandes rios e essas porções de floresta apresentam características ambientais distintas, além de abrigar biodiversidade específica, já que os rios funcionam como grandes barreiras geográficas (Alves-Martins et al. 2019). Estudos biogeográficos de vertebrados terrestres identificaram oito dessas áreas na Amazônia, sendo elas: Tapajós, Xingu, Belém, Rondônia, Napo, Imeri, Guiana e Inambari (Haffer 1978, Cracraft 1985, Silva et al. 2002). Mais recentemente, essas áreas de endemismos também foram avaliadas para invertebrados, como borboletas (Hall and Harvey 2002) e Odonata (Juen and De Marco 2012, Brasil et al. 2018, Alves-Martins et al. 2019), confirmando muitos dos padrões conhecidos. O tamanho dessas áreas varia substancialmente, sendo a Guiana a maior, com mais de 1,7 milhão de km² e Belém a menor, com aproximadamente 199 mil km². A perda de floresta em cada região endêmica varia de 2% a 30% de sua área total (Silva et al. 2005), exceto para Belém, com quase 80% de suas florestas primárias desmatadas (Almeida and Vieira 2010, Anjos et al. 2021). Dos 20% da área com remanescentes de alto valor de conservação, apenas 25% estão dentro de áreas protegidas, enquanto os outros 75% estão sob domínios de propriedades privadas (Anjos et al. 2021), evidenciando a baixa quantidade de unidades de conservação na região, principalmente quando comparado com os demais centros de endemismo da Amazônia. Outro ponto preocupante é que já foi registrado uma relação da biodiversidade existente com o tamanho da área do centro de endemismo (Juen & De Marco, 2012).

Dada a ocupação humana mais antiga, bem como maior facilidade de acesso por rodovias, como a BR 010 (também conhecida por Belém-Brasília) e hidrovias, o centro de endemismo de Belém é um dos mais ameaçados dentro da Amazônia, seja pela produção da seringa no século 19 (Prates and Bacha 2011), extração de madeira e industrialização no século 20 (Silva et al. 2005) e no século 21, a expansão da agropecuária (com ênfase no gado, soja e dendê), retirada de madeira (Juen et al. 2016, Pinillos et al. 2021) e mineração (Mendes et al. 2021). A região fica integrada a grandes centros urbanos, como a região metropolitana de Belém, com mais de 2,7 milhões de habitantes e os municípios de Barcarena, Tailândia e Paragominas (127, 108 e 104 mil habitantes, respectivamente) (IBGE, 2020). Mais de 30 espécies de animais e plantas desse centro de endemismo já estão na lista de espécies ameaçadas de extinção, sendo necessárias medidas urgentes para o monitoramento desses remanescentes florestais e das espécies ameaçadas (Almeida and Vieira 2010, Anjos et al. 2021). Esse número pode ser ainda mais alto, em virtude de as análises do centro de endemismo estarem desatualizadas.

A perda de biodiversidade é uma das principais consequências dos impactos gerados pelo desmatamento, causando a extinção local ou global de espécies endêmicas e/ou ameaçadas (Giam 2017), que muitas das vezes são pouco conhecidas pela ciência. Essa lacuna de informações sobre as comunidades biológicas, denominada de lacuna linneana, associado a massiva perda de espécies, leva a um fenômeno chamado pelos pesquisadores de crise da biodiversidade, que tem sido um assunto amplamente debatido nas últimas décadas (Koh 2004, Laurance 2007, Yap et al. 2015). Em muitos desses debates, o foco é voltado quase que exclusivamente a ambientes terrestres (Abell 2002). Contudo, o risco a biodiversidade de ambientes aquáticos é tão grave que se pode justificar um apelo adicional por mais pesquisas em águas continentais. Segundo estimativas mundiais, os habitats de água doce e suas espécies estão mais ameaçados do que aquelas terrestres (Ricciardi and Rasmussen 2001). Mesmo existindo dezenas de Unidades de Conservação para a Amazônia, muitas delas foram idealizadas e planejadas com base na vida terrestre, não tendo, necessariamente, a mesma efetividade para os organismos aquáticos (Leal et al. 2020). Uma porção significativa das comunidades dulcícolas carece de elementos básicos para se chegar a uma robusta estimativa da biodiversidade, havendo uma escassez de informações sobre abundância, números de espécies, suas funções ecológicas, filogenéticas, entre outros (Abell 2002).

A biodiversidade pode ser entendida como um conceito complexo e multidimensional que caracteriza a variação da vida na Terra (Stevens and Gavilanez 2015). A dimensionalidade desse conceito está relacionada a quantidade de informação necessária para descrever de forma eficaz sua variação (Nakamura et al. 2019). No entanto, a fonte dessas informações deriva de múltiplas dimensões, como: taxonômica, genética, funcional, filogenética, comportamental, entre outras que vêm sendo propostas (Magurran 2004, Resende et al. 2021). Portanto, quanto mais dimensões de informação forem necessárias para efetivamente descrever a biodiversidade de um determinado local, maior a dimensionalidade que esse sistema apresentará (Stevens and Gavilanez 2015). Medidas de correlação entre as métricas da biodiversidade pode ser uma boa ferramenta para analisar a sua dimensionalidade, pois, se a variação em todos as dimensões da biodiversidade é altamente correlacionada. Nesse cenário, abordagens unidimensionais são permitidas sem perder muita informação. Em contraste, baixas correlações sugerem muitos eixos de variação e, por consequência, alta dimensionalidade, que provavelmente é resultado de múltiplos mecanismos agindo e criando a variação biológica (Stevens and Gavilanez 2015). Embora essa abordagem possa ajudar a entender as dimensões de uma determinada comunidade, a correlação sozinha não é capaz de revelar quais dimensões contribuem mais para a dimensionalidade observada (Nakamura et al. 2019). Por exemplo, uma comunidade pode apresentar altos valores de correlação para determinadas métricas de biodiversidade (e.g. genética e filogenética), no entanto, cada métrica pode ser responsável por criar ou explicar uma quantidade diferente de variação no espaço multidimensional. Para tentar resolver esse desafio, Nakamura e colaboradores (2019) propuseram uma estrutura analítica que combina

cálculos que captam tanto o componente de correlação entre as métricas, quanto o componente de variação entre as métricas. Essas análises permitem avaliar o tamanho da variação da dimensionalidade observada em uma comunidade, além de ranquear a contribuição que cada uma dessas métricas mensuradas fornecem para a biodiversidade analisada.

O componente de variação e correlação da biodiversidade apresenta padrões específicos de acordo com o grupo taxonômico investigado. Por exemplo, comunidades cricetídeos e marsupiais apresentaram baixa dimensionalidade e a biodiversidade pode ser explicado em grande parte pela variação na dimensão taxonômica, isto é, quanto maior o número de espécies, haverá valores de biodiversidade mais altos (Nakamura et al. 2019). Por outro lado, dois distintos estudos concluíram que a riqueza é menos importante do que outras métricas de diversidade (Wilsey et al. 2005, Lyashevskaya and Farnsworth 2012). Se tratando da ordem Odonata, diferentes características podem ser utilizadas para avaliar a integridade ecológica, sendo a diversidade taxonômica a mais promissora delas (Miguel et al. 2017, Oliveira-Junior and Juen 2019).

Odonata é uma ordem de insetos aquáticos com um cenário taxonômico relativamente bem definido, contando, atualmente, com 6,401 espécies descritas (Paulson 2023). Somente para a Amazônia brasileira são encontradas 503 espécies pertencentes as subordens Zygoptera e Anisoptera (Brasil et al. 2021). Esses insetos são organismos extremamente dependentes das condições ambientais em seu entorno (May 1991) e, por essa razão, as mudanças no microclima causados pelo desmatamento da mata ciliar é altamente impactante nas comunidades das libélulas (Carvalho et al. 2013a, Monteiro-Júnior et al. 2013), sendo esperado inclusive, mudanças significativas nas proporções das subordens, dados suas diferentes particularidades fisiológicas (Oliveira-Junior and Juen 2019). Além do mais, apresentam ciclo de vida anfibiótico, onde algumas larvas (e ovos) necessitando de condições aquáticas e micro-habitats específicos para sobreviver (Mendes et al. 2020, Resende et al. 2021a). Todas essas especificidades, permitem utilizar o grupo como um robusto modelo biológico para se avaliar alterações ambientais causadas pelo homem, tanto as mais sutis ou até aquelas mais drásticas que resultam em grandes alterações físicas ou poluição dos corpos hídricos (Miguel et al. 2017, Oliveira-Junior and Juen 2019, Mendoza-Penagos et al. 2021).

Considerando as necessidades ambientais restritas das subordens de Odonata (Miguel et al. 2017), é de se esperar que determinadas espécies (frequentemente Zygoptera) serão substituídas por aquelas mais tolerantes (e.g. Anisoptera) em localidades alterados pela antropização (Oliveira-Junior and Juen 2019). Essa substituição de espécies mais sensíveis por aquelas generalistas na comunidade, pouco modifica a dimensão taxonômica, no entanto, altera contundentemente a dimensão funcional (Cianciaruso et al. 2009). Existem evidências de que esse fenômeno pode funcionar como um ponto de empuxe da dimensão funcional da biodiversidade em ambientes antropizados (Pereira et al. 2019, Resende et al. 2021b), podendo levar a interpretações distorcidas

dos resultados, caso fosse avaliado apenas a riqueza de espécies. Portanto, avaliações rápidas de biodiversidade, como aquelas baseadas apenas no número ou arranjo de espécies são imprecisas (Magurran 2004), ou mais limitados para conseguir capturar todas as facetas da biodiversidade (e.g. variação genética, comportamental e filogenética) que poderiam ser analisadas (Nakamura et al. 2019). Por isso, os estudos realizados em uma das regiões mais biodiversas do mundo podem falhar na tentativa de estimar sua biodiversidade regional, pois, geralmente levam em consideração apenas uma das múltiplas dimensões do conceito.

Ambientes florestais apresentam alta heterogeneidade ambiental, permitindo uma ampla coexistência de espécies. No entanto, para as espécies conviverem em equilíbrio, ocupando os mais diversos nichos e habitats, espera-se que elas sejam altamente especializadas, o que minimiza a competição intraespecífica (Sahlén 2005, Oliveira-Junior et al. 2021). Tal especialização só pode ser alcançada através de susceptíveis adaptações ao longo da história evolutiva dessas espécies (Ridley 2003). Partindo desse princípio, a dimensão filogenética de libélulas da floresta amazônica seria o maior componente da biodiversidade regional. Por outro lado, em virtude das semelhanças funcionais dentro da ordem Odonata como um todo, como por exemplo: maioria ectotérmicos, predadores do tipo “senta e espera” e oviposição majoritariamente do tipo endofítico (Ferreira et al 2023), a dimensão funcional pode dar menos contribuição quando comparado aos demais componentes. Diante o exposto, o objetivo desse estudo é mensurar o tamanho da biodiversidade de Odonata da Amazônia através das métricas: taxonômica, filogenética e funcional, buscando ranquear suas devidas contribuições, bem como avaliar se há perda dimensional da biodiversidade (EE) entre as comunidades de libélulas em áreas mais preservadas e áreas modificadas por diferentes usos do solo. Nós esperamos que áreas conservadas apresentarão maior biodiversidade, uma vez que estes ambientes sustentam uma maior heterogeneidade ambiental, o que possibilitaria contemplar uma maior amplitude de exigências ecofisiológicas das espécies e conseqüentemente, promover maior complexidade biológica do que em áreas alteradas. Também esperamos encontrar uma variação na contribuição das métricas entre as diferentes categorias de comunidades, onde ambientes florestais apresentaram a seguinte ordem de contribuição: filogenética>taxonômica>funcional. Entretanto, predizemos que em locais impactados pelas atividades antrópicas, a dimensão filogenética terá maior contribuição para a biodiversidade do que as demais dimensões. Essa inversão de ranqueamento, tem fundamentos no potencial substituição de espécies especialistas por aquelas generalistas que ocorrerá nas áreas impactadas, pois, em tese, os generalistas/tolerantes são mais próximos filogeneticamente do que as especialistas que antes habitavam ali.

Material e Métodos

Área de estudo

Os pontos estão distribuídos na Amazônia brasileira, mais especificamente na porção central da área de endemismo de Belém. Ao total, foram amostrados 183 igarapés em diferentes usos e coberturas do solo, contemplando as principais atividades de humanas existentes na região (Fig. 1 e Material Suplementar 1). A região é rica em recursos hídricos, sendo banhado por diversos rios e igarapés. Basicamente, os pontos amostrados estão distribuídos em cinco grandes bacias: Bacia do rio Mojú, Bacia do rio Gurupi, Bacia do rio Surubiju, Bacia do rio Capim e Bacia do rio Acará (IBGE 2021). A região apresenta clima tropical úmido (*Af*) de acordo com a classificação de Köopen (Peel et al. 2007), apresentando uma estação chuvosa (de dezembro a maio) e uma estação de estiagem (de junho a novembro), com chuvas inferiores a 60 mm, temperatura média anual de 27.2 °C, umidade relativa de 81% e precipitação total anual de 2.000 mm (Diniz 1986). A vegetação é categorizada como Floresta Ombrófila Densa Submontana (Ellenberg and Mueller Dombois 1967).

As atividades humanas na região são datadas desde o século 19, representando atualmente a região mais degradada da Amazônia, com menos de 20 % de floresta primária intacta (Anjos et al. 2021). Dentre as inúmeras explorações, disparadamente o maior uso do solo na região é atribuído a pastagem para criação de gado (Mapbiomas, 2021). Os pecuaristas utilizam os igarapés (os represando muito das vezes) como fonte de água para o gado e pasto. Como consequência, esses corpos hídricos inseridos em áreas de pecuária apresentam redução no fluxo de água e alterações nos parâmetros físico-químicos da água (Deegan et al. 2011), bem como uma estreita (ou inexistente) faixa de vegetação ciliar (<10 m de largura) (Faria et al. 2023). A atividade de mineração também é bastante presente, com a prevalência na extração de bauxita, matéria prima para o alumínio. Igarapés inseridos nessa paisagem podem apresentar grandes porções de solo exposto. No entanto, esse cenário apenas se manifesta quando há uma estreita proximidade entre o igarapé e a jazida de extração ou assentamentos (Enríquez Espinosa et al. 2020). Caso o contrário, dado que os impactos gerados pela mineração muito vezes acontecem de forma sistêmica, atingindo o lençol freático e o solo (Down and Stocks 1977), o que se constata nesses igarapés é a presença de florestas intactas (Brito et al. 2021b). Existem dois grandes polos industriais de mineração na região, um localizado no município de Paragominas e outro a quase 250 km de distância, localizado no município de Barcarena (fronteira com a capital Belém), justificando o uso de um sistema de dutos que tornou mais eficiente o escoamento dos minérios até o mar. No entanto, já existem evidências de que as estradas e pontes de acesso a esse mineroduto represam os pequenos igarapés e fragmentam as comunidades de peixes e insetos aquáticos da região (Ferreira et al. 2023a.b.; Leitão et al. 2018). A palma *Elaeis guineenses*, originária da Costa Ocidental da África, se adaptou bem ao clima tropical e úmido da Amazônia, se tornando uma das monoculturas mais abundantes dentro da região de coleta dos pontos (Juen et al.

2016, Carvalho et al. 2018). Para a Amazônia, a legislação florestal brasileira (Lei 12.651) exige a preservação de, no mínimo, 30 metros de mata ciliar em cada margem. Embora a maioria dos córregos sigam essas definições, em alguns trechos a vegetação ciliar é esparsada (Juen et al. 2016). Adicionalmente, os agricultores utilizam a água dos igarapés para irrigar as plantações jovens, bem como fazem o uso de pesticidas e fertilizantes químicos e orgânicos (Faria et al. 2023). Além dessas paisagens, a região fica integrada a grandes centros urbanos, como a zona metropolitana de Belém, com mais de 2,7 milhões de habitantes e os municípios de Paragominas e Tailândia mais ao sudeste, com 104 e 108 mil habitantes, respectivamente (IBGE, 2020). A dinâmica urbanística e social da população amazônica também é constituída por pequenos aglomerados humanos (de 1 a 3 mil habitantes), geralmente assentados próximos a corpos d'água em lugares remotos (Schor 2021). Os 20% de remanescentes florestais que sobraram na região estão localizados em áreas protegidas (Anjos et al. 2021), como a Reserva Biológica do Gurupi, Bacia do Rio Capim, Área de Preservação Ambiental da empresa responsável pela extração de dendê e pela mineração (Hydro). No entanto, a maior de todas é a terra indígena Alto Turiaçu, com 531 mil km² de florestas intactas (Mapbiomas, 2021).

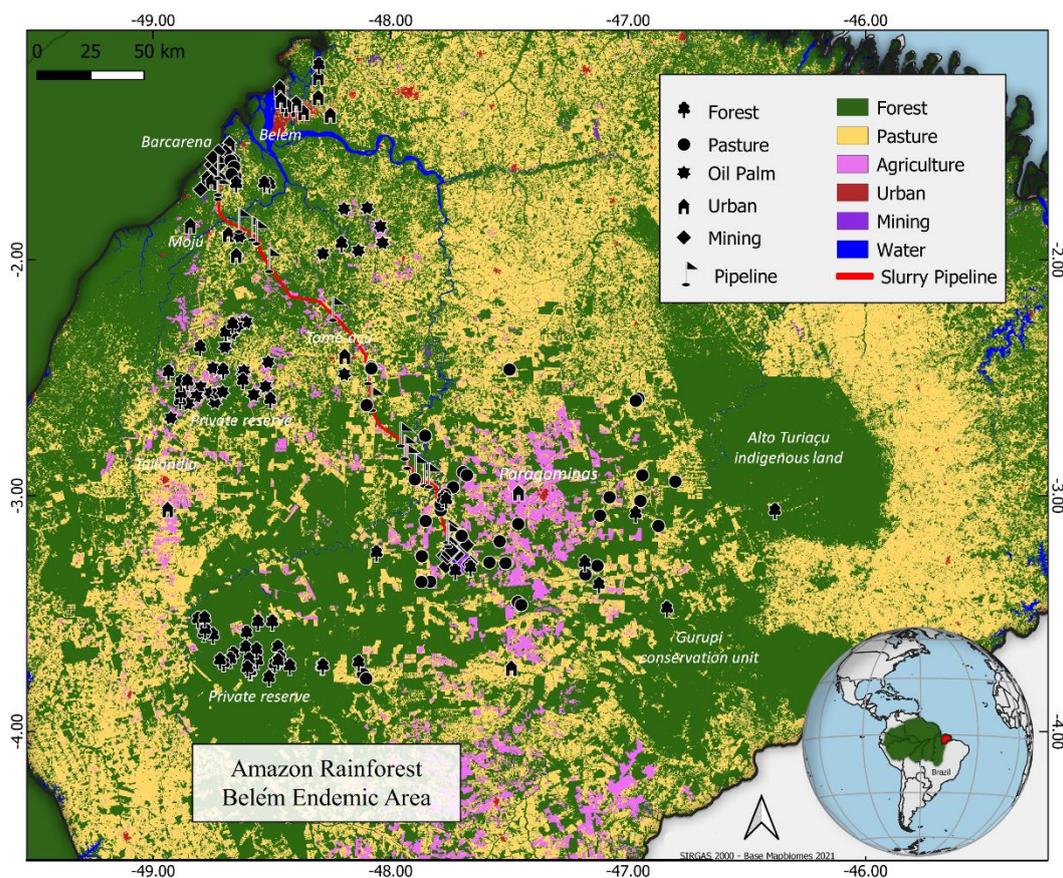


Figura 1 – Amostragem de Odonata em pontos distribuídos pela área de endemismo de Belém – Amazônia brasileira. Foram amostrados 183 igarapés que de acordo com o uso e cobertura do solo foram classificados em 6 diferentes categorias.

Categorização dos pontos amostrais

A classificação dos pontos amostrais foi baseada no uso e cobertura do solo nos entornos dos igarapés (detalhamento no tópico abaixo). Nesse sentido, consideramos ponto de “floresta”, aqueles igarapés com pelo menos 80% de floresta primária em um raio de 200 metros além do canal. Adicionalmente, aplicamos o Índice de Integridade Ambiental (HII) (Nessimian et al. 2008), que consiste em um valor (de 0 a 1) calculado a partir de 12 parâmetros, como: largura e integridade da mata ciliar, o padrão de uso da terra local, tipo de substrato do riacho, vegetação aquática, entre outros. Garantimos que todos os pontos florestais apresentassem HII acima de 0.8, um limiar de preservação constatada suficiente para manter populações de Odonata na Amazônia, até as mais sensíveis (Oliveira-Junior and Juen 2019, Brasil et al. 2020a). Uma vez que as alterações advindas da mineração frequentemente são sistêmicas (Down and Stocks 1977, Enríquez Espinosa et al. 2020) consideramos como ponto de “mineração” os igarapés que continham qualquer sinal de mineração dentro de seu *buffer*. Por outro lado, para avaliar aquelas alterações secundárias da mineração, como por exemplo, a oriunda do transporte de minério, consideramos como pontos “mineroduto” todos aqueles cortados pela passagem do mineroduto transportador de bauxita. Por fim, para as demais categorias, pasto, urbano e plantação de dendê, foi considerado o uso do solo com maior dominância dentro da paisagem, isto é, acima de 50% (Fig. 2). Levando em conta esses critérios de seleção, analisaremos 56 igarapés florestais, 38 pastagens, 28 de monocultura de palma de dendê, 21 mineração, 19 com a presença do mineroduto e 21 em áreas urbanas. Os pontos de florestas representam a maior parte dos pontos, pois sempre buscamos amostrar florestas próximas a cada um dos tipos de uso do solo, no intuito de representar a diversidade existente de cada região anteriormente a conversão do solo. Para facilitar, o padrão de cores atribuídos a cada uma dessas categorias ao longo do trabalho condiz com o utilizado no Mapbiomas (<https://mapbiomas.org/>).

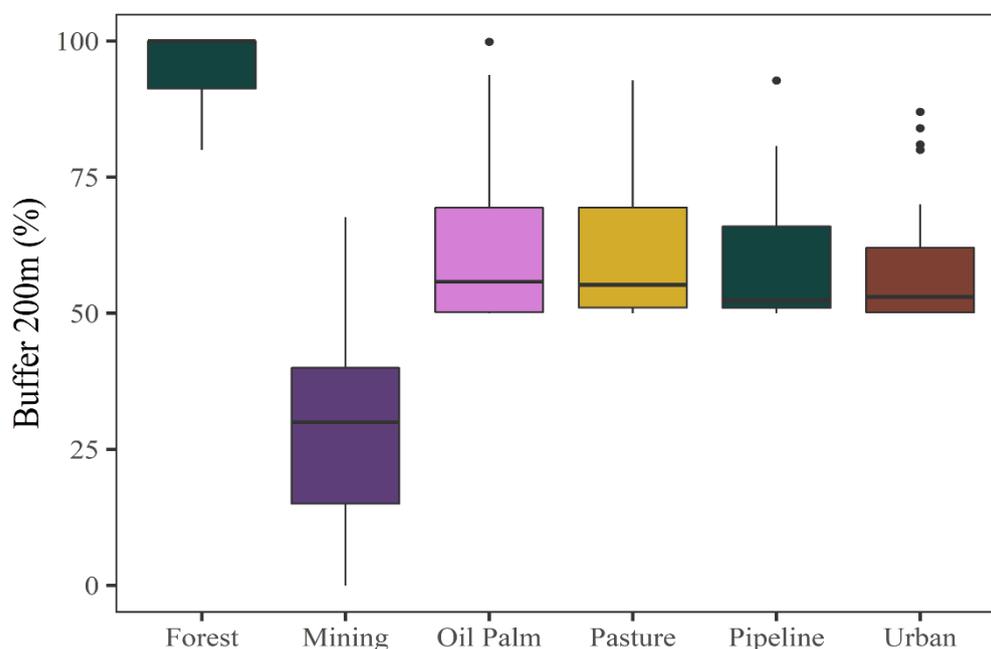


Figura 2 – Uso e cobertura do solo na paisagem circundante ao igarapé foi o critério utilizado para categorizar os pontos amostrais. Todos os pontos de floresta apresentam em sua paisagem pelo menos 80% de floresta primária. Para as categorias pasto, palma e urbano, o limiar foi de 50%. Dado que mineroduto apresenta um mosaico de usos, utilizamos a proporção de floresta primária para representar sua paisagem, já que é a métrica mais dominante nessa categoria de pontos. Por fim, independente da proporção, consideramos como ponto de mineração aqueles igarapés com qualquer nível de presença de atividades mineradoras em sua paisagem.

Classificação do uso e cobertura do solo

A caracterização dos usos e coberturas de terra foram realizadas em um *buffer* de 200 metros nos entornos dos riachos amostrados a partir dos seguintes procedimentos: delimitamos a rede de drenagem utilizando como base modelos digitais de elevação do terreno (SRTM). Para o Processamento Digital de Imagens foram utilizados dados dos satélites Landsat referente ao ano de 2021. Todas as etapas de manipulação das imagens foram realizadas através dos programas QGis 3.16, PCI Geomatica V10.1 (PCI, 2007) e Ecognition (Definiens, 2009), onde os procedimentos de correção atmosférica, confecção de mosaicos, classificação supervisionada orientada ao objeto e validação com imagens do MapBiomas foram realizados. Por esse motivo, adotamos a coloração padrão do MapBiomas as nossas classes de uso e cobertura do solo (Mapbiomas, 2021). As classes de usos e coberturas de terra (UCT) foram identificadas por meio do PDI de satélite. As classes identificadas foram quantificadas em porcentagem nos seguintes grupos: formação florestal, formação savânica, floresta plantada, formação campestre, pastagem, mineração, lavouras temporárias e lavouras perenes (material suplementar 2). Após a classificação das imagens e posterior validação dos usos e coberturas de terra, as dimensões de cada classe foram quantificadas em km² nas respectivas escalas espaciais da paisagem, segundo metodologias adaptadas de Wang et al. (2000), Clapcott et al. (2012) e Feld (2013).

Dados biológicos

Os registros das espécies de Odonata foram realizadas ao longo de quase uma década por pesquisadores ligados ao Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO). Todas as amostragens foram realizadas no período de menor precipitação e padronizadas através da delimitação de um transecto de 150 m. Este, foi amostrado durante uma hora com o auxílio de uma rede entomológica, entre os horários de 11:00 e 14:00 horas, período de maior atividade desses insetos (Batista et al. 2021). O material biológico coletado se encontra depositado na Coleção Zoológica da Universidade Federal do Pará – LABECO. Para informações mais detalhadas sobre cada subconjunto de dados, consultar (Carvalho et al. 2018, Oliveira-Junior and Juen 2019, Bastos et al. 2021, Brito et al. 2021, Ferreira et al. 2023). Utilizamos a árvore evolutiva de Odonata da Amazônia construída por (Carvalho et al. 2022). As poucas espécies que não constavam nessa filogenia foram incluídas manualmente

como politomias na base de suas respectivas famílias ou gêneros (árvores disponíveis no material suplementar 3 e 4). Para constituir o componente funcional, utilizamos um total de 46 traços funcionais relacionados ao comportamento reprodutivo, habitat, termorregulação, capacidade de dispersão e morfometrias. Todos fornecidos no “Amazonian Odonata Trait Bank” (Ferreira et al. 2023). Nos casos em que não havia informação referente a uma determinada espécie no banco, nós fizemos extrapolações congêneras levando em consideração a maior frequência do traço dentro do gênero.

Condições ambientais

Avaliamos os parâmetros físico-químicos da água, como temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e potencial hidrogeniônico (pH) e vazão ($\text{m}^3/\text{seg.}$). Além do mais, mensuramos a largura (m), profundidade e proporção de dossel vegetal do canal (%) e HII (material suplementar 5). As variáveis selecionadas para representar as condições locais são apontadas em literaturas como importantes para explicar a variação da comunidade de Odonata na Amazônia, além de responder a ações antrópicas abordadas no presente estudo (Oliveira-Junior e Juen 2019; Brasil et al. 2020; Resende et al. 2021).

Análise de dados

Para esse estudo, a comunidade coletada em cada igarapé representa uma unidade amostral, totalizando, portanto, 183 amostras. Uma vez que os dados de cada classe de paisagem são proporções de área dentro de um *buffer* de 200 m, nós convertimos os valores de porcentagem de cada classe de uso e cobertura do solo em sistema Fuzzy (Chevenet et al., 1994) e ajustamos uma Análises Fuzzy de Componentes Principais (FPCA) (Wu & Zhou, 2007). Posteriormente, no intuito de visualizar as configurações de paisagem dos nossos igarapés, projetamos em um plano cartesiano os dois primeiros eixos com maiores valores de explicação da variabilidade dos dados (Borcard et al., 2011). Para testar a hipótese de as diversas atividades antrópicas geram diferentes impactos ambientais sobre os corpos da água da Amazônia, ajustamos testes permutacionais categóricos (perm=999, $p=0.05$) e construímos *boxplots* considerando as categorias como variáveis preditoras e as variáveis ambientais como resposta. Por fim, para avaliar quais categorias difeririam entre si, nós ajustamos testes permutacionais de *tukey*, permitindo a avaliação de possíveis diferenças de forma par-a-par. Todas as análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2022), utilizando os pacotes “vegan”, “rcompanion”, “ade4”, “coin” e “ggplot2”.

A multidimensionalidade da biodiversidade de Odonata foi mensurada através dos coeficientes de *Evenness of Eigenvalues* (EE) e *Importance Values* (IV). o EE quantifica a multidimensionalidade da biodiversidade por meio da detecção da redundância entre as dimensões

(representadas pelos conjuntos de métricas de diversidade) encontradas na matriz M, sendo, portanto, um coeficiente ligado ao componente correlação (maior EE = maior a correlação (e redundância) entre as dimensões = menor complementariedade das dimensões). Por outro lado, o quanto de espaço de cada métrica de diversidade ocupa dentro dessa multidimensionalidade é avaliado pelo coeficiente de IV. Resumidamente, o EE detecta o tamanho da biodiversidade a partir da redundância entre as dimensões e o IV identifica diferentes contribuições das métricas a biodiversidade como um todo. Esses coeficientes foram calculados exatamente como proposto na estrutura analítica de Nakamura et al. (2019), seguindo esses três passos: 1º calcular a matriz de biodiversidade (Matriz M). Em nosso estudo, construímos uma matriz M para cada uma das comunidades pertencentes às diferentes categorias de uso e cobertura do solo. As métricas de diversidade incluídas nessas matrizes foram selecionadas com base na literatura (Tucker et al. 2017, Scheiner 2019, Nakamura et al. 2019): *Phylogenetic Diversity* (PDfaith) (Faith 1992), *Mean Nearest Taxon Distance* (mntd) (Webb et al. 2003), *Phylogenetic Species Diversity Metrics* (PSV) (Helmus et al. 2007) e *Phylogenetic Evenness* (Peve) (Villéger et al. 2008); *Functional Richness* (FRic) (Petchey and Gaston 2006), *Functional Evenness* (FEve) e *Functional Divergence* (FDiv) (Villéger et al. 2008); Riqueza. Diferentemente dos testes realizados por Nakamura et al. (2019) com a presença e ausência de pequenos mamíferos, aqui adicionamos quatro novas métricas de diversidade relacionadas a abundância das espécies, sendo elas: abundância, índice de Shannon e Simpson (Magurran 2004), além da métrica *Functional Dispersion* (FDis) (Laliberte and Legendre 2010). Dessa forma, equalizamos quatro métricas para cada componente da biodiversidade, totalizando 12 métricas de diversidade. O 2º passo consistiu em rodar Análises de Componentes Principais (PCA) das diferentes matrizes M padronizada. A partir dos autovalores e autovetores gerados por essas ordenações, o 3º passo foi calcular os valores de EE usando o índice de equabilidade de Camargo (Camargo 1992), seguindo a proposta original (Stevens and Tello 2014) e os valores de IV para as métricas de diversidade abordadas aqui, utilizando a estrutura analítica proposta por Wilsey et al. (2005). Por fim, realizamos um procedimento de *bootstrap* que reamostrou 999 vezes a matriz M, sempre recalculando o IV e EE para cada uma dessas reamostragens. Isso nos possibilitou testar hipóteses estatisticamente, através da construção de intervalos de confiança (95%) em volta desses coeficientes de diversidade. Além do mais, para testar diferenças na importância dos componentes da diversidade que montam a matriz M, encaminhamos os valores IV do *bootstrap* para um Modelo Linear Ordinário de Mínimos Quadrados (OLS). A fim de avaliar as diferenças de importância entre as métricas de diversidade, também ajustamos outro OLS usando o mesmo conjunto de dados, mas agora considerando cada métrica como a variável explicativa. Para ambos os modelos, realizamos um teste de Tukey para avaliar diferenças pareadas, tanto nas dimensões quanto nas métricas. Uma ilustração do quadro geral para se chegar à dimensionalidade da biodiversidade através de EE e IV é apresentado na Figura 3.

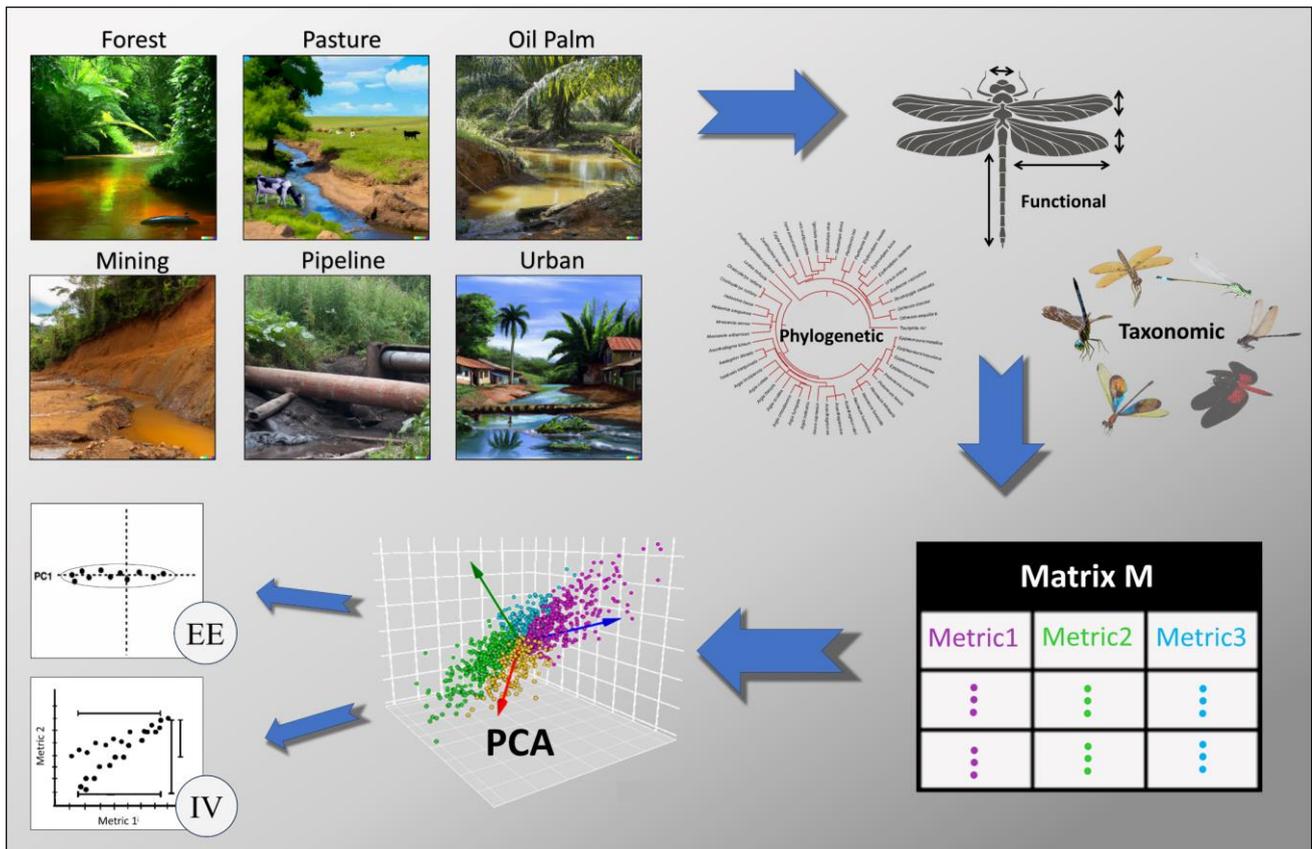


Figura 3 – Amostras 183 comunidades de Odonata habitantes de igarapés com diferentes uso e cobertura do solo na Amazônia. Posteriormente, levantamos informações funcionais, evolutivas e taxonômicas das espécies, a fim de produzir matrizes M que capturassem diferentes aspectos de vida, representando, assim, as dimensionalidades da biodiversidade dessas comunidades. Posteriormente, para sintetizar essas multidimensionalidades, ordenamos a variação das matrizes M em eixos principais e, finalmente, extraímos os coeficientes de EE e IV que, respectivamente, medem o tamanho da biodiversidade e a importância que cada métrica traz para ela.

Resultados

Condições ambientais e de paisagem

A Análise de Componentes Principais Fuzzy em seus dois primeiros eixos explicou 76% da variação do uso e cobertura do solo. O primeiro eixo capturou 55% dessa variação, em que “floresta secundária” e “área urbana” representaram as maiores contribuições negativas ao eixo. Por outro lado, em sentido positivo, a única variável que contribuiu foi “floresta primária”. Ortogonalmente, o segundo eixo explicou 21% dos dados, sendo as variáveis “agricultura” e “pasto” as que mais contribuíram em sentidos antagônicos (tabela descritiva disponível no material suplementar 6). Com exceção dos igarapés cortados pelo mineroduto, que são inseridos em um mosaico de usos e coberturas do solo, fica evidente que os critérios de categorização foram capazes de segregar os igarapés em suas configurações de paisagem local (Figura 4).

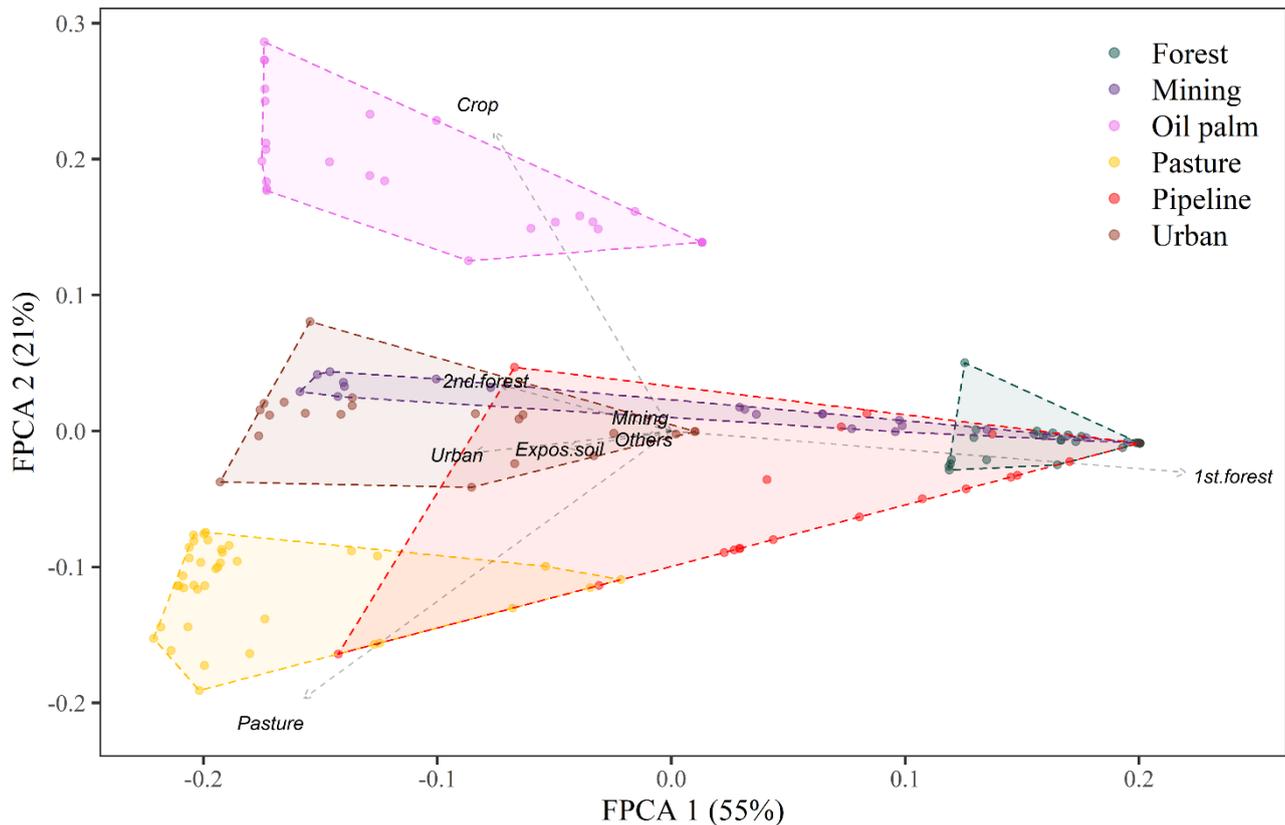


Figura 4 – Ordenamento das diferentes classes de uso e cobertura do solo, evidenciando que, com exceção da paisagem de igarapés inseridos em área urbana e mineroduto, as demais categorias apresentaram forte segregação entre suas configurações de paisagem local.

Nossos resultados evidenciaram que das nove métricas ambientais analisadas, apenas duas são similares entre as categorias de igarapés (Fig. 5), sendo elas a média da largura do canal ($\text{permu}T=1.800$, $p=0.338$) e temperatura da água ($\text{permu}T=1.912$, $p=0.274$). Por outro lado, as variáveis profundidade do canal ($\text{permu}T=5.296$, $p<0.001$), dossel vegetal ($\text{permu}T=5.537$, $p<0.001$), vazão do fluxo ($\text{permu}T=3.753$, $p=0.001$), integridade de habitat ($\text{permu}T=9.674$, $p<0.001$), pH ($\text{permu}T=2.829$, $p=0.026$), oxigênio dissolvido ($\text{permu}T=3.207$, $p=0.007$) e condutividade elétrica ($\text{permu}T=3.659$, $p=0.001$) apresentaram valores de média diferentes entre as categorias (comparação par-a-par disponível em material suplementar 7).

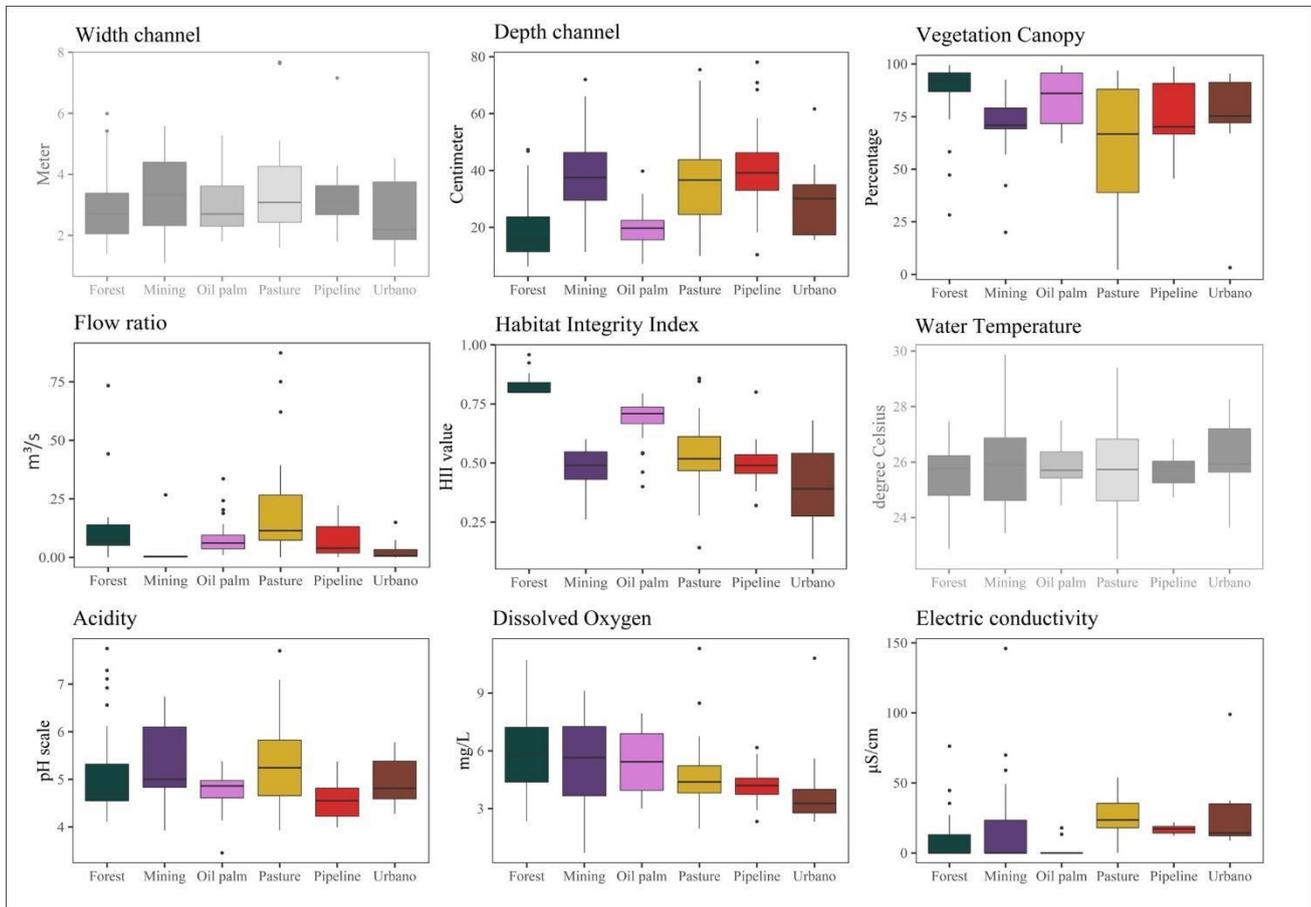


Figura 5 – *Boxplot* demonstrando a variação das métricas ambientais de acordo com sua respectiva categoria de uso e cobertura do solo. *Apenas os gráficos coloridos apresentaram diferenças significativas entre suas médias.

Perfil Taxonômico das comunidades de Odonata

Nos 183 pontos amostrados, coletamos um total de 4.122 exemplares adultos de Odonata, pertencentes a 148 espécies, 54 gêneros e 12 famílias. Essas espécies estão distribuídas pelas categorias da seguinte forma: Floresta (n=1465), com 75 espécies, sendo *Mnesarete williamsoni* a mais abundante (S=147); Pasto (n=1118), com 70 espécies, a mais comum é *Erythrodiplax basalis* (S=199); Palma (n=634), com 43 espécies, em que a mais frequente foi *Heteragrion ictericum* (S=130); Mineração (n=373), com 39 espécies, em que *Epipleoneura metallica* foi a mais abundante (S=82); Urbano (n=342), com 49 espécies, *E. fusca* (S=32) e Mineroduto (n=190), com 36 espécies, sendo *Chalcopteryx rutilans* (S=20) a mais abundante (mais detalhes no material suplementar 8).

De maneira geral, desconsiderando as categorias, nossas análises evidenciaram um baixo valor de complementariedade (0.22-0.38) e valores de IV similares para as dimensões da biodiversidade de Odonata na área de endemismo de Belém (Fig. 6). Em uma análise mais detalhada, podemos constatar que os valores de EE das categorias floresta (0.38) e palma (0.33) foram as mais altas, indicando uma maior complementariedade das dimensões. Por outro lado, as comunidades de Odonata habitantes do mineroduto (0.223) e zona urbana (0.257) foram as que apresentaram os menores valores de EE. Levando em consideração o intervalo de confiança, todas as comunidades apresentaram, igualmente, alto valores de IV, com destaque para o mineroduto (0.734) e zona urbana (0.714).

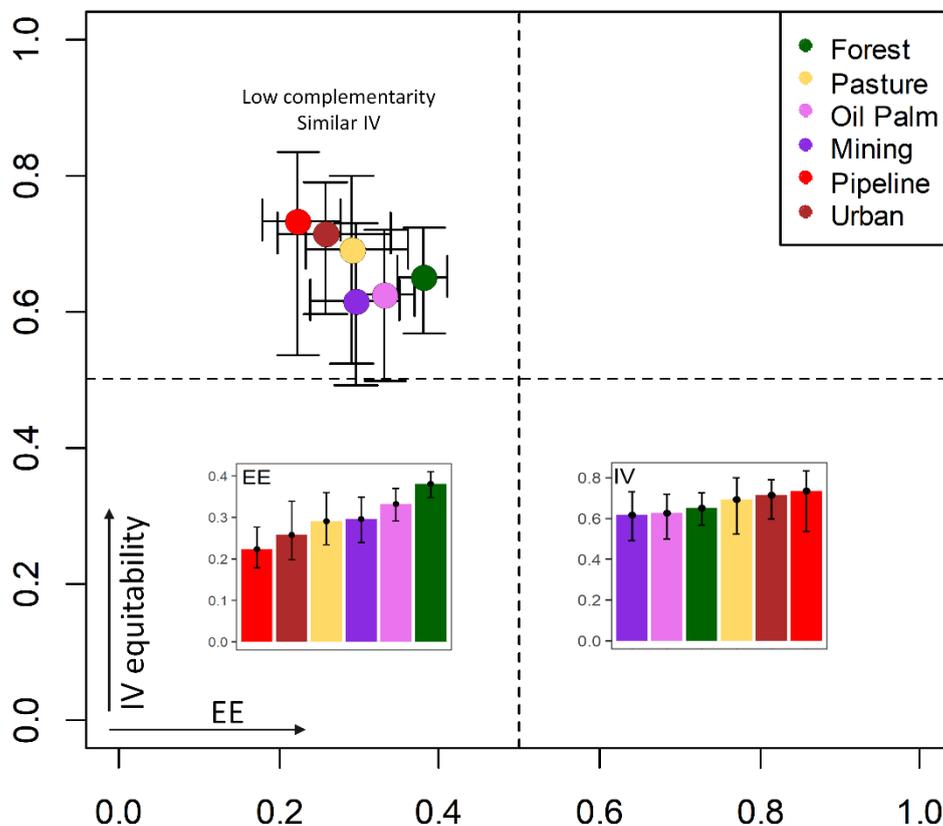


Figura 6 – Perfil dos valores de EE e uniformidade de IV calculados para dimensões da biodiversidade (taxonômica, funcional e filogenética) das comunidades de Odonata habitantes de 6 diferentes categorias de uso e cobertura do solo na Amazônia. Círculos representam valores médios para cada categoria enquanto as linhas representam um intervalo de confiança de 95%. Os gráficos de barras apresentam os mesmos valores de EE e IV, só que individualizados e seguindo uma ordem crescente.

Ao comparar o grau de variação (IV) das três dimensões da diversidade (representados pelas 12 métricas de diversidade), podemos observar os seguintes padrões: as diferenças de IV entre as dimensões filogenética e funcional são as maiores encontradas dentro das categorias floresta (0.038) e urbano (0.040); as diferenças de IV entre as dimensões taxonômicas e funcionais dentro das

categorias Palma (0.028) e Mineroduto (0.037) são as maiores; Por fim, a dissimilaridade encontrada nos IV das dimensões taxonomia e filogenético foram os mais altos em pasto (0.027) e mineração (0.031) (Figura 7).

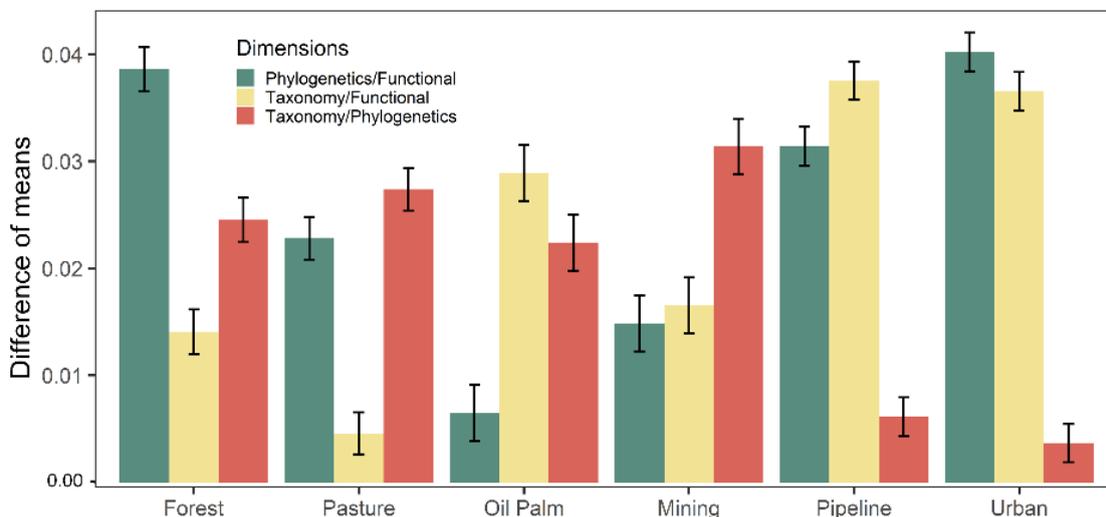


Figura 7 – Média e intervalo de confiança (95%) das diferenças encontradas quando comparado par-a-par os valores de IV agrupados por sua respectiva dimensão.

Os valores máximos e mínimos de IV para as 12 métricas de diversidade avaliadas seguem a seguinte distribuição por categoria: para floresta, a métrica riqueza funcional foi a mais importante, pois apresentou um IV de 0.121, isto é, ocupou sozinha 15.14% de toda a variação no espaço da biodiversidade desses ambientes, por outro lado, o Índice de Simpson foi o menos importante, já que ocupou apenas 1.86% (IV=0.015); no caso das comunidades habitantes de igarapés com predominância de pastagem, a riqueza funcional também foi a mais importante, uma vez que ocupou 15.30% da variação da biodiversidade (IV=0.123), em contrapartida, PSV foi a menos importante, explicando apenas 1.83% (IV=0.015). Em relação as comunidades inseridas em monocultura de palma de dendê, houve uma grande similaridade no grau de contribuição de duas métricas pertencentes a diferentes dimensões da biodiversidade, abundância (IV=0.160) e riqueza funcional (IV=0.161), que juntas, explicam 37.94% da variação do espaço multidimensional, já a métrica que menos contribuiu foi divergência funcional, com apenas 1.18% de explicação (IV= 0.010); para as comunidades de mineração, também houve uma equivalência entre as categorias abundância (IV=0.154) e riqueza funcional (IV=0.151), aonde ambas ocuparam 35.93% do espaço e a métrica PSV a que menos contribuiu (IV=0.010), com apenas 1.18% de explicação. Já para comunidades afetadas indiretamente pela mineração, como é o caso das pertencentes a categoria Mineroduto, as métricas de diversidade mais importante foram todas funcionais, sendo elas, riqueza funcional

(IV=0.116), uniformidade funcional (IV=0.113) e divergência funcional (IV=0.112), ocupando juntas 38.54% variação da biodiversidade de Odonata, por outro lado, Índice de Simpson é a que pior explica essas comunidades, já que seu valor de IV é de 0.044, explicando apenas 4.84% da variação. Por fim, no caso das comunidades habitantes de zonas urbanas, a métrica mais importante foi riqueza funcional (IV=0.133), que sozinha explicou 15.30% do espaço, sendo a variável PDfaith a menos colaborativa (IV=0.036), explicando apenas 4.14% do espaço multidimensional da biodiversidade dessas comunidades (Fig. 8). Para mais detalhes sobre a magnitude das diferenças entre essas métricas de diversidade consultar o material suplementar 10.

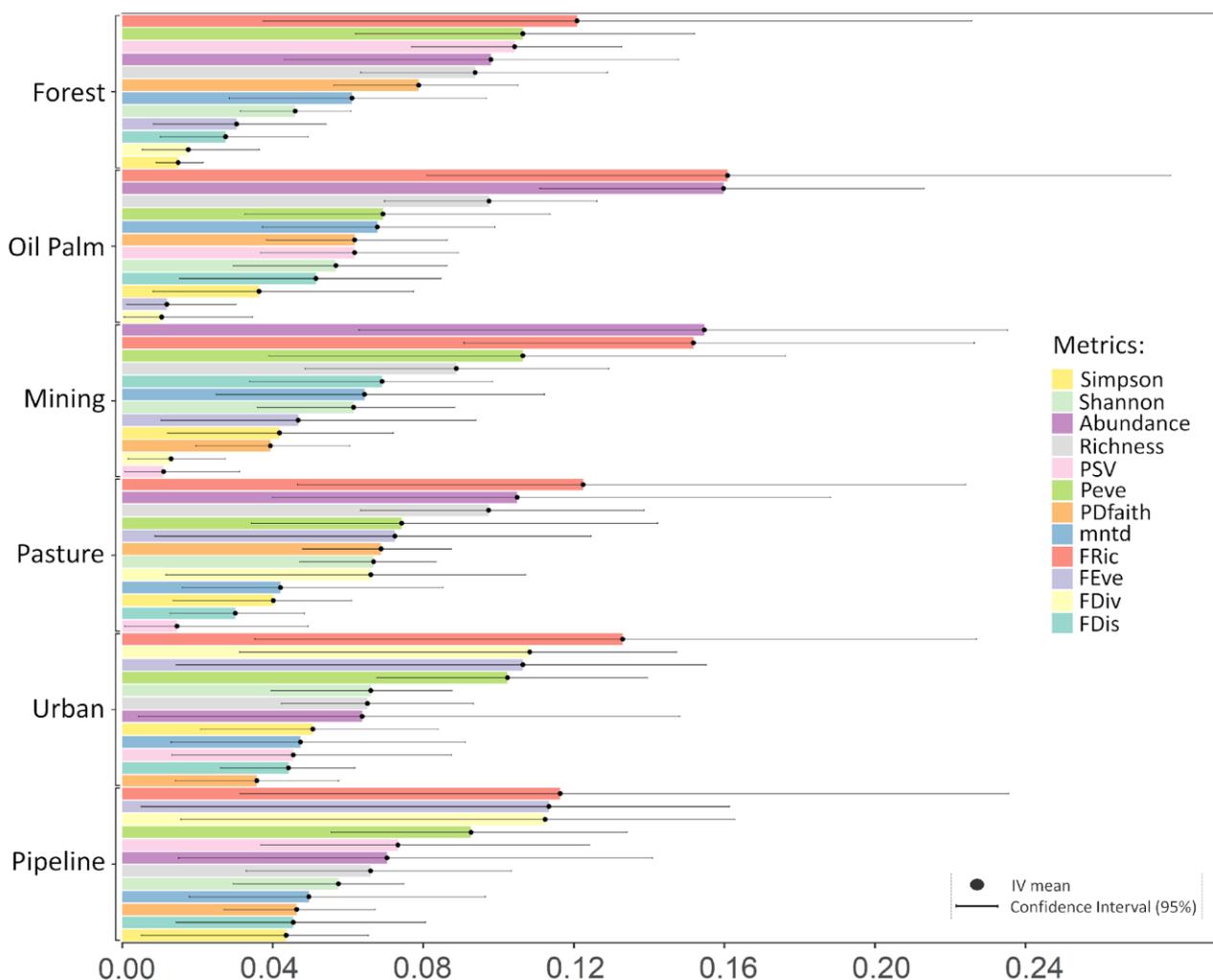


Figura 8 – Médias e intervalos de confiança de IV para todo o conjunto de métricas e categorias de uso e cobertura do solo.

Discussão

Evidenciamos que a biodiversidade de Odonata apresenta um padrão recorrente e similar de respostas entre as métricas avaliadas, existindo uma baixa complementariedade entre as suas dimensões taxonômicas, funcionais e filogenéticas avaliadas em nosso estudo. Possibilitando utilizar uma das dimensões disponíveis para mensurar a variação biológica da ordem na Amazônia, assumindo, obviamente, uma certa perda de informação. Como esperado, as comunidades de florestas, sejam elas primárias ou plantadas, como por exemplo as monoculturas de palma de dendê, foram as que apresentaram a maior biodiversidade de Odonata, seguidos pelos usos do solo para a mineração e pastagem, apresentando os mesmos tamanhos de dimensionalidade. Enquanto áreas urbanas e áreas com influências secundárias da mineração, como a presença de minerodutos e estradas, foram as que apresentaram as menores dimensões de biodiversidade.

A heterogeneidade ambiental é um dos principais drivers de biodiversidade, já que fornece maiores condições de vida para os organismos, como a disponibilidade de habitats, nichos e de recursos (Tews et al. 2004). As espécies, considerando tanto seu papel funcional como o evolutivo, necessitam de condições específicas disponíveis em um ecossistema para que possam colonizar um determinado ambiente (Hutchinson 1957). Riachos que drenam áreas florestadas são ambientes heterogêneos, tendo abundância de recursos de diferentes qualidades e quantidades, primordiais para sustentar uma maior diversidade de espécies (Tews et al. 2004). Por outro lado, as pressões antrópicas causam modificações que resultam na homogeneização dos ambientais naturais, seja pelo desmatamento, contaminação da água ou degradação do solo, impactando diretamente a disponibilidade desses fatores fundamentais a vida e, conseqüentemente, reduzem a biodiversidade local (Dias-Silva et al. 2020). Um exemplo desse processo foi o próprio decaimento da biodiversidade de Odonata em ambientes antropizados, como os registrados em nosso estudo bem como em outras pesquisas da região (Carvalho et al. 2018, Oliveira-Junior and Juen 2019, Bastos et al. 2021, Brito et al. 2021, Ferreira et al. 2023).

Uma vez que Odonata são insetos com restrições ecofisiológicas os tornando dependentes das condições ambientais locais, sendo, inclusive, amplamente utilizadas para monitoramento da “saúde” de sistemas aquáticos (Miguel et al. 2017, Oliveira-Junior and Juen 2019), devemos observar como as condições ambientais dos igarapés inseridos nas diferentes paisagens estão se comportando. Por exemplo, comunidades de ambientes florestais, apresentaram os maiores valores de EE e ao mesmo tempo, com exceção do status de integridade ambiental, todas as demais variáveis ambientais foram semelhantes nessas duas categorias de uso e cobertura do solo. Obviamente, as florestas apresentaram os maiores valores de HII, sendo o diferencial que provavelmente explica a maior biodiversidade de Odonata encontrada nesses ambientes (Brasil et al. 2020b), já que esse tipo de ambiente permite manter uma maior diversidade de espécies especialistas, como aquelas pertencentes a subordem

Zygoptera (Oliveira-Junior and Juen 2019). Padrão semelhante se aplica as comunidades de mineroduto e zona urbana, que apresentaram os mesmos valores de EE e variáveis ambientais semelhantes (com exceção da vazão da água, uma variável que pouco explica a comunidade adulta de libélulas (Cruz et al. 2023)). Essas comunidades também apresentaram as menores dimensionalidades da biodiversidade de Odonata. Isso não é surpreendente para as comunidades urbanas, visto que esses ambientes são altamente modificados e oferecem menos recursos e condições adequadas para a sobrevivência e reprodução dos Odonata, como a presença de dossel e parâmetros aquáticos ideais (Monteiro Júnior et al. 2015, Brito et al. 2021a).

Nossos resultados também sustentaram que determinadas métricas de diversidade contribuem mais para a variação da dimensionalidade como um todo do que outras, como aquelas encontradas em igarapés inseridos no minerodutos, bem como nas comunidades habitantes de zonas urbanas. Nessas comunidades, a dimensionalidade funcional apresenta os maiores valores de importância, sendo, portanto, importante considerar as métricas – riqueza, uniformidade e divergência funcional – ao amostrar esses tipos de comunidades. Esse padrão pode ser atribuído ao fato de que esses ambientes apresentam uma alta dominância de poucos clados (e.g. *Erythrodiplax*, *Orthemis*, *Acanthagrion*) que são mais generalistas das condições ambientais estando amplamente distribuídos no ambiente, gerando, portanto, uma maior similaridade filogenética e taxonômica (Cianciaruso et al. 2009). No entanto, apesar dessas similaridades nessas dimensões, esses clados apresentam uma grande amplitude funcional (Resende et al. 2021b), com espécies pertencentes ao mesmo gênero apresentando diferentes variações morfológicas, comportamentais e dispersivas (Ferreira et al. 2023). De certa forma, esse argumento funciona para todas as categorias de usos do solo, já que as métricas funcionais sempre foram as mais explicativas.

Nas demais categorias de ambientes, duas ou mais métricas pertencentes a diferentes dimensionalidades foram destaques, sendo a abundância de espécies e a riqueza funcional presentes em todas. Portanto, é imprescindível a inclusão dessas duas métricas nas avaliações de biodiversidade de Odonata na Amazônia. A abundância de Odonata é amplamente utilizada em pesquisas que avaliam e monitoram os impactos humanos sobre Odonata (Silva et al. 2010, Oliveira-Junior and Juen 2019), sendo frequentemente incorporada as hipóteses desenvolvidas para o grupo (McPeck 2008, Carvalho et al. 2013b, De Marco et al. 2015). Entretanto, provavelmente em função da escassez de dados (Ferreira et al. 2023), a riqueza funcional é uma métrica raramente utilizada, mesmo já se mostrando sensível aos gradientes antropogênicos encontrados nos biomas Amazônia (Resende et al. 2021) e Cerrado (Silva et al. 2021). Destacamos também a riqueza de espécies, pois foi uma métrica importante para todas as categorias, principalmente para a monocultura de palma, pasto e mineração. Vale a pena ressaltar que essas duas métricas, riqueza e abundância de Odonata, são oficialmente utilizadas por um dos principais órgãos ambientais brasileiros, o Instituto Chico Mendes de

Conservação da Biodiversidade (ICMbio), no monitoramento de unidades de conservação (Brasil et al 2020).

Suportamos evidências de que as métricas pertencentes a dimensão filogenética apresenta alta importância dependendo da categoria analisada, possuindo maior poder de explicação nas categorias de floresta, palma e mineroduto, representando justamente as categorias de ambientes com a maior presença de vegetação arbórea. Nesses ambientes florestados, as métricas de variabilidades filogenéticas de espécies (PSV) e uniformidade filogenética (Peve) foram destaques, sendo igualmente importantes para explicar a dimensionalidade dessas comunidades. Nos demais ambientes mais antropizados, apenas Peve apresentou alto valor de importância. A métrica Peve avalia o grau de equitabilidade na distribuição filogenética das espécies em uma comunidade. Nossos valores observados de Peve foram baixos (<0.5), isso significa que há uma distribuição desigual das espécies ao longo do espectro filogenético, indicando que algumas espécies têm relações filogenéticas mais distantes em relação às demais distâncias frequentemente encontradas dentro da comunidade. Essa disparidade pode ser influenciada por fatores como, histórias de vidas distintas, especiação recente ou eventos de extinção seletiva (Villéger et al. 2008). Por outro lado, baixos valores de PSV indicam que as espécies dentro da comunidade são próximas filogeneticamente umas das outras, em outras palavras, existem menos linhagens distintas na comunidade quando os valores de PSV são baixos (Helmus et al. 2007). Estudos vem apontando uma tendência de dispersão filogenética em ambientes florestados (Webb 2000, Cianciaruso et al. 2009), sugerindo que os filtros ambientais nesses locais pressionam a estruturação das comunidades (Webb 2000, Cianciaruso et al. 2009), corroborando com os padrões aqui observados para a ordem Odonata.

Conclusão

Nossos resultados demonstraram que a biodiversidade de Odonata na Amazônia apresenta grande similaridade de resposta e baixa complementaridade entre suas dimensões taxonômicas, funcionais e filogenéticas. Sugerindo que qualquer uma dessas dimensões pode ser utilizada para avaliar a variação biológica da ordem, embora haja uma perda de informação associada a essa abordagem. Também evidenciamos uma redução nos limites da dimensionalidade em função das alterações antrópicas, provavelmente uma consequência das variações ambientais encontradas dentro das diferentes categorias de uso e cobertura do solo. Nesse sentido, os ambientes florestais, como florestas primárias e plantada, exibiram a maior biodiversidade de Odonata, seguidas de mineração e pastagem, que apresentaram dimensões intermediárias e semelhantes. Por outro lado, áreas urbanas e influenciadas secundariamente pela mineração são categorias que sustentam comunidades com menor variação biológica observada.

Em relação às métricas de diversidade, algumas contribuíram mais para a variação da dimensionalidade do que outras. Comunidades em minerodutos e áreas urbanas destacaram-se pela importância da dimensionalidade funcional, enquanto outras categorias de ambientes apresentaram destaque para duas ou mais métricas representativas de diferentes dimensionalidades, com a abundância de espécies e a riqueza funcional sendo constantes em todas as categorias. Também detectamos que apenas em ambientes florestados, as métricas variabilidades filogenéticas de espécies (PSV) e uniformidade filogenética (Peve) foram selecionadas como métricas importantes para a representam da biodiversidade, sendo igualmente importantes para explicar a dimensionalidade dessas comunidades. Vale ressaltar que a riqueza de espécies, outra métrica amplamente utilizada, também foi importante, principalmente em áreas de palma, pasto e mineração. Portanto, recomendamos a inclusão dessas métricas na avaliação da biodiversidade de Odonata na Amazônia. Por fim, concluímos que a ordem Odonata é um bom grupo modelo para avaliar e monitorar os impactos ambientais na Amazônia, já que sua biodiversidade responde as alterações nos parâmetros físico, químico e estruturais das áreas convertidas pelo homem. No entanto, ressaltamos que as métricas de diversidade a serem utilizadas devem ser selecionadas criteriosamente de acordo com o objetivo e interesse da pesquisa, buscando englobar o máximo de representatividade da variação biológica possível.

Agradecimentos

We are grateful to the Hydro Paragominas Company for supporting the research project “Aquatic biota monitoring and assessment upstream and downstream of bauxite pipeline Norsk Hydro Paragominas - Barcarena (Pará, Brazil) – an instream and riverscape approach” (process 20/19) through the Biodiversity Research Consortium Brazil-Norway (BRC) and Hydro Alunorte for supporting the research project “Avaliação de biota aquática e atributos funcionais de plantas das principais microbacias de Barcarena”, for providing funding and logistical support, as well as for scholarship grants to authors xx and xx. We thank CNPq for their research productivity scholarships to LJ (process 304710/2019-9) and LFAM (process 302406/2019-0).

Referências Bibliográficas

- Abell, R. 2002. Conservation Biology for the Biodiversity Crisis: a Freshwater Follow-up. - *Conserv. Biol.* 16: 1435–1437.
- Almeida, A. S. and Vieira, I. C. G. 2010. Centro de endemismo Belém: status da vegetação remanescente e desafios para a conservação da biodiversidade e restauração ecológica. - *REU* 36: 95–111.
- Alves-Martins, F. et al. 2019. Metacommunity patterns of Amazonian Odonata: the role of environmental gradients and major rivers. - *PeerJ* 7: e6472.
- Anjos, L. J. S. et al. 2021. Forest remnants in private lands are critical to the persistence of endangered

- birds in an Amazonian hotspot. - *J. Nat. Conserv.* 61: 1–6.
- Bastos, R. C. et al. 2021. Environmental impacts from human activities affect the diversity of the Odonata (Insecta) in the Eastern Amazon. - *Int. J. Odonatol.* 24: 300–315.
- Batista, J. D. et al. 2021. Sampling efficiency of a protocol to measure Odonata diversity in tropical streams (LU Hepp, Ed.). - *PLoS One* 16: e0248216.
- Brasil, L. S. et al. 2018. Spatial, biogeographic and environmental predictors of diversity in Amazonian Zygoptera (C Hassall and G Sahlen, Eds.). - *Insect Conserv. Divers.* 11: 174–184.
- Brasil, L. S. et al. 2020a. The habitat integrity index and aquatic insect communities in tropical streams: A meta-analysis. - *Ecol. Indic.* 116: 106495.
- Brasil, L. S. et al. 2020b. The importance of common and the irrelevance of rare species for partition the variation of community matrix: implications for sampling and conservation. - *Sci. Rep.* 10: 19777.
- Brasil, L. S. et al. 2020. Monitoreo participativo de igarapés en brasileña utilizando Odonata. - *Hetaerina* in press.
- Brasil, L. S. et al. 2021. A niche-based gap analysis for the conservation of odonate species in the Brazilian Amazon. - *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 31: 1150–1157.
- Brito, J. P. et al. 2021a. Response of the Zygopteran Community (Odonata: Insecta) to Change in Environmental Integrity Driven by Urbanization in Eastern Amazonian Streams. - *Ecologies* 2: 150–163.
- Brito, J. et al. 2021b. Environmental variables affect the diversity of adult damselflies (Odonata: Zygoptera) in western Amazonia. - *Int. J. Odonatol.* 24: 108–121.
- Camargo, J. A. 1992. Can Dominance Influence Stability in Competitive Interactions? - *Oikos* 64: 605.
- Carvalho, F. G. et al. 2013a. Effects of marginal vegetation removal on Odonata communities. - *Acta Limnol. Bras.* 25: 10–18.
- Carvalho, F. G. et al. 2013b. Uso da curva ABC como método para detectar o efeito de modificação antropogênica sobre assembleia de Odonata (Insecta). - *Interciencia* 38: 516–522.
- Carvalho, F. G. et al. 2018. Oil palm plantation is not a suitable environment for most forest specialist species of Odonata in Amazonia. - *Anim. Conserv.* 21: 526–533.
- Carvalho, F. C. et al. 2021. Changes of phylogenetic and taxonomic diversity of odonata (Insecta) in response to land use in amazonia. - *Forests* 12: 1–15.
- Carvalho, F. G. et al. 2022. Detecting Darwinian Shortfalls in the Amazonian Odonata. - *Neotrop. Entomol.* 51: 404–412.
- Cianciaruso, M. V. et al. 2009. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. - *Biota Neotrop.* 9: 93–103.
- Cracraft, J. 1985. Historical Biogeography and Patterns of Differentiation within the South American Avifauna : Areas of Endemism. - *Am. Ornithol.*: 49–84.
- De Marco, P. et al. 2015. Community assembly of adult odonates in tropical streams: An

ecophysiological hypothesis. - PLoS One in press.

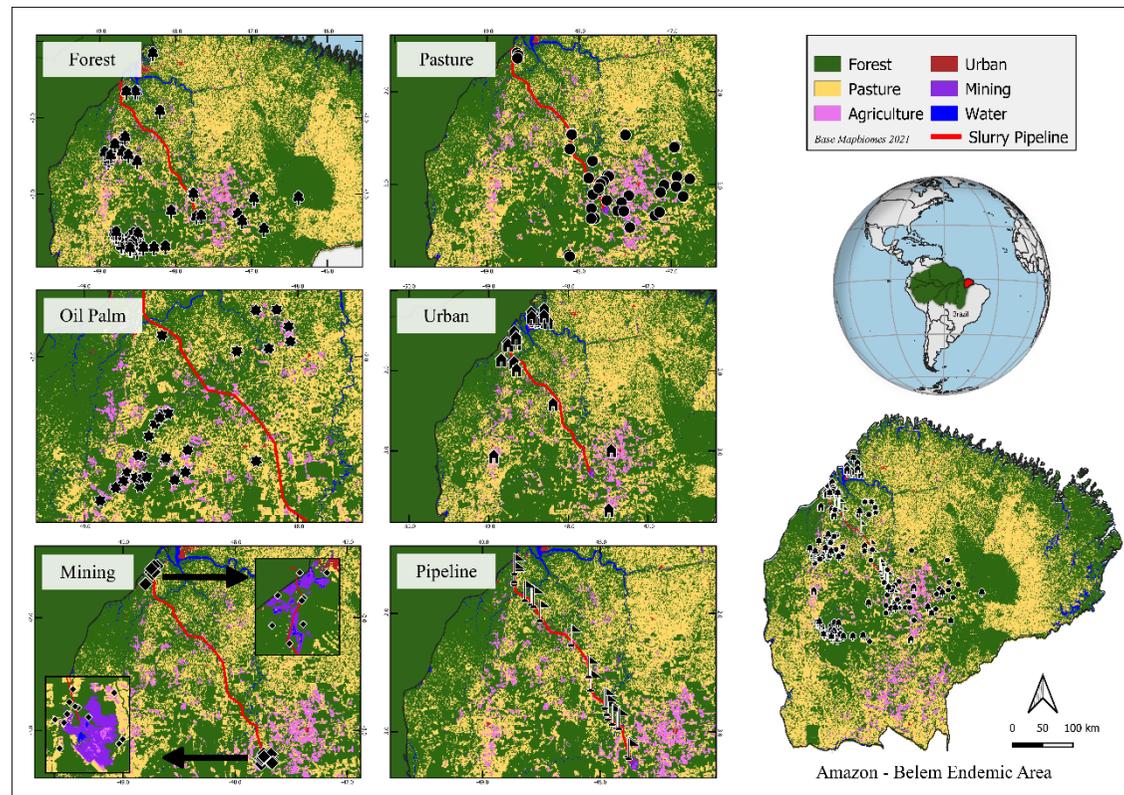
- Deegan, L. A. et al. 2011. Amazon deforestation alters small stream structure, nitrogen biogeochemistry and connectivity to larger rivers. - *Biogeochemistry* 105: 53–74.
- Dias-Silva, K. et al. 2020. Land use change causes environmental homogeneity and low beta-diversity in Heteroptera of streams. - *Ann. Limnol. - Int. J. Limnol.* 56: 9.
- Diniz, T. D. 1986. Caracterização climática da Amazônia Oriental. - In: Burger, D. M. et al. (eds), *Pesquisa sobre utilização e conservação do solo na Amazônia Oriental*. 1st ed.n. EMBRAPA, pp. 1–291.
- Down, C. G. and Stocks, J. 1977. *Environmental impact of mining*. - John Wiley & Sons.
- Ellenberg, H. and Mueller Dombois, D. 1967. Tentative physiognomic-ecological classification of plant formations of the earth. - *Berichte des Geobot. Institutes der Eidg. Techn.* 37: 21–55.
- Enríquez Espinosa, A. C. et al. 2020. Effects of mining and reduced turnover of Ephemeroptera (Insecta) in streams of the Eastern Brazilian Amazon. - *J. Insect Conserv.* 24: 1061–1072.
- Faith, D. P. 1992. Conservation evaluation and phylogenetic diversity. - *Biol. Conserv.* 61: 1–10.
- Faria, A. P. J. et al. 2023. Land use types determine environmental heterogeneity and aquatic insect diversity in Amazonian streams. - *Hydrobiol.* 2023: 1–18.
- Ferreira, V. R. S. et al. 2023. Amazonian Odonata Trait Bank. - *Ecol. Evol.* 13: 1–21.
- Giam, X. 2017. Global biodiversity loss from tropical deforestation. - *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 114: 5775–5777.
- Haffer, J. 1978. Distribution of Amazon Forest Birds. - *Bonner Zool. Beiträge*: 38–76.
- Hall, J. P. W. and Harvey, D. J. 2002. The phylogeography of Amazonia revisited: New evidence from rioidinid butterflies. - *Evolution (N. Y.)*. 56: 1489–1497.
- Helmus, M. R. et al. 2007. Phylogenetic measures of biodiversity. - *Am. Nat.* 169: 68–83.
- Hutchinson, G. E. 1957. Concluding Remarks. - *Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol.* 22: 415–427.
- IBGE 2021. *Bacias Hidrográficas do Brasil BHB250 Documentação Técnica*.
- Juen, L. and De Marco, P. 2012. Dragonfly endemism in the Brazilian Amazon: competing hypotheses for biogeographical patterns. - *Biodivers. Conserv.* 21: 3507–3521.
- Juen, L. et al. 2016. Effects of oil palm plantations on the habitat structure and biota of streams in Eastern Amazon. - *RIVER Res. Appl.* in press.
- Koh, L. P. 2004. Species Coextinctions and the Biodiversity Crisis. - *Science (80-.)*. 305: 1632–1634.
- Laliberte, E. and Legendre, P. 2010. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. - *Ecology* 91: 299–305.
- Laurance, W. F. 2007. Have we overstated the tropical biodiversity crisis? - *Trends Ecol. Evol.* 22: 65–70.
- Leal, C. G. et al. 2020. Integrated terrestrial-freshwater planning doubles conservation of tropical aquatic species. - *Science (80-.)*. in press.

- Leitão, R. P. et al. 2018. Disentangling the pathways of land use impacts on the functional structure of fish assemblages in Amazon streams. - *Ecography (Cop.)*. 41: 219–232.
- Lyashevskaya, O. and Farnsworth, K. D. 2012. How many dimensions of biodiversity do we need? - *Ecol. Indic.* 18: 485–492.
- Magurran, A. 2004. *Measuring Biological Diversity*.
- May, M. L. 1991. Thermal adaptations of dragonflies, revisited. - *Adv. Odonatol.* 5: 71–88.
- McPeck, M. A. 2008. Ecological factors limiting the distributions and abundances of Odonata. - In: Córdoba-Aguilar, A. (ed), *Dragonflies and Damselflies: Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research*. 1st ed.n. Oxford University Press, pp. 51–62.
- Mendes, T. P. et al. 2020. Morphological diversity of Odonata larvae (Insecta) and abiotic variables in oil palm plantation areas in the Eastern Amazon. - *Hydrobiologia* 847: 161–175.
- Mendes, T. P. et al. 2021. Recovery processes in areas affected by mining : a scientiometric review. - *Ciência e Nat.* in press.
- Mendoza-Penagos, C. C. et al. 2021. A new biomonitoring method using taxonomic families as substitutes for the suborders of the Odonata (Insecta) in Amazonian streams. - *Ecol. Indic.* 124: 107388.
- Miguel, T. B. cap. M. et al 2016ANLISE C. D. C. transportes. pd. et al. 2017. Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. - *Ecol. Indic.* 81: 555–566.
- Monteiro-Júnior, C. S. et al. 2013. Effect of vegetation removal for road building on richness and composition of Odonata communities in Amazonia, Brazil. - *Int. J. Odonatol.* 16: 135–144.
- Monteiro Júnior, C. D. S. et al. 2015. Analysis of urban impacts on aquatic habitats in the central Amazon basin: Adult odonates as bioindicators of environmental quality. - *Ecol. Indic.* 48: 303–311.
- Nakamura, G. et al. 2019. Revisiting the dimensionality of biological diversity. - *Ecography (Cop.)*. 43: 539–548.
- Oliveira-Junior, J. M. B. and Juen, L. 2019. The Zygoptera/Anisoptera Ratio (Insecta: Odonata): a New Tool for Habitat Alterations Assessment in Amazonian Streams. - *Neotrop. Entomol.* 48: 552–560.
- Oliveira-Junior, J. M. B. et al. 2021. Patterns of co-occurrence and body size in dragonflies and damselflies (Insecta: Odonata) in preserved and altered Amazonian streams. - *Austral Entomol.* 60: 436–450.
- Paulson, D. 2023. *World Odonata List*. - puget sound - museum Nat. Hist.
- Peel, M. C. et al. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. - *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 4: 439–473.
- Pereira, D. F. G. et al. 2019. Environmental changes promote larger species of Odonata (Insecta) in Amazonian streams. - *Ecol. Indic.* 98: 179–192.
- Petchey, O. L. and Gaston, K. J. 2006. Functional diversity: back to basics and looking forward. - *Ecol. Lett.* 9: 741–758.

- Pinillos, D. et al. 2021. Landholders' perceptions on legal reserves and agricultural intensification: Diversity and implications for forest conservation in the eastern Brazilian Amazon. - *For. Policy Econ.* 129: 102504.
- Prates, R. C. and Bacha, C. J. C. 2011. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. - *Econ. e Soc.* 20: 601–636.
- Resende, B. O. et al. 2021a. Seasonal fluctuations in the structure of the larval odonate community of a stream in the Cerrado–Amazon forest transition zone. - *Aquat. Ecol.* 55: 861–873.
- Resende, B. O. et al. 2021b. Impact of environmental changes on the behavioral diversity of the Odonata (Insecta) in the Amazon. - *Sci. Rep.* 11: 9742.
- Ricciardi, A. and Rasmussen, J. B. 2001. Extinction rates of North American freshwater fauna. - *Conserv. Biol.* 13: 1220–1222.
- Ridley, M. 2003. *Evolution*. - Wiley.
- Sahlén, G. 2005. Specialists vs. generalists in the Odonata - the importance of forest environments in the formation of diverse species pools. - In: Rivera, A. C. (ed), *Forests and Dragonflies (Fourth World Dragonfly Association International Symposium of Odonatology, Pontevedra, Spain, July 2005)*. Pensoft Publishers, pp. 153–179.
- Scheiner, S. M. 2019. A compilation of and typology for abundance-, phylogenetic- And functional-based diversity metrics. - *bioRxiv*: 1–29.
- Schor, T. 2021. *Dinâmica urbana na Amazônia brasileira* (Karel Langermans, Ed.). - Embu das Artes.
- Silva, J. M. C. da et al. 2002. Differentiation of *Xiphocolaptes* (Dendrocolaptidae) across the river Xingu, Brazilian Amazonia : Recognition of a new phylogenetic species and implications. - *Br. Omi. Club* 122: 185–194.
- Silva, J. M. C. et al. 2005. The Fate of the Amazonian Areas of Endemism. - *Conserv. Biol.* 19: 689–694.
- Silva, D. P. et al. 2010. Adult odonate abundance and community assemblage measures as indicators of stream ecological integrity: A case study. - *Ecol. Indic.* 10: 744–752.
- Silva, L. F. R. et al. 2021. Functional responses of Odonata larvae to human disturbances in neotropical savanna headwater streams. - *Ecol. Indic.* 133: 108367.
- Stevens, R. D. and Tello, J. S. 2014. On the measurement of dimensionality of biodiversity. - *Glob. Ecol. Biogeogr.* 23: 1115–1125.
- Stevens, R. D. and Gavilanez, M. M. 2015. Dimensionality of community structure: phylogenetic, morphological and functional perspectives along biodiversity and environmental gradients. - *Ecography (Cop.)*. 38: 861–875.
- Tews, J. et al. 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. - *J. Biogeogr.* 31: 79–92.
- Tucker, C. M. et al. 2017. A guide to phylogenetic metrics for conservation, community ecology and macroecology. - *Biol. Rev.* 92: 698–715.
- Villéger, S. et al. 2008. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. - *Ecology* 89: 2290–2301.

- Webb, C. O. 2000. Exploring the Phylogenetic Structure of Ecological Communities: An Example for Rain Forest Trees. - *Am. Nat.* 156: 145.
- Webb, C. O. et al. 2003. Phylogenies and Community Ecology. - <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150448> 33: 475–505.
- Wilsey, B. J. et al. 2005. Relationships among indices suggest that richness is an incomplete surrogate for grassland biodiversity. - *Ecology* 86: 1178–1184.
- Yap, T. A. et al. 2015. Averting a North American biodiversity crisis. - *Science* (80-.). 349: 481–482.

Material Suplementar



Material suplementar 1 – Mapa demonstrando a distribuição dos pontos amostrais, com recortes de zoom para cada uma das categorias de uso e cobertura do solo abordados no presente trabalho.

Material suplementar 2 – Tabela contendo as porcentagens de cada classe de uso e cobertura do solo detectado nos nossos pontos amostrais. O buffer utilizado foi de 200 m nos entornos do transecto localizado dentro do canal de água. Coordenadas dos pontos disponíveis logo abaixo.

ID	Category	Primary Forest	Secondary Forest	Pioneer Forest	Pasture	Urban area	Hydrography	Exposed Soil	Cloud	Mining	Grassland Formation	Savannah	Other Perennial Crops	Planted Forest	Other Temporary Crops
358-1	forest	80	5	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
549-3	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CNV06	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CNV07	forest	87.39	7.61	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
GURUPI04	forest	80	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GURUPI06	forest	90	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
HYL16	forest	99.59	0.41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HYP15	forest	92.79	0	0	0	7.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IFTREF1	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IFTREF2	forest	90	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
IFTREF3	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IFTREF5	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IFTREF7	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IFTREF8	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P18P10	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P22F09	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P23F10	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2F2	forest	99.79	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P34F12	forest	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
P35F13	forest	88.17	5.57	6.26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P36F11	forest	98.55	1.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3F3	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P5F5	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6F6	forest	90	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P7F7	forest	91.72	7.85	0	0	0	0	0.43	0	0	0	0	0	0	0
REF04	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA10U	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T20-1	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA10U	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T20-2	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA12U	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T11-1	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA12U	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T11-2	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA12U	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T29	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

UPA13U T27-1	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA13U T31	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA14U T10	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA14U T20-1	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA14U T23	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA5UT REF1	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA5UT 20	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA6UT 13	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA6UT 16	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA6UT 80	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA7UT 30-2	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA7UT 55	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA8UT 41	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UPA9UT 5	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X108	forest	80	8.13	0	11.85	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0
X123	forest	93.29	6.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X171	forest	80	0	0	0	9.49	5	5	1	0	0	0	0	0	0
X194	forest	82.67	0	0	7.33	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
X56	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X59	forest	80	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
PB5	forest	98.30065	4	0	1.69934	6405	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PB6	forest	91.86046	5	0	8.13953	4884	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PMF101	forest	80.09669	6	0	10.9033	0379	9	0	0	0	0	0	0	0	0
T3 sta.barbara	forest	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HYH09	mining	0	14.81	0	0	8.62	0	15	0	61.57	0	0	0	0	0
HYH14	mining	0	7.12	0	0	15.22	0	10	0	67.66	0	0	0	0	0
HYI06-1	mining	93.5	3.5	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
HYI09	mining	70	10	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0

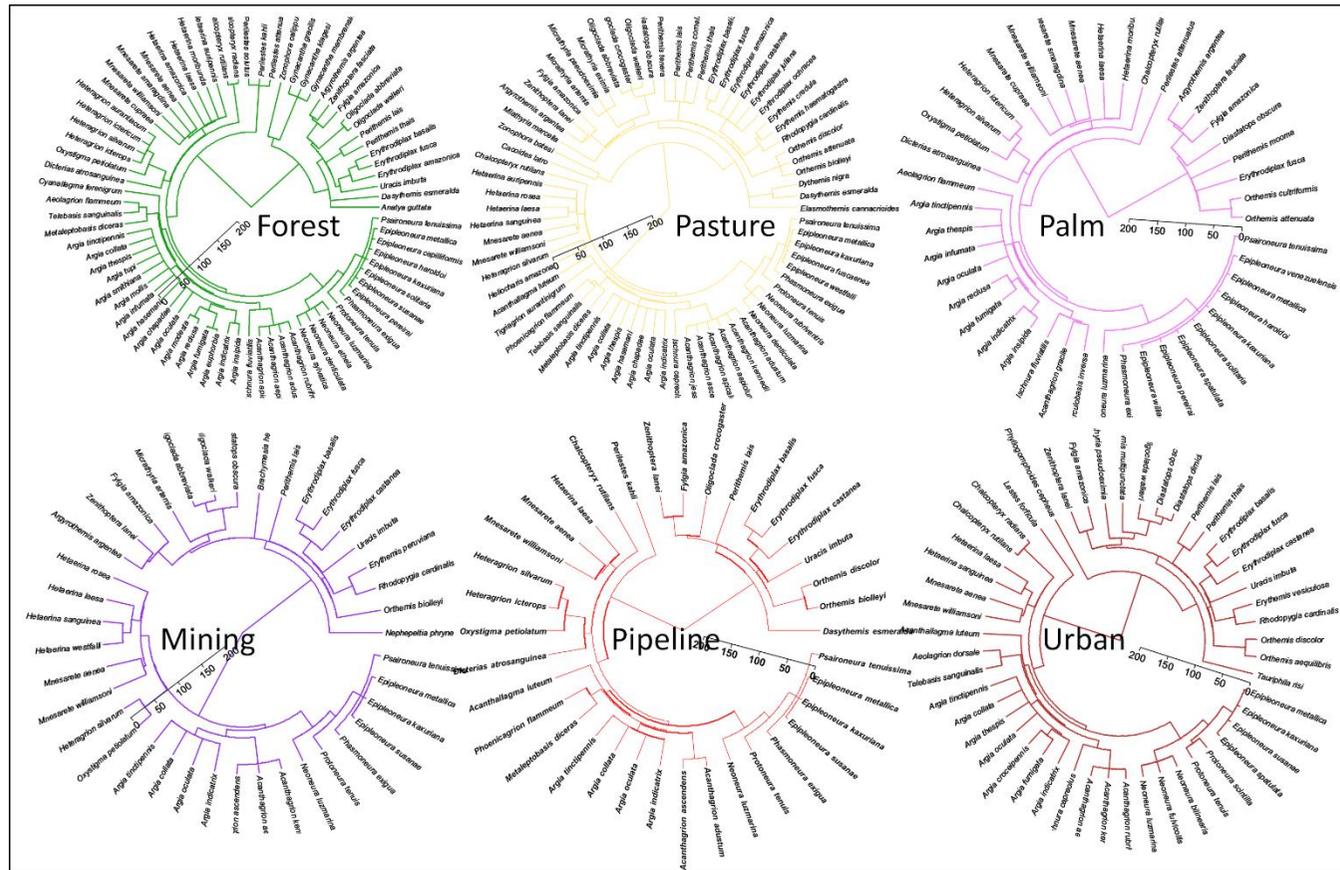
HYI10	minin g	0	19.13	10.73	0	9.51	0	0	0	60.63	0	0	0	0	0
HYJ04	minin g	0	0	0.18	0	24.57	0	20.25	0	55	0	0	0	0	0
HYK07	minin g	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HYL09	minin g	0	31.69	0	0	18.31	0	0	0	50	0	0	0	0	0
HYO05	minin g	0.02	12.53	11.1	0	35.82	0	20	0	20.53	0	0	0	0	0
HYP13	minin g	20	30	0	0	0	0	20	0	30	0	0	0	0	0
HYP13-1	minin g	14.57	30.96	11.39	0	0	0	20	0	23.08	0	0	0	0	0
A1	minin g	65	0	0	0	15		5	0	15	0	0	0	0	0
PB27	minin g	70	5	0	0	0	0	10	0	15	0	0	0	0	0
PB8	minin g	50	0	0	0	0	0	0	0	40	10	0	0	0	0
PC02	minin g	70	0	0	0	10	0	10	0	10	0	0	0	0	0
PM1	minin g	87.82908 7	0	0	0.1	0	0	0	0	12.07	0	0	0	0	0
PM35	minin g	50	15	0	0	0	0	5	0	30	0	0	0	0	0
PM36	minin g	80.93987 3	5.9862869 2	0	0	0	0	2.61075 9494	0	10.4630 8017	0	0	0	0	0
PMF14	minin g	50	10	0	0	0	0	5	0	35	0	0	0	0	0
PMO2	minin g	60	10	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0
V1	minin g	60	10	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0
P10P2	oil palm	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0
P16P8	oil palm	37.48926 3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52.51	0	0
P19P11	oil palm	11.91591 8	28.915	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59.17	0	0
P20P12	oil palm	42.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57.66	0	0
P21P13	oil palm	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0
P24P14	oil palm	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0
P25P15	oil palm	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0
P26P16	oil palm	25.22 7.297204	11.89	0	12.35	0	0	0	0	0	0	0	50.54	0	0
P27P17	oil palm	6	19.04	11.54	0	0	0	0	0	0	0	0	62.12	0	0
P28P18	oil palm	19.69626 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80.3	0	0
P29P19	oil palm	0	25.55	10.6	0	0	0	0	0	0	0	0	63.85	0	0

P30P20	oil palm oil	12.041089	8.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79.78	0	0
P31P21	oil palm oil	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0
P32P22	oil palm oil	0	0	0	0	0	0	0.14	0	0	0	0	0	99.86	0	0
P33P23	oil palm oil	0	6.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93.73	0	0
P37P24	oil palm oil	0	6.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93.73	0	0
P9P1	oil palm oil	38.066115	11.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50.28	0	0
PALM03	oil palm oil	0	40	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0
PALM10	oil palm oil	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0
PALM12	oil palm oil	0	0	15.86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84.14	0	0
PALM16	oil palm oil	0	26.26	6.27	3.17	0	0.36	0	0	0	0	0	0	63.94	0	0
PALM18	oil palm oil	0	34.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65.93	0	0
PALM19	oil palm oil	0	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0	0
PALM20	oil palm oil	0	49.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50.66	0	0
PALM22	oil palm oil	13.6	28.42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57.98	0	0
PMF102	oil palm oil	36	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	0	0
PMF104	oil palm oil	29.427688	10.572312	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	50	0	0
T109	oil palm oil	32.713844	10.286156	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	52	0	0
100-2	pasture	0	47.32	0	52.68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142-2	pasture	18	30	0	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142-3	pasture	0	0	20	50	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
152-1	pasture	0	30	0	50	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
245-1	pasture	0	16.87	0	51	0	0.13	32	0	0	0	0	0	0	0	0
358-2	pasture	0	0	0	71.95	0.98	0	27.07	0	0	0	0	0	0	0	0
369-1	pasture	0	40	0	50	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
423-1	pasture	0	41.97	0	55.5	2.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
423-4	pasture	0	15.83	0	56.25	0	27.92	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44-1	pasture	0	0	0	52.2	21.2	16.73	9.87	0	0	0	0	0	0	0	0
44-4	pasture	0	19.29	0	80.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CNV05	pasture	7.24	0	0	92.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CNV09	pasture	0	0	0	50	18	0	32	0	0	0	0	0	0	0
CNV10	pasture	11.4	16.33	0	72.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HYA10	pasture	20	20	0	51	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0
HYQ03	pasture	0	33.72	0	51	0.78	0	14.5	0	0	0	0	0	0	0
PST08	pasture	0	0	4.65	72.71	22.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST10	pasture	0	10	0	60	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X1	pasture	0	17.1	0	52.35	29.69	0	0.86	0	0	0	0	0	0	0
X109	pasture	0	0	0	58	20.32	0.56	0	21.12	0	0	0	0	0	0
X121	pasture	1.01	44.07	0	51.31	3.61	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X122	pasture	0	8.06	0	59.46	31.48	1	0	0	0	0	0	0	0	0
X131	pasture	0	0	0	80.23	3.16	0	0	16.61	0	0	0	0	0	0
X15	pasture	0	0	0	58.02	36.46	0	5.52	0	0	0	0	0	0	0
X180	pasture	0	0	0	58.83	20.84	0	20.33	0	0	0	0	0	0	0
X183	pasture	0	10	0	60.13	13.58	0.05	16.24	0	0	0	0	0	0	0
X191	pasture	0	1.83	0	54.28	43.89		0	0	0	0	0	0	0	0
X22	pasture	0	12.76	0	50.14	10.3	9	7.8	0	10	0	0	0	0	0
X4	pasture	0	20	0	55	10	0	15	0	0	0	0	0	0	0
X6	pasture	0	0	0	50	5.33	18.25	26.42	0	0	0	0	0	0	0
PB20	pasture	38.135593	0	0	61.86440678	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PB22	pasture	45.783133	0	0	54.21686747	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC06	pasture	40	10	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PMF3B	pasture	25.043178	0	0	74.95682211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PMF4C	pasture	24.489796	0	0	75.51020408	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PMF5	pasture	48.806563	0	0	51.19343696	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PMF6B	pasture	10	0	0	80	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
PMF7	pasture	5.5315471	0	0	84.4684529	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
PM10	pipeline	63.844394	0	0	36.15560641	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PM107	pipeli ne	59.98931 6	0	0	40.0106 8376	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM12	pipeli ne	60	0	15	20	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
PM13	pipeli ne	81	0	0	0	0	0	8.64946 8892	0	10.35	0	0	0	0	0
PM14	pipeli ne	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM16	pipeli ne	87.91529 8	0	0	12.0847 0245	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM20	pipeli ne	87.28162 1	0	0	12.7183 7876	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM21	pipeli ne	31.08614 2	0	0	24.2509 3633	0	0	0	0	0	0	0	0	10.58052 434	0
PM24	pipeli ne	60.52700 9	0	0	39.4729 9078	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM25	pipeli ne	20.94986 8	0	0	79.0501 3193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM26	pipeli ne	60.52700 9	0	0	39.4729 9078	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM27	pipeli ne	59	0	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM3	pipeli ne	82.86304 2	0	0	17.1369 5802	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM31	pipeli ne	78.38369	0	0	20.9285 1879	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.687791697
PM32	pipeli ne	72.35735 4	0	0	27.6426 4606	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM33	pipeli ne	63	7	0	3	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0
PM4	pipeli ne	93.08082 3	0	0	6.91917 6857	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM8	pipeli ne	46.67503 1	0	0	53.3249 6863	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PMF1B	pipeli ne	68	26	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0
PST04	urban	0	0	22.27	27.55	50.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J2	urban	50	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J3	urban	50	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L3	urban	48	0	0	1	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PMF100	urban	30	10	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PMF103	urban	39.89290 5	0	0	9.10709 5047	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PMF105	urban	31.47410 4	0	0	12.5258 9641	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PMF13	urban	39.94066 1	0	0	1.72365 0749	50	0	0	0	5.566544222	2.76914 3826	0	0	0	0
Z1	urban	27.65957 4	0	0	21.0638 2979	50	0	0	0	0	0	0	0	0	1.276595745
Brancas	urban	0	10	10	0	70	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Apeti	urban	0	8	5	0	87	0	8	0	0	0	0	0	0	0

Neópolis	urban	30	15	0	0	52	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Paar	urban	25	10	5	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Paraíso dos Reis	urban	0	4	0	0	81	0	0	0	0	0	0	0	15	0
Pau D'Arco	urban	10	20	0	0	62	5	3	0	0	0	0	0	0	0
Sítio Uruana	urban	10	30	0	0	53	2	5	0	0	0	0	0	0	0
Parque dos s	urban	10	10	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tenoné	urban	6	10	0	0	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T07	urban	0	0	20	0	50	0	30	0	0	0	0	0	0	0
T107	urban	0	5	10	10	57	0	18	0	0	0	0	0	0	0
T114	urban	5	10	0	0	51	0	10	0	0	0	0	0	24	0



Material suplementar 3 – Cladograma das árvores filogenéticas oriundas das comunidades de Odonata amostradas em diferentes categorias de uso e cobertura do solo no centro de endemismo Bélem na Amazônia. Os fundamentos dessas árvores está disponível em (Carvalho et al. 2021) e foi utilizada no presente trabalho como base evolutiva para as métricas de diversidade filogenética.

Material suplementar 4 – Códigos das árvores filogenéticas das comunidades de Odonata amostradas em diferentes categorias de uso e cobertura na Amazônia.

Forest:(((Anatya_guttata:89.79080348,Dasythemis_esmeralda:89.79080348,(((Uracis_imbuta:67.60249617,(Erythrodiplax_amazonica:43.27202925,(Erythrodiplax_fusca:25.72971835,Erythrodiplax_basalis:25.72971835)node100:17.54231086)node97:24.33046696)node90:8.302195274,(Perithemis_thais:40.53694911

,Perithemis_lais:40.53694905)node126:35.36774239)node8:0.5629943594,((Oligoclada_walkeri:8.879841192,Oligoclada_abbreviata:8.879841192)NA:62.88861226,(Fylgia_amazonica:38.69731899,(Zenithoptera_fasciata:34.74431608,Argyrothemis_argentea:34.74431608)node209:3.95300291)node207:33.07113441)node132:4.699232402)node7:13.32311761)Libellulidae:27.50774806,((Gynacantha_membranalis:15.61101746,Gynacantha_klagesi:15.61101746,Gynacantha_gracilis:15.61101743)node413:86.57255142,Zonophora_calippus:102.1835689)node380:15.11498263)Anisoptera:119.7014485,((Perilestes_attenuatus:11.10390731,Perilestes_kahli:11.10390728,Perilestes_solutus:11.10390728)node570:86.82619692,(((Chalcopteryx_radians:6.37475668,Chalcopteryx_rutilans:6.374756664)node657:71.88629115,(((Hetaerina_auripennis:62.35228173,Hetaerina_moribunda:62.35228173,Hetaerina_laesa:62.3522817,Hetaerina_amazonica:62.35228173)node733:1.516741184,(Mnesarete_aenea:59.64547485,Mnesarete_smaragdina:59.64547485,Mnesarete_williamsoni:59.64547485,Mnesarete_cupraea:59.64547481)node748:4.223548063)node732:13.73140267,(((Heteragrion_aurantiacum:15.85425916,Heteragrion_ictericum:15.85425916,Heteragrion_silvarum:15.85425916,Heteragrion_icterops:15.85425916)Heteragrionidae:14.01746775,Oxystigma_petiolum:29.87172691)node857:35.13701816,Dicterias_atrosanguinea:65.00874509)node809:12.59168051)node674:0.6606222684)node653:0.417197215,((Cyanallagma_ferenigrum:65.20831023,((Aeolagrion_flammeum:27.93175799,Telebasis_sanguinalis:27.93175803)node930:13.6829383,Metaleptobasis_diceras:41.61469633)node928:21.26637582,((Argia_tinctipennis:46.98911725,Argia_collata:46.98911725,Argia_thespiis:46.98911725,Argia_tupi:46.98911725,Argia_smithiana:46.98911725,Argia_mollis:46.98911725,Argia_infumata:46.98911725,Argia_hasemani:46.98911725,Argia_chapadae:46.98911725,Argia_oculata:46.98911721,(((Argia_modesta:9.001200823,Argia_reclusa:9.001200823)node990:21.65021744,(Argia_fumigata:2.544741234,Argia_euphorbia:2.544741234)node994:28.10667702)node986:13.4545105,(Argia_indicatrix:20.85370304,Argia_insipida:20.85370304)node1012:23.25222571)node984:2.883188454)node951:13.70743035,(Ischnura_fluviatilis:47.67147848,(Acanthagrion_apicale:15.60939238,Acanthagrion_aepiolum:15.60939238,Acanthagrion_adustum:15.60939238,Acanthagrion_rubrifrons:15.60939233)node1141:32.06208615)node1045:13.02506907)node950:2.184524544)node909:2.327238075)Coenagrionidae:7.538015217,((Neoneura_sylvatica:19.05617212,Neoneura_denticulata:19.05617212,Neoneura_ethela:19.05617212,Neoneura_luzmarina:19.05617212)node1292:19.71596858,(Protoneura_tenuis:25.77957217,(Phasmoneura_exigua:11.23209068,(Epipleoneura_pereirai:5.616045362,Epipleoneura_susanae:5.616045362,Epipleoneura_solitaria:5.616045362,Epipleoneura_kaxuriana:5.616045362,Epipleoneura_haroldoi:5.616045362,Epipleoneura_capilliformis:5.616045362,Epipleoneura_metallica:5.616045362)NA:5.616045315,Psaironeura_tenuissima:11.23209068)node1301:14.5474815)node1296:12.99256852)node1290:33.97418474)node899:5.931919632)node652:19.25185917)Zigoptera:139.0698958)node1;

Pasture:(((Elasmothemis_cannacrioides:89.79080348,(Dasythemis_esmeralda:44.89540174,Dythemis_nigra:44.89540174)NA:44.89540174,(((Orthemis_biolleyi:19.37839033,Orthemis_attenuata:19.37839033,Orthemis_discolor:19.3783903)node39:55.48844298,((Rhodopygia_cardinalis:34.02154852,(Erythemis_haematogastra:26.5996131,Erythemis_credula:26.5996131)node87:7.421935463)node85:34.69310122,(Erythrodiplax_ochracea:43.27202925,Erythrodiplax_juliana:43.27202925,Erythrodiplax_castanea:43.27202925,Erythrodiplax_amazonica:43.27202925,(Erythrodiplax_fusca:25.72971835,Erythrodiplax_basalis:25.72971835)node100:17.54231086)node97:25.44262054)node78:6.152183529)node9:1.037858167,(Perithemis_thais:40.53694911,Perithemis_cornelia:40.53694911,Perithemis_lais:40.53694905,Perithemis_tenera:40.53694905)node126:35.36774239)node8:0.5629943594,(((Diastatops_obscura:24.38561535,(Oligoclada_walkeri:8.879841192,Oligoclada_crocogaster:8.879841192,Oligoclada_abbreviata:8.879841192)NA:15.50577416)node151:35.79410418,(Micrathyria_eximia:22.68640974,Micrathyria_pseudoeximia:22.68640974,Micrathyria_artemis:22.68640974)node159:37.49330978)node134:11.58873392,(Fylgia_amazonica:38.69731899,(Zenithoptera_lanei:34.74431612,Argyrothemis_argentea:34.74431608)node209:3.95300291)node207:33.07113441)node132:1.934688858,Miathyria_marcella:73.70314226)node131:2.764543544)node7:13.32311761)Libellulidae:27.50774806,(Zonophora_batesi:90.3609698,Cacoides_latro:90.3609698)Gomphidae:26.93758174)Anisoptera:119.7014485,((Chalcopteryx_rutilans:78.26104781,(((Hetaerina_auripennis:62.35228173,Hetaerina_rosea:62.35228173,(Hetaerina_laesa:47.58136202,Hetaerina_sanguinea:47.58136201)node734:14.77091968)node733:1.516741184,(Mnesarete_aenea:59.64547485,Mnesarete_williamsoni:59.64547485)node748:4.223548063)node732:13.73140267,(Heteragrion_silvarum:65.00874507,Heliocharis_amazona:65.00874502)node809:12.59168

051)node674:0.6606222684)node653:0.417197215,((Acanthallagma_luteum:65.20831023,Tigriagrion_aurantinigrum:65.20831023,(((Phoenicagrion_flammeum:35.08172296,Telebasis_sanguinalis:35.081723)node929:6.532973324,Metaleptobasis_diceras:41.61469633)node928:21.26637582,((Argia_tinctipennis:46.98911725,Argia_collata:46.98911725,Argia_thespis:46.98911725,Argia_hasemani:46.98911725,Argia_chapadae:46.98911725,Argia_oculata:46.98911721,Argia_indicatrix:46.9891172)node951:13.70743035,(Ischnura_capreolus:47.67147853,(Acanthagrion_jessei:15.60939238,Acanthagrion_ascendens:15.60939238,Acanthagrion_apicale:15.60939238,Acanthagrion_aepiolum:15.60939238,Acanthagrion_kennedii:15.60939238,Acanthagrion_adustum:15.60939238)node1141:32.06208615)node1045:13.02506907)node950:2.184524544)node909:2.327238075)Coenagrionidae:7.538015217,((Neoneura_denticulata:19.05617212,Neoneura_luzmarina:19.05617212,Neoneura_rubriventris:19.05617212)node1292:19.71596858,(Protoneura_tenuis:25.77957217,(Phasmoneura_exigua:11.23209068,(Epipleoneura_westfalli:5.616045362,Epipleoneura_fuscaenea:5.616045362,Epipleoneura_kaxuriana:5.616045362,Epipleoneura_metallica:5.616045362)NA:5.616045315,Psaironeura_tenuissima:11.23209068)node1301:14.5474815)node1296:12.99256852)node1290:33.97418474)node899:5.931919632)node652:158.321755)node1;

Palm:((((Orthemis_attenuata:19.37839033,Orthemis_cultriformis:19.3783903)node39:55.48844298,Erythrodiplax_fusca:74.86683328)node9:1.037858167,Perithemis_mooma:75.9046915)node8:0.5629943594,(Diastatops_obscura:71.76845345,(Fylgia_amazonica:38.69731899,(Zenithoptera_fasciata:34.74431608,Argyrothemis_argentea:34.74431608)node209:3.95300291)node207:33.07113441)node132:4.699232402)node7:160.5323142,(Perilestes_attenuatus:97.93010423,(Chalcopteryx_rutilans:78.26104781,(((Hetaerina_moribunda:62.35228173,Hetaerina_laesa:62.3522817)node733:1.516741184,(Mnesarete_aenea:59.64547485,Mnesarete_smaragdina:59.64547485,Mnesarete_williamsoni:59.64547485,Mnesarete_cupraea:59.64547481)node748:4.223548063)node732:13.73140267,(Heteragrion_ictericum:15.85425916,Heteragrion_silvarum:15.85425916)Heteragrionidae:14.01746775,Oxystigma_petiolum:29.87172691)node857:35.13701816,Dicterias_atrosanguinea:65.00874509)node809:12.59168051)node674:0.6606222684)node653:0.417197215,((Aeolagrion_flammeum:62.8810721,((Argia_tinctipennis:46.98911725,Argia_thespis:46.98911725,Argia_infumata:46.98911725,Argia_oculata:46.98911721,((Argia_reclusa:30.65141826,Argia_fumigata:30.65141826)node986:13.4545105,(Argia_indicatrix:20.85370304,Argia_insipida:20.85370304)node1012:23.25222571)node984:2.883188454)node951:13.70743035,(Ischnura_fluviatilis:47.67147848,(Acanthagrion_gracile:44.54461477,Tuberculobasis_inversa:44.54461472)node1137:3.126863762)node1045:13.02506907)node950:2.184524544)node909:9.865253292,(Neoneura_luzmarina:38.77214069,(Phasmoneura_exigua:11.23209068,(Epipleoneura_williamsoni:5.616045362,Epipleoneura_pereirai:5.616045362,Epipleoneura_spatulata:5.616045362,Epipleoneura_solitaria:5.616045362,Epipleoneura_kaxuriana:5.616045362,Epipleoneura_haroldoi:5.616045362,Epipleoneura_metallica:5.616045362,Epipleoneura_venezuelensis:5.616045362)NA:5.616045315,Psaironeura_tenuissima:11.23209068)node1301:27.54005002)node1290:33.97418474)node899:5.931919632)node652:19.25185917)Zigoptera:139.0698958)node1;

Mining:((Nephepeltia_phryne:89.79080348,(((Orthemis_biolleyi:74.86683331,((Rhodopygia_cardinalis:34.02154852,Erythemis_peruviana:34.02154856)node85:34.69310122,(Uracis_imbuta:67.60249617,(Erythrodiplax_castanea:43.27202925,(Erythrodiplax_fusca:25.72971835,Erythrodiplax_basalis:25.72971835)node100:17.54231086)node97:24.33046696)node90:1.112153578)node78:6.152183529)node9:1.037858167,Perithemis_lais:75.90469144)node8:0.5629943594,(Brachymesia_herbida:76.23728242,(((Diastatops_obscura:24.38561535,(Oligoclada_walkerii:8.879841192,Oligoclada_abbreviata:8.879841192)NA:15.50577416)node151:35.79410418,Micrathyria_artemis:60.17971952)node134:11.58873392,(Fylgia_amazonica:38.69731899,(Zenithoptera_lanei:34.74431612,Argyrothemis_argentea:34.74431608)node209:3.95300291)node207:33.07113441)node132:4.468829036)node128:0.2304033662)node7:13.32311761)Libellulidae:147.2091966,(((Hetaerina_rosea:62.35228173,(Hetaerina_laesa:47.58136202,(Hetaerina_sanguinea:33.71251417,Hetaerina_westfalli:33.71251417)node735:13.86884784)node734:14.77091968)node733:1.516741184,(Mnesarete_aenea:59.64547485,Mnesarete_williamsoni:59.64547485)node748:4.223548063)node732:13.73140267,(Heteragrion_silvarum:29.87172691,Oxystigma_petiolum:29.87172691)node857:47.72869867)node674:1.077819483,(((Argia_tinctipennis:46.98911725,Argia_collata:46.98911725,Argia_oculata:46.98911721,Argia_indicatrix:46.9891172)node951:13.70743035,(Acanthagrion_ascendens:15.60939238,Acanthagrion_aepiolum:15.60939238,Acanthagrion_kennedii:15.60939238)node1141:45.08715522)node950:12.04977784,(Neoneura_luzmarina:38.772140

69,(Protoneura_tenuis:25.77957217,(Phasmonera_exigua:11.23209068,(Epipleoneura_susanae:5.616045362,Epipleoneura_kaxuriana:5.616045362,Epipleoneura_metallica:5.616045362)NA:5.616045315,Psaironeura_tenuissima:11.23209068)node1301:14.5474815)node1296:12.99256852)node1290:33.97418474)node899:5.931919632)node652:158.321755)node1;

Pipeline:((Dasythemis_esmeralda:89.79080348,(((Orthemis_biolleyi:19.37839033,Orthemis_discolor:19.3783903)node39:55.48844298,(Uracis_imbuta:67.60249617,(Erythrodiplax_castanea:43.27202925,(Erythrodiplax_fusca:25.72971835,Erythrodiplax_basalis:25.72971835)node100:17.54231086)node97:24.33046696)node90:7.264337107)node9:1.037858167,Perithemis_lais:75.90469144)node8:0.5629943594,(Oligoclada_crocogaster:71.76845345,(Fylgia_amazonica:38.69731899,Zenithoptera_lanei:38.69731903)node207:33.07113441)node132:4.699232402)node7:13.32311761)Libellulidae:147.2091966,(Perilestes_kahli:97.9301042,((Chalcopteryx_rutilans:78.26104781,((Hetaerina_laesa:63.86902288,(Mnesarete_aenea:59.64547485,Mnesarete_williamsoni:59.64547485)node748:4.223548063)node732:13.73140267,((Heteragrion_silvarum:15.85425916,Heteragrion_icterops:15.85425916)Heteragrionidae:14.01746775,Oxystigma_petiolum:29.87172691)node857:35.13701816,Dictierias_atrosanguinea:65.00874509)node809:12.59168051)node674:0.6606222684)node653:0.417197215,((Acanthallagma_luteum:65.20831023,((Phoenicagrion_flammeum:41.61469628,Metaleptobasis_diceras:41.61469633)node928:21.26637582,((Argia_tinctipennis:46.98911725,Argia_collata:46.98911725,Argia_oculata:46.98911721,Argia_indicatrix:46.9891172)node951:13.70743035,(Acanthagrion_ascendens:15.60939238,Acanthagrion_adustum:15.60939238)node1141:45.08715522)node950:2.184524544)node909:2.327238075)Coenagrionidae:7.538015217,(Neoneura_luzmarina:38.77214069,(Protoneura_tenuis:25.77957217,(Phasmonera_exigua:11.23209068,(Epipleoneura_susanae:5.616045362,Epipleoneura_kaxuriana:5.616045362,Epipleoneura_metallica:5.616045362)NA:5.616045315,Psaironeura_tenuissima:11.23209068)node1301:14.5474815)node1296:12.99256852)node1290:33.97418474)node899:5.931919632)node652:19.25185917)Zigoptera:139.0698958)node1;

Urban:(((Tauriphila_risi:89.79080348,(((Orthemis_aequilibris:19.37839033,Orthemis_discolor:19.3783903)node39:55.48844298,((Rhodopygia_cardinalis:34.02154852,Erythemis_vesiculosa:34.02154852)node85:34.69310122,(Uracis_imbuta:67.60249617,(Erythrodiplax_castanea:43.27202925,(Erythrodiplax_fusca:25.72971835,Erythrodiplax_basalis:25.72971835)node100:17.54231086)node97:24.33046696)node90:1.112153578)node78:6.152183529)node9:1.037858167,(Perithemis_thais:40.53694911,Perithemis_lais:40.53694905)node126:35.36774239)node8:0.5629943594,(((Diastatops_dimidiata:12.1928077,Diastatops_obscura:12.1928077)NA:12.19280765,Oligoclada_walkeri:24.38561535)node151:25.41840814,Dythemis_multipunctata:49.80402348)node135:10.37569604,Micrathyria_pseudoeximia:60.17971952)node134:11.58873392,(Fylgia_amazonica:38.69731899,Zenithoptera_lanei:38.69731903)node207:33.07113441)node132:4.699232402)node7:13.32311761)Libellulidae:27.50774806,Phyllogomphoides_cepheus:117.2985515)Anisoptera:119.7014485,(Lestes_forficula:97.93010419,(((Chalcopteryx_radians:6.37475668,Chalcopteryx_rutilans:6.374756664)node657:71.88629115,((Hetaerina_laesa:47.58136202,Hetaerina_sanguinea:47.58136201)node734:16.28766086,(Mnesarete_aenea:59.64547485,Mnesarete_williamsoni:59.64547485)node748:4.223548063)node732:14.39202493)node653:0.417197215,((Acanthallagma_luteum:65.20831023,((Aeolagrion_dorsale:27.93175799,Telebasis_sanguinalis:27.93175803)node930:34.94931411,((Argia_tinctipennis:46.98911725,Argia_collata:46.98911725,Argia_thespis:46.98911725,Argia_oculata:46.98911721,((Argia_croceipennis:30.65141826,Argia_fumigata:30.65141826)node986:13.4545105,Argia_indicatrix:44.10592875)node984:2.883188454)node951:13.70743035,(Ischnura_capreolus:47.67147853,(Acanthagrion_aepiolum:15.60939238,Acanthagrion_kennedii:15.60939238,Acanthagrion_rubrifrons:15.60939233)node1141:32.06208615)node1045:13.02506907)node950:2.184524544)node909:2.327238075)Coenagrionidae:7.538015217,((Neoneura_luzmarina:19.05617212,Neoneura_fulvicollis:19.05617207,Neoneura_bilinearis:19.05617207)node1292:19.71596858,((Protoneura_tenuis:19.73673044,Protoneura_scintilla:19.73673039)node1297:6.042841734,(Epipleoneura_spatulata:5.616045362,Epipleoneura_susanae:5.616045362,Epipleoneura_kaxuriana:5.616045362,Epipleoneura_metallica:5.616045362)NA:20.16352682)node1296:12.99256852)node1290:33.97418474)node899:5.931919632)node652:19.25185917)Zigoptera:139.0698958)node1;

Material suplementar 5 – Tabela contendo dados de identificação, georreferenciamento, data de coleta e métricas ambientais dos igarapés amostrados no centro de endemismo Belém.

ID	Category	Date	Latitude	Longitude	HII	Width	Depth	Flow ratio	Canopy	pH	Electrical Conduc.	O.D.	Water temperature
100-2	pasture	july, 2011	-2.746	-47.854	0.732	4.369	40.218	0.093	81.684	7.700	24.000	3.050	24.900
142-2	pasture	july, 2011	-2.901	-47.695	0.533	3.016	45.436	0.123	68.048	4.200	27.000	3.660	24.600
142-3	pasture	july, 2011	-2.913	-47.679	0.473	3.939	21.273	0.081	40.107	5.840	26.000	4.700	28.200
152-1	pasture	july, 2011	-2.940	-46.801	0.592	2.056	25.764	0.065	88.636	6.600	19.700	4.700	24.200
245-1	pasture	august, 2011	-3.128	-46.872	0.713	3.513	55.818	0.227	93.717	5.830	39.100	6.020	24.500
358-1	forest	july, 2011	-3.294	-47.183	0.800	2.427	29.764	0.158	89.973	7.750	44.600	3.930	24.200
358-2	pasture	july, 2011	-3.334	-47.180	0.520	2.823	48.364	0.243	36.898	7.090	37.700	2.960	29.100
369-1	pasture	july, 2011	-3.364	-47.833	0.340	7.677	41.082	0.621	38.636	4.640	29.400	4.400	25.600
423-1	pasture	july, 2011	-3.451	-47.464	0.494	1.871	34.527	0.165	41.176	4.640	35.500	6.760	28.100
423-4	pasture	july, 2011	-3.463	-47.450	0.648	2.209	18.636	0.108	88.369	4.810	53.800	1.960	24.600
44-1	pasture	july, 2011	-2.588	-46.957	0.473	4.318	75.418	0.873	44.118	5.640	26.600	2.440	26.400
44-4	pasture	july, 2011	-2.598	-46.968	0.615	2.842	37.745	0.290	70.722	4.750	28.100	3.840	26.300
549-3	forest	june, 2011	-3.782	-48.512	0.879	2.423	18.764	0.050	99.465	4.750	19.500	6.150	23.500
CNV05	pasture	september, 2014	-2.964	-47.737	0.689	1.940	14.564	NA	8.977	5.600	40.800	4.230	24.200
CNV06	forest	september, 2014	-3.021	-47.780	0.800	1.881	12.673	NA	28.295	4.720	27.000	3.590	24.400
CNV07	forest	september, 2014	-3.028	-47.766	0.800	2.474	11.982	NA	47.273	5.210	17.970	8.310	24.400
CNV09	pasture	september, 2014	-3.062	-47.789	0.506	2.139	12.709	NA	39.545	4.560	21.800	6.430	25.000
CNV10	pasture	september, 2014	-2.996	-47.770	0.579	1.809	13.395	NA	38.295	4.700	16.700	3.330	23.500
GURUPI04	forest	january, 2018	-3.073	-46.382	0.800	2.699	23.255	NA	92.380	4.553	0.050	4.880	23.897

GURUPI06	forest	january, 2018	-3.488	-46.836	0.80 0	5.000	10.00 0	NA	84.893	4.60 7	0.083	3.433	24.957
HYA10	pasture	july, 2017	-3.256	-47.868	0.56 1	4.982	41.60 0	NA	91.711	4.52 7	0.035	6.223	24.100
HYH09	mining	july, 2017	-3.254	-47.776	0.55 1	1.714	23.83 6	NA	69.118	6.13 0	0.032	8.783	27.287
HYH14	mining	july, 2017	-3.300	-47.767	0.54 0	5.585	58.10 9	NA	78.075	4.97 0	0.033	6.840	24.710
HYI06-1	mining	july, 2017	-3.225	-47.752	0.54 7	4.227	48.21 8	NA	80.348	4.85 3	0.025	7.193	24.153
HYI09	mining	july, 2017	-3.249	-47.720	0.48 2	2.450	39.20 4	NA	73.396	4.31 3	0.035	5.647	29.870
HYI10	mining	july, 2017	-3.258	-47.761	0.52 6	3.007	29.49 1	NA	84.759	5.96 7	0.039	7.943	27.590
HYJ04	mining	july, 2017	-3.204	-47.747	0.42 9	3.827	30.50 2	NA	70.856	6.15 7	0.022	7.893	24.617
HYK07	mining	july, 2017	-3.234	-47.738	0.50 0	4.465	39.81 8	NA	70.455	3.92 7	0.029	8.123	24.410
HYL09	mining	july, 2017	-3.244	-47.756	0.48 5	2.210	11.41 9	NA	87.701	4.43 0	0.038	7.263	24.140
HYL16	forest	july, 2017	-3.329	-47.727	0.80 0	1.872	15.67 3	NA	90.775	4.67 3	0.044	5.460	22.870
HYO05	mining	july, 2017	-3.209	-47.678	0.39 2	4.136	46.34 5	NA	63.102	4.91 3	0.025	6.103	25.647
HYP13	mining	july, 2017	-3.283	-47.663	0.60 0	2.380	26.18 2	NA	92.513	4.15 7	0.030	5.360	24.127
HYP13-1	mining	july, 2017	-3.291	-47.669	0.58 9	3.339	39.43 6	NA	91.176	4.90 7	0.028	9.120	23.450
HYP15	forest	july, 2017	-3.315	-47.663	0.80 0	2.488	15.68 2	NA	91.310	5.94 7	0.038	8.403	25.043
HYQ03	pasture	july, 2017	-3.170	-47.701	0.51 5	2.416	14.89 1	NA	91.043	4.34 0	0.042	4.153	23.827
IFTREF1	forest	october, 2012	-3.731	-48.285	0.80 0	1.952	8.418	NA	86.898	5.39 7	9.667	3.380	26.047
IFTREF2	forest	october, 2012	-3.732	-48.289	0.80 0	1.729	10.25 5	NA	89.840	6.08 0	14.667	2.533	26.403
IFTREF3	forest	october, 2012	-3.723	-48.488	0.80 0	1.837	7.600	NA	91.845	6.04 0	10.000	3.507	25.893
IFTREF5	forest	august, 2013	-3.653	-48.475	0.80 0	2.790	24.03 6	NA	82.620	6.04 3	13.000	4.000	24.577
IFTREF7	forest	august, 2013	-3.697	-48.464	0.80 0	3.084	23.89 1	NA	87.166	4.56 7	0.009	5.667	24.430
IFTREF8	forest	november, 2013	-3.711	-48.473	0.88 0	2.864	23.98 2	NA	95.053	5.95 0	0.010	6.313	25.333
P10P2	oil palm	december, 2012	-2.312	-48.669	0.68 9	2.662	16.50 9	0.059	99.332	4.89 7	0.017	7.307	26.380
P16P8	oil palm	november, 2012	-2.540	-48.799	0.60 6	2.275	12.45 5	0.028	96.524	5.29 0	0.022	6.873	25.573
P18P10	forest	november, 2012	-2.607	-48.886	0.80 0	5.991	47.32 7	0.442	95.588	4.89 3	0.020	6.983	26.357

P19P11	oil palm	november, 2012	-2.604	-48.739	0.668	5.271	39.782	0.203	83.556	4.873	0.022	7.943	25.933
P20P12	oil palm	november, 2012	-2.563	-48.758	0.682	2.355	22.145	0.024	98.128	5.380	0.026	7.140	26.127
P21P13	oil palm	december, 2012	-2.265	-48.626	0.668	2.100	17.982	0.027	95.187	4.633	0.023	6.933	25.637
P22F09	forest	december, 2012	-2.319	-48.694	0.810	3.428	14.636	0.066	98.396	4.650	0.016	6.877	25.317
P23F10	forest	december, 2012	-2.284	-48.666	0.800	2.045	9.691	0.090	95.187	5.243	0.010	8.160	27.447
P24P14	oil palm	december, 2012	-2.579	-48.817	0.668	2.793	8.800	0.016	97.594	4.790	0.017	5.570	25.693
P25P15	oil palm	december, 2012	-2.573	-48.576	0.694	2.298	15.055	0.022	98.262	5.030	0.015	6.773	26.217
P26P16	oil palm	december, 2012	-2.480	-48.622	0.661	3.605	23.618	0.086	95.321	4.847	0.015	6.340	26.963
P27P17	oil palm	december, 2012	-2.565	-48.726	0.717	2.663	16.073	0.049	98.930	4.883	0.029	6.387	25.453
P28P18	oil palm	december, 2012	-2.670	-48.925	0.744	3.971	24.236	0.141	88.636	5.167	0.013	5.890	26.870
P29P19	oil palm	december, 2012	-2.471	-48.617	0.728	4.746	23.418	0.075	85.963	4.973	0.015	6.000	26.440
P2F2	forest	august, 2013	-2.578	-48.883	0.924	3.668	22.036	0.108	98.529	4.537	0.008	5.943	24.753
P30P20	oil palm	december, 2012	-2.610	-48.853	0.733	3.663	22.000	0.133	86.898	4.973	0.018	7.233	27.497
P31P21	oil palm	december, 2012	-2.560	-48.707	0.719	2.905	15.873	0.043	87.567	4.940	0.020	7.750	25.890
P32P22	oil palm	august, 2012	-2.465	-48.729	0.749	2.161	12.036	0.242	78.877	3.453	NA	3.900	25.667
P33P23	oil palm	august, 2015	-2.265	-48.607	0.753	3.685	24.600	0.335	75.535	4.383	NA	4.267	24.933
P34F12	forest	august, 2015	-2.529	-48.883	0.800	3.412	15.073	0.167	78.877	4.677	NA	4.333	24.933
P35F13	forest	august, 2015	-2.486	-48.935	0.858	3.363	20.327	0.125	80.749	4.107	NA	3.933	25.600
P36F11	forest	august, 2015	-2.526	-48.855	0.863	5.324	25.127	0.153	73.663	4.443	NA	5.800	24.833
P37P24	oil palm	august, 2015	-2.283	-48.647	0.749	2.062	13.055	0.048	75.802	4.543	NA	5.300	26.167
P3F3	forest	december, 2012	-2.479	-48.705	0.840	2.350	20.236	0.071	97.861	4.820	0.012	7.300	25.187
P5F5	forest	december, 2012	-2.381	-48.802	0.810	2.410	15.036	0.046	97.995	4.633	0.016	6.210	25.763
P6F6	forest	august, 2013	-2.603	-48.507	0.847	5.359	15.618	0.069	95.321	4.757	0.018	10.720	25.570
P7F7	forest	august, 2013	-2.522	-48.622	0.800	3.458	6.236	0.052	97.995	4.480	0.010	4.413	24.180
P9P1	oil palm	december, 2012	-2.370	-48.697	0.543	3.193	21.527	0.097	98.797	5.147	0.017	7.343	25.727

PALM03	oil palm	august, 2015	-1.780	-48.098	0.79 4	1.987	13.87 3	0.072	70.856	4.43 7	NA	3.133	25.033
PALM10	oil palm	august, 2015	-1.784	-48.196	0.73 2	1.810	7.200	0.188	67.781	4.71 7	NA	3.800	25.333
PALM12	oil palm	august, 2015	-1.928	-48.034	0.70 7	2.700	21.50 9	0.038	71.925	4.75 7	NA	3.967	25.133
PALM16	oil palm	august, 2015	-1.859	-48.043	0.71 1	3.950	19.45 5	0.058	70.588	4.93 7	NA	4.800	25.467
PALM18	oil palm	august, 2015	-1.962	-48.136	0.75 3	2.735	17.20 0	0.010	67.914	4.54 0	NA	3.000	24.833
PALM19	oil palm	september, 2015	-2.434	-48.515	0.76 9	4.726	16.21 8	0.068	71.123	4.83 7	NA	3.333	25.167
PALM20	oil palm	september, 2015	-2.537	-48.526	0.46 1	2.706	20.52 7	0.083	62.299	5.04 7	NA	4.800	24.433
PALM22	oil palm	september, 2015	-2.485	-48.195	0.73 3	2.427	20.20 0	0.048	72.460	4.83 0	NA	5.167	26.633
PST04	urban	august, 2015	-2.982	-47.461	0.09 3	1.867	17.34 5	NA	3.209	5.77 3	35.067	10.81 3	28.267
PST08	pasture	august, 2015	-3.107	-47.852	0.14 2	5.097	38.90 9	NA	2.273	5.31 3	17.733	8.477	29.400
PST10	pasture	august, 2015	-2.465	-47.499	0.59 9	3.950	38.38 2	NA	96.791	5.74 0	19.633	11.31 7	26.700
REF04	forest	october, 2012	-3.592	-48.606	0.86 0	2.705	18.00 0	NA	93.717	6.92 0	0.012	7.303	26.503
UPA10UT20-1	forest	october, 2012	-3.755	-48.589	0.84 0	1.927	9.491	NA	95.053	4.19 3	0.023	5.800	26.633
UPA10UT20-2	forest	october, 2012	-3.753	-48.591	0.86 0	2.439	9.318	NA	95.722	4.51 0	0.015	7.623	26.257
UPA12UT11-1	forest	september, 2012	-3.681	-48.663	0.86 0	5.325	35.00 0	NA	84.358	4.64 0	0.013	8.280	26.157
UPA12UT11-2	forest	september, 2012	-3.681	-48.662	0.86 0	1.824	10.69 1	NA	90.909	4.50 0	0.039	7.973	26.063
UPA12UT29	forest	september, 2012	-3.704	-48.674	0.82 0	2.966	19.74 5	NA	94.786	4.71 3	0.012	7.423	26.120
UPA13UT27-1	forest	october, 2012	-3.719	-48.703	0.80 0	2.059	15.89 1	NA	97.861	4.65 0	0.015	6.230	26.583
UPA13UT31	forest	september, 2012	-3.708	-48.718	0.80 0	4.620	23.47 3	NA	91.444	4.94 7	0.012	7.683	25.617
UPA14UT10	forest	september, 2012	-3.601	-48.748	0.80 0	1.391	6.418	NA	98.128	4.85 3	0.012	7.307	26.207
UPA14UT20-1	forest	september, 2012	-3.592	-48.787	0.80 0	3.045	10.98 2	NA	97.326	4.97 0	0.019	5.600	25.213
UPA14UT23	forest	september, 2012	-3.579	-48.781	0.80 0	2.902	7.636	NA	89.439	4.60 0	0.015	5.537	26.450
UPA5UTREF1	forest	october, 2012	-3.546	-48.559	0.88 0	1.999	11.90 9	NA	95.856	4.22 0	0.018	6.453	26.047
UPA5UT20	forest	october, 2012	-3.546	-48.498	0.80 0	2.807	12.81 8	NA	88.369	4.43 0	0.018	5.407	26.080
UPA6UT13	forest	september, 2012	-3.533	-48.811	0.80 0	2.876	15.30 9	NA	90.107	4.70 3	0.016	5.543	26.883

UPA6UT16	forest	october, 2012	-3.531	-48.783	0.80 0	2.268	10.94 5	NA	91.711	4.30 3	0.018	6.497	26.353
UPA6UT80	forest	september, 2012	-3.654	-48.610	0.80 0	1.975	12.27 3	NA	98.128	4.66 0	0.013	7.727	26.570
UPA7UT30-2	forest	september, 2012	-3.709	-48.561	0.80 0	1.997	12.83 6	NA	95.455	4.50 3	0.020	5.247	26.330
UPA7UT55	forest	september, 2012	-3.664	-48.564	0.80 0	5.420	24.14 5	NA	82.219	4.40 0	0.014	7.140	26.477
UPA8UT41	forest	october, 2012	-3.705	-48.596	0.80 0	1.634	8.182	NA	93.316	4.51 0	0.018	7.050	26.083
UPA9UT5	forest	october, 2012	-3.741	-48.603	0.80 0	3.348	15.14 5	NA	92.914	4.16 0	0.014	6.630	26.153
X1	pasture	june, 2011	-3.120	-47.462	0.46 7	4.736	30.32 7	0.034	43.048	6.02 0	36.300	3.470	26.900
X108	forest	july, 2011	-3.717	-48.135	0.80 0	2.475	21.65 5	0.171	94.652	5.17 0	20.800	4.600	24.600
X109	pasture	july, 2011	-3.757	-48.116	0.47 3	3.020	26.67 3	0.317	76.872	6.31 0	22.400	4.600	27.700
X121	pasture	july, 2011	-3.775	-48.103	0.38 6	2.469	15.16 4	0.751	29.947	6.19 0	21.400	3.500	25.500
X122	pasture	july, 2011	-3.297	-47.129	0.46 4	2.863	44.27 3	0.393	95.053	7.00 0	47.300	4.410	23.900
X123	forest	july, 2011	-3.387	-47.123	0.95 8	3.209	31.41 8	0.123	98.128	4.61 0	76.200	4.300	25.000
X131	pasture	july, 2011	-3.366	-47.870	0.46 4	2.889	49.90 9	0.304	40.241	4.10 0	28.300	6.360	25.200
X15	pasture	august, 2011	-3.193	-47.540	0.70 3	3.242	54.16 4	0.202	35.294	6.50 0	37.000	4.700	29.200
X171	forest	july, 2011	-3.252	-48.060	0.80 0	2.649	46.77 8	0.066	58.289	6.12 0	21.100	3.000	26.100
X180	pasture	august, 2011	-3.006	-47.078	0.84 6	5.000	10.00 0	0.091	88.102	5.64 0	33.300	4.330	25.000
X183	pasture	august, 2011	-2.913	-46.940	0.85 8	3.020	42.27 8	0.011	81.283	4.40 0	21.850	5.700	26.700
X191	pasture	august, 2011	-3.022	-46.948	0.27 8	3.263	37.90 9	0.064	5.882	5.70 0	51.000	5.250	26.300
X194	forest	august, 2011	-3.087	-46.968	0.85 4	3.348	15.38 2	0.733	94.385	5.50 0	35.400	6.150	24.700
X22	pasture	july, 2011	-3.283	-47.584	0.39 4	4.264	27.03 6	0.112	90.775	5.01 0	19.700	3.800	22.500
X4	pasture	august, 2011	-3.286	-47.516	0.60 2	7.633	19.78 2	0.152	21.390	5.80 0	36.700	2.600	27.200
X56	forest	june, 2011	-3.734	-48.424	0.80 0	2.318	31.56 4	0.124	96.925	5.40 0	17.500	5.500	24.500
X59	forest	july, 2011	-3.731	-48.285	0.80 0	1.760	12.98 2	0.029	86.824	6.56 0	19.000	4.280	24.400
X6	pasture	july, 2011	-3.084	-47.118	0.63 3	2.490	24.92 7	0.337	18.182	4.94 0	35.100	3.930	24.600
A1	mining	october, 2022	-1.597	-48.754	0.58 0	2.500	35.00 0	0.003	57.000	5.00 0	21.600	4.570	25.800

J2	urban	october, 2022	-1.505	-48.678	0.36 0	2.200	16.00 0	0.000	67.000	5.45 0	37.300	2.770	23.630
J3	urban	october, 2022	-1.643	-48.650	0.60 0	4.400	35.00 0	0.007	72.000	5.08 0	14.230	5.600	25.570
L3	urban	october, 2022	-1.649	-48.773	0.61 0	1.300	25.44 0	0.007	75.267	5.38 0	8.830	3.270	27.200
PB20	pasture	october, 2022	-1.580	-48.674	0.67 0	1.600	24.38 7	0.001	74.733	5.17 0	15.060	3.870	26.200
PB22	pasture	october, 2022	-1.606	-48.659	0.48 0	4.500	25.00 0	0.000	56.000	5.00 0	14.870	5.700	26.330
PB27	mining	october, 2022	-1.569	-48.720	0.55 0	4.100	45.00 0	0.000	70.000	4.83 0	23.400	1.020	26.300
PB5	forest	october, 2022	-1.691	-48.510	0.80 0	3.500	36.60 0	0.003	75.000	7.11 0	0.010	8.350	25.900
PB6	forest	october, 2022	-1.687	-48.532	0.80 0	3.150	30.83 3	0.002	83.824	7.29 0	0.020	5.470	26.140
PB8	mining	october, 2022	-1.702	-48.800	0.26 0	4.400	66.00 0	0.006	70.000	6.74 0	15.700	4.250	26.600
PC02	mining	october, 2022	-1.542	-48.696	0.52 0	1.100	15.00 0	0.003	67.000	6.10 0	59.000	0.700	26.300
PC06	pasture	october, 2022	-1.637	-48.669	0.53 0	2.210	40.00 0	0.000	73.000	5.22 0	13.630	4.370	25.530
PM1	mining	october, 2022	-3.232	-47.743	0.49 0	5.173	62.33 3	0.267	79.144	NA	25.533	5.833	24.900
PM10	pipeline	october, 2022	-2.941	-47.854	0.53 0	3.361	42.29 3	0.049	90.508	NA	19.300	3.933	25.533
PM107	pipeline	october, 2022	-1.899	-48.579	0.49 0	3.130	39.18 7	0.221	67.112	NA	14.500	4.100	25.300
PM12	pipeline	october, 2022	-2.867	-47.926	0.46 0	2.793	44.65 3	0.027	93.984	NA	17.867	3.100	25.833
PM13	pipeline	october, 2022	-2.827	-47.937	0.56 0	1.803	18.26 7	0.013	87.567	NA	19.500	2.921	24.733
PM14	pipeline	october, 2022	-2.772	-47.954	0.60 0	3.563	58.34 7	0.024	84.893	NA	15.400	4.433	25.200
PM16	pipeline	october, 2022	-2.621	-48.075	0.44 0	2.304	20.38 7	0.021	45.455	NA	17.233	4.394	24.800
PM20	pipeline	october, 2022	-2.508	-48.092	0.51 0	2.727	34.92 7	0.027	91.043	NA	18.800	4.300	26.833
PM21	pipeline	october, 2022	-2.239	-48.239	0.39 0	2.272	10.39 3	0.004	66.176	NA	18.000	3.300	26.033
PM24	pipeline	october, 2022	-1.915	-48.559	0.54 0	2.031	21.72 7	0.058	51.203	NA	14.067	2.333	26.233
PM25	pipeline	october, 2022	-1.864	-48.634	0.53 0	2.635	31.91 3	0.015	98.396	NA	15.433	3.533	26.033
PM26	pipeline	october, 2022	-1.975	#REF!	0.46 0	3.757	40.10 0	0.057	94.920	4.44 0	13.567	3.933	25.000
PM27	pipeline	october, 2022	-2.033	-48.507	0.46 0	4.285	70.88 7	0.122	98.797	4.62 7	12.300	4.200	25.933
PM3	pipeline	october, 2022	-2.909	-47.890	0.45 0	3.813	42.54 0	0.039	85.294	4.69 0	19.633	4.383	26.067

PM31	pipeline	october, 2022	-1.727	-48.722	0.57 0	3.300	38.12 0	0.140	59.492	4.96 3	14.267	5.067	25.867
PM32	pipeline	october, 2022	-1.708	-48.723	0.48 0	3.100	34.06 7	0.001	70.187	5.05 3	13.400	4.733	25.067
PM33	pipeline	october, 2022	-1.637	-48.723	0.51 0	2.850	35.09 3	0.002	68.583	5.37 3	13.667	6.170	26.600
PM35	mining	october, 2022	-1.616	-48.735	0.43 0	4.600	37.55 3	0.000	73.128	6.00 0	20.467	4.747	27.200
PM36	mining	october, 2022	-1.571	-48.722	0.33 0	5.000	32.56 0	0.001	70.455	6.10 7	49.267	2.033	27.767
PM4	pipeline	october, 2022	-3.181	-47.757	0.32 0	3.693	68.40 7	0.140	51.872	4.79 3	21.800	5.767	25.933
PM8	pipeline	october, 2022	-2.946	-47.835	0.38 0	2.800	47.81 3	0.153	70.187	3.99 0	17.433	4.133	25.400
PMF100	urban	october, 2022	-2.403	-48.193	0.39 0	2.618	15.60 0	0.005	93.000	4.70 3	98.933	3.067	27.867
PMF101	forest	october, 2022	-1.942	-48.207	0.80 0	4.792	41.80 7	0.058	98.797	4.58 7	13.267	2.333	24.900
PMF102	oil palm	october, 2022	-1.974	-48.285	0.40 0	2.495	31.73 3	0.033	86.096	4.13 7	17.900	3.833	26.733
PMF103	urban	october, 2022	-1.886	-48.683	0.44 0	4.536	61.64 7	0.149	90.775	4.58 7	12.767	3.567	25.933
PMF104	oil palm	october, 2022	-1.902	-48.636	0.54 0	2.297	25.34 7	0.094	93.717	4.32 3	13.300	3.533	26.367
PMF105	urban	october, 2022	-1.976	-48.649	0.48 0	3.753	42.08 7	0.074	95.455	4.27 7	12.200	4.000	25.633
PMF13	urban	october, 2022	-1.665	-48.755	0.55 0	1.970	30.15 3	0.020	91.310	4.34 0	11.000	2.700	25.900
PMF14	mining	october, 2022	-1.595	-48.721	0.46 0	2.325	34.02 0	0.003	42.246	5.33 7	15.600	3.667	26.433
PMF1B	pipeline	october, 2022	-3.199	-47.753	0.80 0	7.158	78.10 0	0.162	69.920	4.20 7	19.200	5.833	25.600
PMF3B	pasture	october, 2022	-2.931	-47.898	0.54 0	3.172	60.88 0	0.114	85.027	5.13 7	18.433	4.100	26.867
PMF4C	pasture	october, 2022	-3.038	-47.789	0.45 0	2.239	34.94 0	0.148	87.834	5.49 7	23.033	4.600	28.767
PMF5	pasture	october, 2022	-2.616	-48.101	0.49 0	3.501	71.55 3	0.095	41.043	5.26 7	14.700	5.133	25.500
PMF6B	pasture	october, 2022	-2.454	-48.082	0.28 0	4.247	50.74 0	0.083	92.112	4.12 0	14.033	4.133	25.900
PMF7	pasture	october, 2022	-2.461	-48.081	0.47 0	3.143	35.55 3	0.058	65.374	3.92 7	14.067	4.533	25.867
PMO2	mining	october, 2022	-1.542	-48.725	0.48 0	1.800	17.01 3	0.000	72.594	6.31 0	146.000	1.967	25.900
T3	forest	october, 2022	-1.688	-48.650	0.80 0	3.400	20.38 0	0.001	79.947	5.04 0	24.970	4.330	26.330
V1	mining	october, 2022	-1.566	-48.748	0.26 0	1.500	72.00 0	0.007	20.000	5.09 0	69.830	1.050	26.870
Z1	urban	october, 2022	-1.576	-48.656	0.62 0	0.980	33.28 0	0.000	73.663	4.81 0	23.670	2.330	26.970

Igarapé Águas Brancas	urban	august, 2014	-1.370	-48.366	0.17 2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Igarapé Apeti	urban	august, 2014	-1.357	-48.424	0.17 5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Igarapé Neópolis	urban	august, 2014	-1.381	-48.254	0.68 0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Igarapé Paar	urban	august, 2014	-1.332	-48.398	0.54 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Igarapé Paraíso dos Reis	urban	august, 2014	-1.266	-48.466	0.27 5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Igarapé Pau D'Arco	urban	august, 2014	-1.222	-48.304	0.53 7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Igarapé Sítio Uruana	urban	august, 2014	-1.307	-48.304	0.50 8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Parque dos Igarapés	urban	august, 2014	-1.337	-48.440	0.13 3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Tenoné	urban	august, 2014	-1.318	-48.461	0.29 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
T07	urban	july, 2019	-3.725	-47.491	0.29 0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
T107	urban	july, 2019	-3.053	-48.939	0.25 0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
T109	oil palm	july, 2019	-2.459	-48.748	0.40 0	3.028	20.06 1	0.063	68.449	4.93 8	NA	4.922	25.511
T114	urban	july, 2019	-1.849	-48.844	0.34 0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
sta.barbara	forest	february, 2016	-1.185	-48.302	0.81 0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Material suplementar 6 – Tabela descritiva dos componentes da “Análise de Componentes Principais Fuzzy” realizada para as classes de uso e cobertura do solo encontrados nas 6 categorias do presente trabalho. Disponibilizamos os scores dos 2 primeiros eixos mais explicativos, além dos *Einguevalues* e *Loadings* no canto inferior-direito.

Forest.1	Forest.2	Mining.1	Mining.2	Palm.1	Palm.2	Pasture.1	Pasture.2	Pipeline.1	Pipeline.2	Urban.1	Urban.2
0.119	-0.026	-0.159	0.029	-0.175	0.199	-0.221	-0.153	-0.142	-0.164	-0.193	-0.037
0.119	-0.029	-0.151	0.042	-0.174	0.286	-0.218	-0.144	-0.067	0.047	-0.176	-0.004
0.119	-0.024	-0.146	0.044	-0.174	0.273	-0.214	-0.161	-0.031	-0.113	-0.176	0.016
0.120	-0.021	-0.143	0.025	-0.174	0.273	-0.211	-0.114	0.023	-0.089	-0.174	0.020
0.125	0.050	-0.140	0.036	-0.174	0.252	-0.210	-0.114	0.027	-0.087	-0.172	0.012
0.129	-0.005	-0.140	0.033	-0.174	0.243	-0.209	-0.106	0.029	-0.086	-0.165	0.021
0.130	0.001	-0.100	0.038	-0.173	0.212	-0.208	-0.115	0.029	-0.086	-0.156	0.013
0.135	-0.021	-0.077	0.032	-0.173	0.207	-0.207	-0.144	0.041	-0.036	-0.154	0.081
0.155	-0.002	0.029	0.018	-0.173	0.183	-0.206	-0.085	0.044	-0.080	-0.141	0.012
0.156	0.000	0.031	0.016	-0.173	0.178	-0.206	-0.093	0.073	0.003	-0.136	0.019
0.159	-0.003	0.036	0.012	-0.173	0.177	-0.204	-0.076	0.080	-0.063	-0.136	0.025
0.163	-0.001	0.065	0.013	-0.146	0.198	-0.204	-0.081	0.084	0.013	-0.085	-0.041
0.165	-0.025	0.065	0.013	-0.129	0.188	-0.204	-0.113	0.107	-0.050	-0.084	0.013
0.167	-0.007	0.077	0.002	-0.129	0.233	-0.204	-0.116	0.126	-0.043	-0.067	-0.024
0.167	-0.007	0.096	0.000	-0.123	0.184	-0.204	-0.191	0.137	-0.002	-0.065	0.009
0.170	-0.003	0.097	0.008	-0.100	0.229	-0.204	-0.097	0.145	-0.034	-0.063	0.012
0.173	-0.008	0.099	0.004	-0.087	0.125	-0.204	-0.075	0.148	-0.033	-0.033	-0.018
0.175	-0.004	0.135	0.001	-0.060	0.149	-0.204	-0.172	0.170	-0.022	-0.025	-0.002
0.193	-0.012	0.160	-0.003	-0.050	0.154	-0.204	-0.114	0.200	-0.009	0.002	-0.002
0.195	-0.008	0.177	-0.005	-0.039	0.158	-0.204	-0.074	x	x	0.010	0.000
0.199	-0.009	0.200	-0.009	-0.033	0.154	-0.204	-0.080	x	x	0.010	0.000
0.200	-0.009	x	x	-0.031	0.149	-0.204	-0.101	x	x	x	x
0.200	-0.009	x	x	-0.016	0.162	-0.204	-0.100	x	x	x	x
0.200	-0.009	x	x	0.013	0.139	-0.204	-0.097	x	x	x	x
0.200	-0.009	x	x	0.013	0.139	-0.204	-0.087	x	x	x	x
0.200	-0.009	x	x	0.013	0.139	-0.204	-0.089	x	x	x	x
0.200	-0.009	x	x	0.013	0.139	-0.204	-0.084	x	x	x	x
0.200	-0.009	x	x	0.013	0.139	-0.204	-0.096	x	x	x	x
0.200	-0.009	x	x	x	x	-0.204	-0.164	x	x	x	x
0.200	-0.009	x	x	x	x	-0.204	-0.138	x	x	x	x
0.200	-0.009	x	x	x	x	-0.204	-0.088	x	x	x	x
0.200	-0.009	x	x	x	x	-0.204	-0.157	x	x	x	x
0.200	-0.009	x	x	x	x	-0.204	-0.092	x	x	x	x
0.200	-0.009	x	x	x	x	-0.204	-0.156	x	x	x	x

Canopy vegetal	Oil palm - Pasture	3.722	0.00 0	0.001	Flow Ratio	Mining - Pasture	- 2.303	0.02 1	0.106
Canopy vegetal	Forest - Pipeline	3.228	0.00 1	0.005	Flow Ratio	Pasture - Urbano	2.066	0.03 9	0.146
Canopy vegetal	Mining - Oil palm	- 2.952	0.00 3	0.009	Flow Ratio	Mining - Oil palm	- 1.888	0.05 9	0.174
Canopy vegetal	Forest - Urbano	2.600	0.00 9	0.023	Flow Ratio	Oil palm - Urbano	1.762	0.07 8	0.174
Canopy vegetal	Pasture - Pipeline	- 2.220	0.02 6	0.057	Flow Ratio	Forest - Mining	1.743	0.08 1	0.174
Canopy vegetal	Forest - Oil palm	1.762	0.07 8	0.132	Flow Ratio	Forest - Urbano	1.561	0.11 9	0.222
Canopy vegetal	Oil palm - Pipeline	1.755	0.07 9	0.132	Flow Ratio	Forest - Pipeline	1.478	0.13 9	0.232
Canopy vegetal	Mining - Pasture	1.600	0.11 0	0.165	Flow Ratio	Forest - Pasture	- 1.353	0.17 6	0.253
Canopy vegetal	Oil palm - Urbano	1.510	0.13 1	0.179	Flow Ratio	Mining - Pipeline	- 1.324	0.18 6	0.253
Canopy vegetal	Pasture - Urbano	- 1.301	0.19 3	0.242	Flow Ratio	Pipeline - Urbano	1.271	0.20 4	0.255
Canopy vegetal	Mining - Pipeline	- 1.040	0.29 9	0.344	Flow Ratio	Forest - Oil palm	1.199	0.23 1	0.266
Canopy vegetal	Mining - Urbano	- 0.361	0.71 8	0.761	Flow Ratio	Oil palm - Pipeline	0.840	0.40 1	0.430
Canopy vegetal	Pipeline - Urbano	0.305	0.76 1	0.761	Flow Ratio	Mining - Urbano	- 0.118	0.90 6	0.906
Depth channel	Forest - Pipeline	- 5.303	0.00 0	0.000	HII	Forest - Mining	8.152	0.00 0	0.000
Depth channel	Forest - Pasture	- 5.227	0.00 0	0.000	HII	Forest - Pasture	7.983	0.00 0	0.000
Depth channel	Forest - Mining	- 5.196	0.00 0	0.000	HII	Forest - Pipeline	7.948	0.00 0	0.000
Depth channel	Oil palm - Pipeline	- 4.428	0.00 0	0.000	HII	Forest - Urbano	7.784	0.00 0	0.000
Depth channel	Mining - Oil palm	4.387	0.00 0	0.000	HII	Forest - Oil palm	6.608	0.00 0	0.000
Depth channel	Oil palm - Pasture	- 4.244	0.00 0	0.000	HII	Oil palm - Urbano	4.849	0.00 0	0.000
Depth channel	Forest - Urbano	- 2.943	0.00 3	0.007	HII	Mining - Oil palm	- 4.778	0.00 0	0.000
Depth channel	Oil palm - Urbano	- 2.863	0.00 4	0.008	HII	Oil palm - Pipeline	4.313	0.00 0	0.000
Depth channel	Pipeline - Urbano	1.439	0.15 0	0.250	HII	Oil palm - Pasture	3.778	0.00 0	0.000

Depth channel	Mining - Urbano	1.217	0.22 4	0.329	HII	Pasture - Urbano	2.920	0.00 3	0.005
Depth channel	Pasture - Pipeline	- 1.172	0.24 1	0.329	HII	Pipeline - Urbano	2.106	0.03 5	0.048
Depth channel	Pasture - Urbano	0.794	0.42 7	0.534	HII	Mining - Urbano	1.751	0.08 0	0.100
Depth channel	Mining - Pasture	0.720	0.47 2	0.544	HII	Mining - Pasture	- 1.528	0.12 7	0.146
Depth channel	Mining - Pipeline	- 0.442	0.65 8	0.705	HII	Pasture - Pipeline	0.873	0.38 3	0.410
Depth channel	Forest - Oil palm	- 0.340	0.73 4	0.734	HII	Mining - Pipeline	- 0.727	0.46 7	0.467
Dissolved O ²	Forest - Pipeline	3.531	0.00 0	0.006	pH	Pasture - Pipeline	3.315	0.00 1	0.014
Dissolved O ²	Forest - Pasture	3.114	0.00 2	0.014	pH	Oil palm - Pasture	- 2.999	0.00 3	0.019
Dissolved O ²	Oil palm - Pipeline	2.814	0.00 5	0.024	pH	Mining - Pipeline	2.886	0.00 4	0.019
Dissolved O ²	Forest - Urbano	2.326	0.02 0	0.075	pH	Mining - Oil palm	2.460	0.01 4	0.052
Dissolved O ²	Oil palm - Pasture	1.905	0.05 7	0.171	pH	Forest - Pipeline	2.381	0.01 7	0.052
Dissolved O ²	Oil palm - Urbano	1.691	0.09 1	0.227	pH	Pipeline - Urbano	- 2.008	0.04 5	0.112
Dissolved O ²	Mining - Pipeline	1.512	0.13 1	0.280	pH	Oil palm - Pipeline	1.793	0.07 3	0.157
Dissolved O ²	Forest - Mining	1.200	0.23 0	0.428	pH	Forest - Oil palm	1.679	0.09 3	0.175
Dissolved O ²	Pasture - Pipeline	1.028	0.30 4	0.428	pH	Forest - Pasture	- 1.601	0.10 9	0.182
Dissolved O ²	Forest - Oil palm	1.023	0.30 6	0.428	pH	Pasture - Urbano	1.338	0.18 1	0.271
Dissolved O ²	Mining - Pasture	0.992	0.32 1	0.428	pH	Mining - Urbano	1.019	0.30 8	0.407
Dissolved O ²	Mining - Urbano	0.950	0.34 2	0.428	pH	Oil palm - Urbano	- 0.983	0.32 6	0.407
Dissolved O ²	Pasture - Urbano	0.629	0.52 9	0.611	pH	Forest - Mining	- 0.862	0.38 9	0.449
Dissolved O ²	Mining - Oil palm	- 0.382	0.70 3	0.753	pH	Mining - Pasture	- 0.455	0.64 9	0.661
Dissolved O ²	Pipeline - Urbano	0.008	0.99 4	0.994	pH	Forest - Urbano	0.439	0.66 1	0.661
Electrical Conduct.	Forest - Pasture	- 5.309	0.00 0	0.000	Water Temp.	Forest - Urbano	- 2.159	0.03 1	0.459

Electrical Conduct.	Oil palm - Pasture	-	0.00	0.000	Water Temp.	Pipeline - Urbano	-	0.09	0.459
Electrical Conduct.	Oil palm - Pipeline	5.238	0	0.000	Water Temp.	Forest - Oil palm	1.673	4	0.459
Electrical Conduct.	Forest - Urbano	-	0.00	0.007	Water Temp.	Forest - Pasture	-	0.10	0.459
Electrical Conduct.	Pasture - Pipeline	3.127	2	0.007	Water Temp.	Oil palm - Urbano	1.634	2	0.459
Electrical Conduct.	Oil palm - Urbano	-	0.00	0.008	Water Temp.	Forest - Mining	-	0.14	0.459
Electrical Conduct.	Forest - Pipeline	2.954	3	0.008	Water Temp.	Oil palm - Pipeline	1.462	4	0.459
Electrical Conduct.	Forest - Mining	-	0.00	0.018	Water Temp.	Forest - Pipeline	-	0.18	0.459
Electrical Conduct.	Mining - Oil palm	2.634	8	0.018	Water Temp.	Mining - Urbano	1.337	1	0.459
Electrical Conduct.	Pipeline - Urbano	-	0.02	0.039	Water Temp.	Pasture - Urbano	-	0.18	0.459
Electrical Conduct.	Mining - Pipeline	2.316	1	0.039	Water Temp.	Mining - Pipeline	1.330	4	0.459
Electrical Conduct.	Pasture - Urbano	2.050	0	0.067	Water Temp.	Oil palm - Pasture	0.840	0.40	0.697
Electrical Conduct.	Forest - Oil palm	-	0.08	0.126	Water Temp.	Forest - Pipeline	-	0.46	0.697
Electrical Conduct.	Mining - Pasture	1.727	4	0.126	Water Temp.	Mining - Urbano	0.739	0	0.697
Electrical Conduct.	Mining - Pipeline	1.463	0.14	0.196	Water Temp.	Pasture - Urbano	-	0.48	0.697
Electrical Conduct.	Mining - Urbano	-	0.46	0.585	Water Temp.	Mining - Pipeline	0.699	4	0.697
Electrical Conduct.	Pasture - Urbano	0.726	8	0.585	Water Temp.	Pasture - Pipeline	-	0.49	0.697
Electrical Conduct.	Forest - Pasture	0.577	4	0.642	Water Temp.	Oil palm - Pasture	0.679	7	0.697
Electrical Conduct.	Mining - Urbano	-	0.60	0.642	Water Temp.	Mining - Pipeline	0.590	0.55	0.697
Electrical Conduct.	Pasture - Urbano	0.525	0	0.642	Water Temp.	Pasture - Pipeline	0.587	0.55	0.697
Electrical Conduct.	Forest - Pasture	-	0.69	0.692	Water Temp.	Oil palm - Pasture	-	0.84	0.924
Width channel	Forest - Pasture	0.397	2	0.692	Water Temp.	Mining - Oil palm	0.200	2	0.924
Width channel	Pasture - Urbano	-	0.07	0.548	Water Temp.	Mining - Pasture	0.174	0.86	0.924
Width channel	Pasture - Urbano	1.810	0	0.548	Water Temp.	Mining - Pasture	-	0.98	0.982
Width channel	Oil palm - Pasture	1.544	0.12	0.548	x	x	x	x	x
Width channel	Mining - Urbano	-	0.13	0.548	x	x	x	x	x
Width channel	Mining - Urbano	1.496	5	0.548	x	x	x	x	x
Width channel	Pipeline - Urbano	1.308	0.19	0.548	x	x	x	x	x
Width channel	Pipeline - Urbano	1.231	8	0.548	x	x	x	x	x
Width channel	Forest - Mining	-	0.21	0.548	x	x	x	x	x
Width channel	Mining - Oil palm	1.229	9	0.548	x	x	x	x	x
Width channel	Forest - Pipeline	1.097	0.27	0.574	x	x	x	x	x
Width channel	Forest - Pipeline	-	0.35	0.574	x	x	x	x	x
Width channel	Forest - Pipeline	0.927	4	0.574	x	x	x	x	x

Width channel	Oil palm - Urbano	0.901	0.36 8	0.574	X	X	X	X	X
Width channel	Oil palm - Pipeline	- 0.855	0.39 3	0.574	X	X	X	X	X
Width channel	Forest - Urbano	0.805	0.42 1	0.574	X	X	X	X	X
Width channel	Pasture - Pipeline	0.547	0.58 4	0.730	X	X	X	X	X
Width channel	Mining - Pasture	- 0.289	0.77 3	0.865	X	X	X	X	X
Width channel	Mining - Pipeline	0.244	0.80 7	0.865	X	X	X	X	X
Width channel	Forest - Oil palm	- 0.083	0.93 4	0.934	X	X	X	X	X

Material suplementar 8 - Tabela de espécies contendo dados de classificação taxonômica, abundância total por categoria de uso e cobertura do solo, status de conservação (Red List e ICMbio-SALVE), grau de endemismo e distribuição geográfica dentro dos biomas brasileiros.

Suborder	Family	Species	Author	Forest	Pasture	Oil Palm	Mining	Pipeline	Urban	IUCN status	Brazil Endemic	Biome Distribution
	Libellulidae	Anatya guttata	(Erichson in Schomburgk, 1848)	6	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
	Libellulidae	Argyrothemis argentea	Ris, 1909	43	15	57	4	0	0	Least Concern	No	Amazônia
	Libellulidae	Brachymesia herbida	(Gundlach, 1889)	0	0	0	2	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
	Gomphidae	Cacoides latro	(Erichson in Schomburgk, 1848)	0	2	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
	Libellulidae	Dasythemis esmeralda	Ris, 1910	1	1	0	0	3	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
Anisoptera	Libellulidae	Diastatops dimidiata	(Linnaeus, 1758)	0	0	0	0	0	1	Least Concern	No data	No data
	Libellulidae	Diastatops obscura	(Fabricius, 1775)	0	82	1	4	0	1	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
	Libellulidae	Dythemis multipunctata	Kirby, 1894	0	0	0	0	0	7	No data	No data	No data
	Libellulidae	Dythemis nigra	(Martin, 1897)	0	1	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa
	Libellulidae	Elasmothemis cannacrioides	(Calvert, 1906)	0	4	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
	Libellulidae	Erythemis credula	(Hagen, 1861)	0	2	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal

Libellulidae	<i>Erythemis haematogastra</i>	(Burmeister, 1839)	0	3	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
Libellulidae	<i>Erythemis peruviana</i>	(Rambur, 1842)	0	0	0	1	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
Libellulidae	<i>Erythemis vesiculosa</i>	(Fabricius, 1775)	0	0	0	0	0	0	15	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
Libellulidae	<i>Erythrodiplax amazonica</i>	Sjöstedt, 1918	1	24	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Libellulidae	<i>Erythrodiplax basalis</i>	(Lirby, 1897)	1	199	0	31	3	6	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
Libellulidae	<i>Erythrodiplax castanea</i>	(Burmeister, 1839)	0	7	0	2	1	9	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
Libellulidae	<i>Erythrodiplax fusca</i>	(Rambur, 1842)	1	80	5	25	4	32	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
Libellulidae	<i>Erythrodiplax juliana</i>	Ris, 1911	0	4	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa
Libellulidae	<i>Erythrodiplax ochracea</i>	(Burmeister, 1834)	0	1	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
Libellulidae	<i>Fylgia amazonica</i>	(Kirby, 1889)	41	14	6	9	1	4	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Aeshnidae	<i>Gynacantha gracilis</i>	(Burmeister, 1839)	1	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Mata Atlântica
Aeshnidae	<i>Gynacantha klagesi</i>	Williamson, 1923	1	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia
Aeshnidae	<i>Gynacantha membranalis</i>	Karsch, 1891	6	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia
Libellulidae	<i>Gynothemis pumila</i>	(Karsch, 1890)	0	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Libellulidae	<i>Macrothemis hahneli</i>	Ris, 1913	0	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No data	No data
Libellulidae	<i>Macrothemis ludia</i>	Belle, 1987	0	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia
Libellulidae	<i>Miathyria marcella</i>	(Selys, in Sagra, 1857)	0	1	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
Libellulidae	<i>Miathyria simplex</i>	(Rambur, 1842)	0	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
Libellulidae	<i>Micrathyria artemis</i>	Ris, 1911	0	5	0	2	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Libellulidae	<i>Micrathyria eximia</i>	Kirby, 1897	0	1	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Libellulidae	<i>Micrathyria pseudeximia</i>	Westfall, 1992	0	1	0	0	0	2	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa
Libellulidae	<i>Misagria parana</i>	Kirby, 1889	0	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia
Libellulidae	<i>Nephepeltia flavifrons</i>	(Karsch, 1889)	0	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa
Libellulidae	<i>Nephepeltia phryne</i>	(Perty, 1834)	0	0	0	1	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal

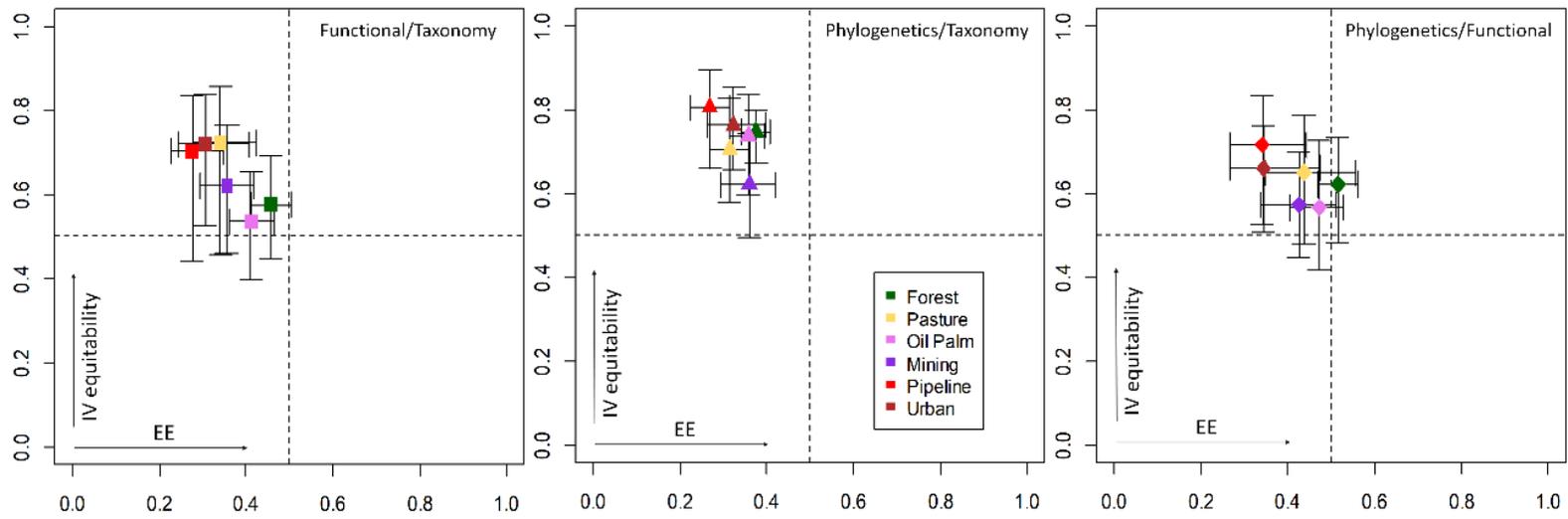
Libellulidae	Oligoclada abbreviata	(Rambur, 1842)	6	32	0	22	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
Libellulidae	Oligoclada crocogaster	Borror, 1931	0	4	0	0	2	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Libellulidae	Oligoclada pachystigma	Karsch, 1890	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Libellulidae	Oligoclada stenoptera	Borror, 1931	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Libellulidae	Oligoclada walkeri	Geijskes, 1931	19	39	0	5	0	1	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Libellulidae	Orthemis aequilibris	Calvert, 1909 (Erichson in Schomburgk, 1848)	0	0	0	0	0	2	Least Concern	No data	No data
Libellulidae	Orthemis attenuata	Schomburgk, 1848)	0	1	1	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa
Libellulidae	Orthemis biolleyi	Calvert, 1906	0	1	0	1	1	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Libellulidae	Orthemis cultriformis	Calvert, 1899	0	0	1	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Libellulidae	Orthemis discolor	(Burmeister, 1839)	0	19	0	0	4	1	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa
Libellulidae	Perithemis cornelia	Ris, 1910	0	3	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia
Libellulidae	Perithemis lais	(Perty, 1834)	2	25	0	23	1	8	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
Libellulidae	Perithemis mooma	Kirby, 1889	0	0	1	0	0	0	Least Concern	No data	No data
Libellulidae	Perithemis tenera	(Say, 1840)	0	1	0	0	0	0	Least Concern	No data	No data
Libellulidae	Perithemis thais	Kirby, 1889	2	9	0	0	0	7	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
Gomphidae	Phyllogomphoides cepheus	Belle, 1980	0	0	0	0	0	1	Dados Insuficientes	Yes	Amazônia, Cerrado
Libellulidae	Rhodopygia cardinalis	(Erichson in Schomburgk, 1848)	0	3	0	1	0	1	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Libellulidae	Tauriphila risi	Martin, 1896	0	0	0	0	0	1	Least Concern	No	Amazônia, Pampa
Libellulidae	Uracis imbuta	(Burmeister, 1839)	2	0	0	4	4	11	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
Libellulidae	Uracis oviposatrix	Calvert, 1909	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Libellulidae	Uracis siemensii	Kirby, 1897	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Libellulidae	Zenithoptera fasciata	(Linnaeus, 1758)	1	0	1	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
Libellulidae	Zenithoptera lanei	Santos, 1941	0	7	0	6	6	4	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
Gomphidae	Zonophora batesi	Selys, 1869	0	1	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga

	Gomphidae	Zonophora calippus	Selys, 1869	1	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
	Coenagrionidae	Acanthagrion adustum	Williamson, 1916	1	20	0	0	1	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
	Coenagrionidae	Acanthagrion aepiolum	Tennessen, 2004	1	4	0	7	0	26	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
	Coenagrionidae	Acanthagrion apicale	Selys, 1876	2	7	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
	Coenagrionidae	Acanthagrion ascendens	Calvert, 1909	0	4	0	12	2	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
	Coenagrionidae	Acanthagrion gracile	(Rambur, 1842)	0	0	3	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa
	Coenagrionidae	Acanthagrion jessei	Leonard, 1977	0	1	0	0	0	0	Least Concern	Yes	Amazônia, Caatinga, Cerrado
	Coenagrionidae	Acanthagrion kennedii	Williamson, 1916	0	12	0	7	0	19	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
	Coenagrionidae	Acanthagrion rubrifrons	Leonard, 1977	3	0	0	0	0	3	Least Concern	No	Amazônia
	Coenagrionidae	Acanthallagma luteum	Williamson & Williamson, 1924	0	10	0	0	1	1	Least Concern	Yes	Amazônia
	Coenagrionidae	Aceratobasis macilentata	(Rambur, 1842)	0	0	0	0	0	0	Least Concern	Yes	Amazônia, Mata Atlântica
	Coenagrionidae	Aeolagrion dorsale	(Burmeister, 1839)	0	0	0	0	0	7	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Zygoptera	Coenagrionidae	Aeolagrion flammeum	(Selys, 1876)	6	0	14	0	0	0	No data	No data	No data
	Coenagrionidae	Argia chapadae	Calvert, 1909	3	10	0	0	0	0	Least Concern	Yes	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
	Coenagrionidae	Argia collata	Selys, 1865	23	20	0	29	13	1	Least Concern	No	Amazônia
	Coenagrionidae	Argia croceipennis	Selys, 1865	0	0	0	0	0	1	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa
	Coenagrionidae	Argia euphorbia	Fraser, 1946	1	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia
	Coenagrionidae	Argia fumigata	Hagen in Selys, 1865	7	0	16	0	0	1	Least Concern	No	Amazônia
	Coenagrionidae	Argia hasemani	Calvert, 1909	57	4	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
	Coenagrionidae	Argia indicatrix	Calvert, 1902	74	6	41	16	5	26	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
	Coenagrionidae	Argia infumata	Selys, 1865	132	0	6	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia
	Coenagrionidae	Argia insipida	Hagen in Selys, 1865	4	0	3	0	0	0	Least Concern	Yes	Amazônia, Cerrado
	Coenagrionidae	Argia modesta	Selys, 1865	1	0	0	0	0	0	Least Concern	Yes	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa
	Coenagrionidae	Argia mollis	Hagen in Selys, 1865	5	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal

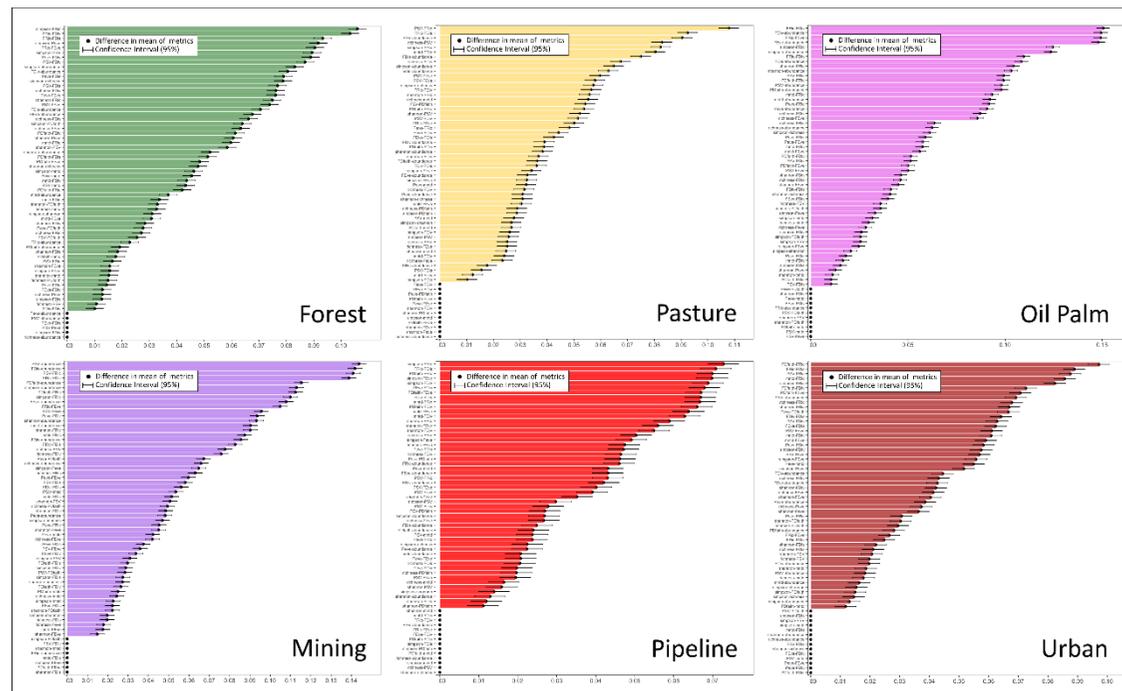
Coenagrioni dae	<i>Argia oculata</i>	Hagen in Selys, 1865	3	2	10	3	3	4	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Coenagrioni dae	<i>Argia reclusa</i>	Selys, 1865	8	0	20	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
Coenagrioni dae	<i>Argia smithiana</i>	Calvert, 1909	7	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
Coenagrioni dae	<i>Argia thespis</i>	Hagen in Selys, 1865	46	10	41	0	0	4	Least Concern	Yes	Amazônia, Cerrado
Coenagrioni dae	<i>Argia tinctipennis</i>	Selys, 1865	105	15	18	14	4	7	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado
Coenagrioni dae	<i>Argia tupi</i>	Calvert, 1909	2	0	0	0	0	0	Least Concern	Yes	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Polythoridae	<i>Chalcopteryx radians</i>	Ris, 1914	35	0	0	0	0	3	Least Concern	Yes	Amazônia
Polythoridae	<i>Chalcopteryx rutilans</i>	(Rambur, 1842)	135	6	4	0	20	10	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Coenagrioni dae	<i>Cyanallagma ferenigrum</i>	De Marmels, 2003	1	0	0	0	0	0	Least Concern	Yes	Amazônia, Cerrado
Dicteriadida e	<i>Dictierias atrosanguinea</i>	Selys, 1853	14	0	6	0	6	0	Least Concern	Yes	Amazônia
Protoneurida e	<i>Epipleoneura capilliformis</i>	(Selys, 1886)	12	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Protoneurida e	<i>Epipleoneura fuscaenea</i>	Williams, 1915	0	5	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia
Protoneurida e	<i>Epipleoneura haroldoi</i>	Santos, 1964	7	0	1	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia
Protoneurida e	<i>Epipleoneura kaxuriana</i>	Machado, 1985	1	5	33	2	10	3	Least Concern	Yes	Amazônia
Protoneurida e	<i>Epipleoneura lamina</i>	Williamson, 1915	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia
Protoneurida e	<i>Epipleoneura metallica</i>	Rácenis, 1955	53	96	3	82	16	18	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Protoneurida e	<i>Epipleoneura pereirai</i>	Machado, 1964	1	0	4	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia
Coenagrioni dae	<i>Epipleoneura solitaria</i>	De Marmels, 1989	4	0	3	0	0	0	Least Concern	No data	No data
Protoneurida e	<i>Epipleoneura spatulata</i>	Rácenis, 1960	0	0	1	0	0	4	Least Dados	No	Amazônia
Coenagrioni dae	<i>Epipleoneura susanae</i>	Pessacq, 2014	5	0	0	2	8	12	Least Insuficientes	Yes	Amazônia
Protoneurida e	<i>Epipleoneura venezuelensis</i>	Rácenis, 1955	0	0	1	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Protoneurida e	<i>Epipleoneura westfalli</i>	Machado, 1986	0	8	0	0	0	0	Least Concern	Yes	Amazônia, Cerrado
Protoneurida e	<i>Epipleoneura williamsoni</i>	Santos, 1957	0	0	1	0	0	0	Least Concern	Yes	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Dicteriadida e	<i>Heliocharis amazona</i>	Selys, 1853	0	5	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal

Calopterygid ae	Hetaerina amazonica	Sjöstedt, 1918	1	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Calopterygid ae	Hetaerina auripennis	(Burmeister, 1839)	1	33	0	0	0	0	Least Concern	Yes	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Calopterygid ae	Hetaerina laesa	Hagen in Selys, 1853	10	1	14	2	4	6	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Calopterygid ae	Hetaerina moribunda	Hagen in Selys, 1853	1	0	1	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Calopterygid ae	Hetaerina rosea	Selys, 1853	0	1	0	1	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
Calopterygid ae	Hetaerina sanguinea	Selys, 1853	0	3	0	4	0	9	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Calopterygid ae	Hetaerina westfalli	Rácenis, 1968	0	0	0	1	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Megapodagr ionidae	Heteragrion aurantiacum	Selys, 1862	15	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Megapodagr ionidae	Heteragrion ictericum	Williamson, 1919	63	0	130	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia
Megapodagr ionidae	Heteragrion icterops	Selys, 1862	10	0	0	0	1	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Megapodagr ionidae	Heteragrion silvarum	Sjöstedt, 1918	84	22	2	4	3	0	Least Concern	No	Amazônia
Coenagrioni dae	Ischnura capreolus	(Hagen, 1861)	0	1	0	0	0	14	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa
Coenagrioni dae	Ischnura fluviatilis	Selys, 1876	1	0	1	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
Lestidae	Lestes forficula	Rambur, 1842	0	0	0	0	0	2	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
Pseudostigm atidae	Mecistogaster amalia	(Burmeister, 1839)	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Mata Atlântica
Coenagrioni dae	Metaleptobasis diceras	(Selys, 1877)	1	2	0	0	1	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Calopterygid ae	Mnesarete aenea	(Selys, 1853)	147	17	1	7	16	4	Least Concern	No	Amazônia
Calopterygid ae	Mnesarete cupraea	(Selys, 1853)	4	0	26	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Calopterygid ae	Mnesarete smaragdina	(Selys, 1869)	3	0	36	0	0	0	Least Concern	Yes	Amazônia, Cerrado
Calopterygid ae	Mnesarete williamsoni	Garrison, 2006	86	75	107	9	19	12	Least Concern	Yes	Amazônia, Cerrado
Protoneurida e	Neoneura bilinearis	Selys, 1860	0	0	0	0	0	7	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Protoneurida e	Neoneura denticulata	Williamson, 1917	3	3	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Protoneurida e	Neoneura ethela	Williamson, 1917	1	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa
Protoneurida e	Neoneura fulvicollis	Selys, 1886	0	0	0	0	0	1	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal

Protoneuridae	<i>Neoneura joana</i>	Williamson, 1917	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia
Protoneuridae	<i>Neoneura luzmarina</i>	De Marmels, 1989	27	20	1	17	11	13	Least Concern	No	Amazônia
Coenagrionidae	<i>Neoneura rubriventris</i>	Selys, 1860	0	20	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Protoneuridae	<i>Neoneura sylvatica</i>	Hagen in Selys, 1886	1	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
Megapodagrionidae	<i>Oxystigma petiolatum</i>	(Selys, 1862)	8	0	2	1	3	0	Least Concern	No	Amazônia
Perilestidae	<i>Perilestes attenuatus</i>	Selys, 1886	2	0	3	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia
Perilestidae	<i>Perilestes kahli</i>	Williamson & Williamson, 1924	6	0	0	0	1	0	Least Concern	No	Amazônia
Perilestidae	<i>Perilestes solutus</i>	Williamson, 1924	2	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado
Protoneuridae	<i>Phasmoneura exigua</i>	(Selys, 1886)	11	2	2	2	1	0	Least Concern	No	Amazônia
Coenagrionidae	<i>Phoenicagrion flammeum</i>	(Selys, 1876)	0	3	0	0	2	0	Least Concern	No	Amazônia, Caatinga, Cerrado
Protoneuridae	<i>Protoneura scintilla</i>	Gloyd, 1939	0	0	0	0	0	1	Least Concern	No	Amazônia
Protoneuridae	<i>Protoneura tenuis</i>	Selys, 1860	29	9	0	6	6	7	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Protoneuridae	<i>Psaironeura tenuissima</i>	(Selys, 1886)	53	14	5	2	3	0	Least Concern	No	Amazônia, Pantanal
Coenagrionidae	<i>Telebasis coccinea</i>	(Selys, 1876)	0	0	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Coenagrionidae	<i>Telebasis sanguinalis</i>	Calvert, 1909	1	19	0	0	0	2	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado
Coenagrionidae	<i>Tigriagrion aurantinigrum</i>	Calvert, 1909	0	31	0	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
Coenagrionidae	<i>Tuberculobasis inversa</i>	(Selys, 1876)	0	0	1	0	0	0	Least Concern	No	Amazônia, Cerrado



Material suplementar 9 – Perfil de EE e IV tratado par-a-par entre as dimensões.



Conclusão Geral

Diante das evidências, concluímos que as atividades antrópicas alteram as condições ambientais de igarapés que, conseqüentemente, modifica os padrões de diversidade das comunidades de Odonata habitantes da Amazônia Oriental brasileira. Inúmeros resultados foram encontrados na tese, mas a seguir, destacaremos as principais conclusões e sugestões por capítulo: 1º) concluímos haver lacunas de informação dentro da ordem Odonata habitantes da Amazônia. A escassez fica mais crítica para os dados referentes a termorregulação dos adultos e hábitos das larvas. Por isso, recomendamos estudos que levantem mais informações biológicas básicas do grupo, pois somente dessa forma, pesquisas ecológicas mais aprofundadas com a ordem Odonata podem ser realizadas. Além do mais, identificamos padrões funcionais (esperados) para as diferentes subordens, bem como uma forte relação entre os diversos traços funcionais. Já no 2º e 3º capítulos, concluímos que a presença do mineroduto represa o canal de água e fragmenta o fluxo de energia de igarapés da Amazônia, porém, estes efeitos não se mostraram tão severos sobre as comunidades de Odonata, seja de um ponto de vista regional ou local. Ressaltamos que os impactos menos acentuados sobre Odonata podem ser um reflexo do secular histórico de exploração humana realizada na região. Como evidenciado, algumas espécies mais sensíveis que foram amostradas em estudos anteriores não estão mais presentes. Portanto, as alterações ambientais constantes podem ter filtrado apenas as espécies mais tolerantes, que são pouco afetadas pelas mudanças no meio ambiente observadas. Finalmente, recomendamos também que as empresas desenvolvam estratégias mais eficientes na canalização dos igarapés afetados pelas estradas de acesso e minerodutos, no intuito de evitar a redução e o represamento do fluxo natural do canal, bem como permitir a transição de matéria orgânica entre as zonas a jusante e a montante da passagem dessas estruturas. Por fim, no 4º capítulo, a conclusão foi de que a biodiversidade de Odonata e condições ambientais locais são sistematicamente alteradas por atividades humanas, já que evidenciamos que áreas florestais apresentam maiores índices de variação biológica e integridade ambiental, decaindo quando comparado aos demais gradientes não naturais. Também concluímos que as métricas taxonômicas tradicionais são importantes para explicar a variação biológica de Odonata nas diferentes paisagens da região, mas não são as únicas, já que a riqueza funcional e uniformidade filogenética se mostram igualmente ou superiormente importantes a depender da configuração de paisagem na qual a comunidade avaliada está inserida. Portanto, recomendamos o uso da ordem Odonata como indicadores de alterações ambientais, sempre levando em consideração as melhores formas de se avaliar a biodiversidade local, para não haver perda de informação valiosa no biomonitoramento de ambientes alterados na Amazônia. No entanto, mais pesquisas sobre a biologia básica das espécies devem ser conduzidas para que os monitoramentos se tornem mais eficientes e acurados.

Atividades Complementares

Juntamente com as minhas atividades do doutorado e desenvolvimento da tese, desenvolvi atividades paralelas que considero importantes para a minha formação e experiência profissional.

Particpei de eventos científicos, alguns online (dado o cenário de pandemia no qual cursei boa parte do meu doutorado), onde destaco o 2º Simpósio de Ecologia, ano de 2020, organizado pela UFAC, no qual submeti 3 resumos, ocupando a colocação de 3º lugar de honra do evento com um desses trabalhos apresentados. Em 2021, apresentei os dados do meu 1º capítulo no evento online organizado pela Sociedad de Odonatología Latinoamericana (SOL) a qual sou membro associado. Em 2022, participei presencialmente do “VI Simpósio de Insetos Aquáticos Neotropicais” em Ilhéus, Bahia, no qual apresentei novamente dados preliminares da tese, bem como pude me comunicar com cientistas internacionais da minha área de atuação. Por fim, mais recentemente, destaco minha participação e apresentação de resumos na 1ª conferência “The Amazon we want” que aconteceu esse ano (2023) em Belém, no qual tivemos o governador do Pará, secretária nacional do Ministério do Meio Ambiente e importantes cientistas debatendo questões da COP-30 e políticas ambientais para a Amazônia (<https://www.theamazonwewant.org/>).

Outro ponto importante que gostaria de ressaltar é a supervisão de alunos da iniciação científica, bem como auxiliar nas atividades diárias do laboratório. Ressalto que participo de diversos projetos de pesquisa, sendo o de “avaliação do mineroduto-Hydro” o que me encontro mais atuante.

Por fim, desde que ingressei no doutorado, publiquei um total de nove artigos em diferentes grupos e linhas de pesquisa:

1. Brasil, L.S., Ferreira, V.R.S., Resende, B.O., Juen, L., Batista, J. D., Castro, L.A.; Giehl, N.F.S. *Dams Change Beta Diversity of Aquatic Communities in the Veredas of the Brazilian Cerrado. FRONTIERS IN ECOLOGY AND EVOLUTION*, v. 9, p. 1-10, 2021. (IF= 4.49)

2. Batista, J.D.; Ferreira, V.R.S.; Cabette, H.S.R.; Castro, L.A. De Marco, P.; Juen L. Sampling efficiency of a protocol to measure Odonata diversity in tropical streams. *PLOS ONE*, v. 3, p. 1-18, 2021. (IF=3.75)

3. Del Palacio, A; Muzon, J.; Juen, L.; Ferreira, V.R.S.; Batista, J.D. *Erythrodiplax nataliae* sp. nov., a new species for the state of Mato Grosso, Brazil. *ANAIS DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS*, v. 92, p. 1-7, 2020 (IF=1.91).

4. Giehl, N. F. S.; Cabette, H.S.R.; Dias-Silva, K.; Juen, L.; Moreira, F. F. F. ; Castro, L.A. ; Ferreira, V.R.S. ; Batista, J.D. Variation in the diversity of semiaquatic bugs (Insecta: Heteroptera: Gerromorpha) in altered and preserved veredas. *HYDROBIOLOGIA*, p. 00, 2020. (IF=2.82).

5. Resende, B.O.; Ferreira, V.R.S.; Juen, L.; Cabette, H.S.R. Emergence trap for the collection of exuviae and adult of odonata. *OECOLOGIA AUSTRALIS*, v. 24, p. 742-747, 2020 (IF=0.25).

6. Resende, B.O.; Ferreira, V.R.S.; Brasil, L. S.; Calvão, L. B.; Mendes, T. P.; Carvalho, F. G.; Mendoza-Penagos, C. C.; Bastos, R. C.; Brito, J. S.; Oliveira-junior, J. M. B.; Dias-Silva, K.; Luiza-

Andrade, A.; Guillermo, R.; Cordero-Rivera, A.; Juen, L. Impact of environmental changes on the behavioral diversity of the Odonata (Insecta) in the Amazon. *SCIENTIFIC REPORTS*, v.11, p.1 - 12, 2021.6. (IF=5.0).

7. Resende, B.O.; Ferreira, V.R.S.; Juen, L.; Silverio, D.; Cabette, H.S.R. Seasonal fluctuations in the structure of the larval odonate community of a stream in the Cerrado-Amazon Forest transition zone. *AQUATIC ECOLOGY*, v.1, p.1 - 13, 2021 (IF=2.21).

8. Miranda, F. J. C., Mendoza-Penagos, C. C. M., Calvão, L B, Miguel, T. B., Bastos, R. C., Ferreira, V. R. S., Diego, V. M., Vieira, L., J.S., Brasil, L. S., Juen, L. Checklist of Damselflies and Dragonflies (Odonata) from Acre state, and the first record of *Drepanoneura loutoni* von Ellenrieder & Garrison, 2008 for Brazil. - *BIOTA NEOTROPICA*. 22 (2022). (IF=1.47).

9. Ferreira, V. R. S., Resende, B.O., Bastos, R. C., Brito, J., Carvalho, F.G., Calvão, L. B., Neiss, U. G., Ferreira, R.G., Juen L. Amazonian Odonata Trait Bank. – *ECOLOGY AND EVOLUTION*. 13: 1–21. 2023 (IF=3.16).

10. Juen, L. et al. 2023. The First Mitochondrial Genome of an Odonata Endemic to Phylogeny of the Zygoptera. *Diversity Insect*.

11. Carvalho et al. 2023. Pervasive gaps in Amazonian ecological research. *Current Biology*.

Fim!