



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS



PPGCIAG
Programa de Pós-Graduação
em Ciências Agrárias - UEMA

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – PPGCIAG**

NICOLAS TAVARES DO NASCIMENTO

**DISTRIBUIÇÃO DA ASSEMBLEIA DE ODONATA (INSECTA) EM RIACHOS
COM DIFERENTES NÍVEIS DE CONSERVAÇÃO EM UMA REGIÃO DE
ECÓTONO AMAZÔNIA-CERRADO**

**São Luís – MA
2025**



NICOLAS TAVARES DO NASCIMENTO

**DISTRIBUIÇÃO DA ASSEMBLEIA DE ODONATA (INSECTA) EM RIACHOS
COM DIFERENTES NÍVEIS DE CONSERVAÇÃO EM UMA REGIÃO DE
ECÓTONO AMAZÔNIA-CERRADO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Ciências Agrárias –
PPGCIAG/UEMA, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Orientador: Dr. José Roberto P. de Sousa
Coorientador: Dr. Leandro Juen

Aprovada em: 30 de Junho de 2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br JOSE ROBERTO PEREIRA DE SOUSA
Data: 15/09/2025 15:54:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Roberto Pereira de Sousa
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA (Orientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br LENIZE BATISTA CALVAO SANTOS
Data: 24/09/2025 21:10:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Lenize Batista Calvão Santos
Universidade Estadual do Pará - UFPA

Documento assinado digitalmente
gov.br JOSE MAX BARBOSA DE OLIVEIRA JUNIOR
Data: 30/09/2025 12:15:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Júnior
Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA

São Luís – MA
2025



Nascimento, Nicolas Tavares do.

Distribuição da Assembleia de Odonata (INSECTA) em riachos com diferentes níveis de conservação em uma região de Ecótono Amazônia - Cerrado./ Nicolas Tavares do Nascimento . – São Luís (MA), 2025.

49p.

Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - PPGCIAG) Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, 2025.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Pereira de Sousa.

1. Libélula. 2. Ecótono. 3. Integridade Ambiental. 4. Espécies Indicadoras. 5. Riachos Tropicais. I.Título.

CDU:595.732(81)



AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual do Maranhão, Campus São Luís, pela oportunidade de formação;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro;

A Profa. Dra. Mauricélia Ferreira Almeida Laranjeiras, por disponibilizar o Laboratório de Entomologia (Centro de Ciências Agrárias - Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL) para triagem, armazenamento e identificação do material coletado;

Ao Professores Dr. José Roberto Pereira de Sousa e Dr. Leandro Juen, pela excelente orientação, pela confiança e paciência, por sempre me ajudarem quando os procurei e por todo apoio ao longo da realização desse trabalho.

Aos professores participantes da banca examinadora, Professora Dra. Lenize Batista Calvão Santos e Professor Dr. José Max Pereira Barbosa de Oliveira Júnior, pelas valiosas contribuições para a melhoria desse trabalho.

Ao meu querido amigo, Me. Francisco Maciel, por ter me ajudado nas coletas, identificações dos espécimes de Odonata e correções da Dissertação, e acima de tudo, por ser muito prestativo;

Enfim, a todos os meus amigos que aceitaram se aventurar comigo nas várias coletas, em especial ao Igor Matheus, José Augusto e o Pedro Victor.



RESUMO

As transições entre grandes biomas, conhecidas como ecótonos, reúnem condições ambientais únicas que sustentam elevada biodiversidade, mas também sofrem intensamente com a expansão agropecuária e a degradação ambiental. Esta dissertação investigou a influência de diferentes níveis de conservação ambiental sobre a comunidade de Odonata (libélulas e donzelinhas) em riachos localizados no ecótono entre os biomas Amazônia e Cerrado, no sudoeste e norte, dos estados do Maranhão e Tocantins, respectivamente. A abordagem se deu por meio de amostragem padronizada em 30 trechos de riachos distribuídos entre ambientes classificados como conservados, alterados e impactados, avaliando variáveis ambientais e suas relações com a composição, riqueza e abundância das espécies de Odonata. Foram aplicadas análises multivariadas, incluindo Modelos Lineares Generalizados (GLMs) e Modelos de Mudança de Estado (TITAN), além de Análise de Componentes Principais (PCA). Os resultados indicam que a integridade ambiental influencia significativamente a estrutura das assembleias, com maior riqueza e abundância de Zygoptera em ambientes conservados, enquanto Anisoptera demonstraram maior tolerância a ambientes alterados. A análise de espécies indicadoras identificou táxons sensíveis associados à cobertura vegetal preservada e ao microclima estável, enquanto a TITAN revelou limiares ecológicos relacionados às variáveis, temperatura, condutividade elétrica e índice de integridade do habitat. A diversidade de Odonata mostrou-se eficiente como ferramenta bioindicadora da qualidade ambiental dos riachos avaliados, reforçando a importância da preservação da vegetação ciliar e do controle da expansão agropecuária na região. Ao final, o estudo evidencia que os ecótonos, apesar de sua complexidade e riqueza, continuam pouco explorados na pesquisa ecológica e demandam maior atenção em estratégias de conservação.

Palavras-chave: Libélula, ecótono, integridade ambiental, espécies indicadoras, riachos tropicais.



ABSTRACT

Transitions between large biomes, known as ecotones, have unique environmental conditions that support high biodiversity, but they also suffer intensely from agricultural expansion and environmental degradation. This dissertation investigated the influence of different levels of environmental conservation on the Odonata community (dragonflies and damselflies) in streams located in the ecotone between the Amazon and Cerrado biomes, in the southwest and north of the states of Maranhão and Tocantins, respectively. The approach was carried out through standardized sampling in 30 stream reaches distributed among environments classified as conserved, altered, and impacted, evaluating environmental variables and their relationship with the composition, richness, and abundance of Odonata species. Multivariate analyses were applied, including Generalized Linear Models (GLMs) and Threshold Indicator Taxa Analysis (TITAN), in addition to Principal Component Analysis (PCA). The results indicate that environmental integrity significantly influences the structure of the assemblages, with greater richness and abundance of Zygoptera in conserved environments, while Anisoptera showed greater tolerance to altered environments. The indicator species analysis identified sensitive taxa associated with preserved plant cover and a stable microclimate, while TITAN revealed ecological thresholds related to the variables temperature, electrical conductivity, and habitat integrity index. The diversity of Odonata proved to be an efficient bioindicator tool for the environmental quality of the evaluated streams, reinforcing the importance of preserving riparian vegetation and controlling agricultural expansion in the region. In the end, the study shows that ecotones, despite their complexity and richness, remain underexplored in ecological research and demand greater attention in conservation strategies.

Keywords: Dragonfly, ecotone, environmental integrity, indicator species, tropical streams

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição espacial dos 30 riachos amostrados na bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia, abrangendo nove municípios localizados na região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, sendo eles: Imperatriz, João Lisboa, Governador Edison Lobão, Ribamar Fiquene, Campestre do Maranhão, Porto Franco e Lajeado Novo, e no Tocantins: São Miguel do Tocantins e Sítio Novo do Tocantins, Brasil. Fonte: Autor, 2024.....**15**

Figura 2: Análise de Componentes Principais (PCA) mostrando as principais variáveis que influenciaram sobre a integridade dos riachos (R) localizados no ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. IHH – Índice de Integridade de Habitat; OD= oxigênio dissolvido; PH – Potencial de hidrogeniônico; TE – Temperatura; CE – Condutividade elétrica; CD – Cobertura de Dossel; LR – Largura; PF – Profundidade.
.....**21**

Figura 3: Resultado da Análise de PERMDISP mostrando distribuição da composição de espécies verificadas entre os riachos alterados e conservados, localizados no ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. AL: Alterado; CO: Conservado**27**

Figura 4: Diagrama de Venn demonstrando organização de espécies entre os tratamentos alterados e conservados, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil.
.....**28**

Figura 5: Relação da abundância de Zygoptera (número total de indivíduos) com a Largura do Riacho (m). Localização ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. A linha azul representa a curva de ajuste do Modelo Linear Generalizado (GLM) Poisson, indicando que a abundância de Zygoptera tende a diminuir em riachos mais largos ($p = 0.003$).
.....**30**

Figura 6: Relação da abundância de Zygoptera (número total de indivíduos) com a Cobertura do Dossel (%). Riachos localizados no ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. A linha verde representa a curva de ajuste do Modelo Linear Generalizado (GLM) Poisson, mostrando que a abundância de Zygoptera aumenta em ambientes com maior cobertura do dossel ($p < 0.001$).
.....**31**

Figura 7: Relação da riqueza de Anisoptera (número de espécies) com a Largura do Riacho (m). Localização ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-



Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. A linha vermelha representa a curva de ajuste do Modelo Linear Generalizado (GLM) Poisson, indicando que a riqueza de Anisoptera tende a ser maior em riachos mais largos (p = 0.015).
.....31

Figura 8: Relação da abundância de Anisoptera (número total de indivíduos) com a Largura do Riacho (m). Localização ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. A linha roxa representa a curva de ajuste do Modelo Linear Generalizado (GLM) Poisson, mostrando que a abundância de Anisoptera é maior em riachos mais amplos (p < 0.001).....32

Figura 9. Pontos de mudança comunitários (fsumz- e fsumz+) e densidade da distribuição das espécies com respostas positivas e negativas ao gradiente de integridade ambiental. Ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. Os símbolos, linhas ou pontos verdes são os valores das espécies Z+.
.....34

Figura 10: Resultado da análise TITAN mostrando a espécie *N. sylvatica* como indicadora ao longo do gradiente de IIH. Ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. O X representa o z-threshold da espécie com resposta significativa.34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variáveis ambientais e suas correlações com os dois primeiros eixos da Análise de componentes Principais. Ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil.21

Tabela 2. Composição de espécies/morfoespécies de Odonata coletadas em 30 riachos localizados no ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. LC: 'Pouco Preocupante' 23

Tabela 3: Tabela demonstrando organização de espécies entre os tratamentos alterados e conservados, no ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. 1 – Presente; 0 – Ausente 27

Tabela 4. Resultados dos testes de ANOVA e Modelos Lineares Generalizados (GLMs) avaliando os efeitos do tipo de ambiente e de variáveis ambientais contínuas (IIH =



Índice de Integridade do Habitat, LR = Largura do Riacho, CD = Condutividade, TE = Temperatura da Água) sobre a riqueza e abundância de Odonata em riachos do ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. São destacados os preditores estatisticamente significativos ($p < 0,05$). Modelos GLM foram ajustados com distribuição de Poisson **29**

Tabela 5. Pontos de mudança comunitários. Sumz- e sumz+ são os pontos de mudança considerando todas as espécies e fsumz- e fsumz+ são os pontos de mudança considerando as espécies com pureza e confiabilidade maiores que 95%. Ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. **33**



SUMÁRIO

RESUMO	5
INTRODUÇÃO	11
MATERIAL E MÉTODOS	14
ÁREA DE ESTUDO	14
Delineamento amostral	15
Caracterização ambiental	16
Análise de dados	17
RESULTADOS	20
DISCUSSÃO	34
CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
MATERIAL SUPLEMENTAR	48

INTRODUÇÃO

A intensificação das atividades humanas nas regiões de transição entre grandes biomas tem provocado profundas alterações na estrutura dos ecossistemas e na composição da biodiversidade. O ecótono entre a Amazônia e o Cerrado, por exemplo, destaca-se por sua alta heterogeneidade ambiental e relevância biogeográfica, funcionando como um mosaico de formações savânicas e florestais. (Kark & Van Rensburg, 2006). Esse mosaico cria condições ambientais altamente variáveis, o que influencia a distribuição de espécies e pode favorecer espécies generalistas ou tolerantes a distúrbios (Souza *et al.*, 2021). Além disso, essas regiões frequentemente concentram espécies endêmicas e funcionam como corredores ecológicos, aumentando sua importância para a conservação. (WWF Brasil, 2022; MAPBIOMAS, 2023).

Riachos localizados em ecótonos exercem papel ecológico estratégico ao atuarem como corredores de dispersão e locais de reprodução para uma ampla gama de organismos, incluindo insetos aquáticos (Silva *et al.*, 2022). A qualidade desses sistemas lóticos está diretamente ligada à conservação da vegetação ciliar, a qual regula o microclima, protege o solo contra a erosão, contribui para a retenção de nutrientes e influencia a dinâmica hidrológica (Naiman *et al.*, 2005). A degradação dessa vegetação compromete essas funções e altera as condições físico-químicas da água, afetando a composição e o funcionamento das comunidades aquáticas (Miguel *et al.*, 2017; Gerlach *et al.*, 2013).

Nesse contexto, a teoria do habitat template (Poff, 1997) fornece um referencial fundamental para compreender como a estrutura ambiental atua como um molde que seleciona traços funcionais das espécies. A proposta central da teoria é que diferentes habitats impõem filtros ecológicos que moldam, ao longo do tempo, as estratégias adaptativas dos organismos (Begon; Townsend, 2023). Ambientes previsíveis e estruturalmente complexos, como riachos sombreados com vegetação ciliar bem conservada, favorecem espécies especializadas, com maior sensibilidade a mudanças (Pereira, 2013). Já ambientes alterados, com maior exposição e instabilidade térmica, tendem a ser colonizados por espécies mais generalistas, com maior plasticidade ecológica (De Carvalho, 2024).

A Teoria do Habitat Template (Southwood, 1977) fornece um arcabouço teórico útil para entender como os gradientes ambientais moldam as comunidades biológicas. De acordo com essa teoria, as características estruturais e dinâmicas do habitat funcionam como filtros ecológicos, favorecendo espécies com atributos compatíveis. Esse arcabouço teórico se articula com os conceitos clássicos de nicho ecológico, introduzidos por Grinnell (1917) e refinados por Hutchinson (1957), segundo os quais a ocorrência de uma espécie é determinada pela combinação de condições abióticas toleradas e pelos recursos utilizados. Complementarmente, a teoria da heterogeneidade ambiental (Tilman, 1982) sugere que ambientes mais complexos, com maior número de microhabitats e maior variabilidade estrutural, suportam maior diversidade de espécies (Fernandes, 2013; Ortega, 2017; Martins, 2002). Essa ideia é especialmente relevante em ecótonos, onde sobreposições de fisionomias vegetais criam uma ampla gama de nichos potenciais (Debastiani, 2012; Mello, 2006).

Por fim, a teoria das metacomunidades (Leibold *et al.*, 2004) amplia essa discussão ao propor que os padrões de distribuição das espécies são influenciados tanto por características locais (filtros ambientais) quanto por processos regionais, como a dispersão. Os mecanismos de species sorting e mass effects ajudam a explicar por que comunidades distintas podem persistir em habitats diferentes, mesmo quando há conexão hidrológica e possibilidade de fluxo entre elas. Em riachos ecotonais, essa interação entre filtros ambientais e dispersão pode gerar padrões únicos de composição de espécies e riqueza local.

Entre os organismos bioindicadores mais utilizados em ambientes aquáticos, destacam-se os insetos da ordem Odonata (libélulas) (Peña *et al.*, 2019; Chagas *et al.*, 2017). Devido à sua dependência do meio aquático durante o estágio larval e do meio terrestre durante a fase adulta, odonatos são sensíveis a alterações em diferentes escalas espaciais (Corbet, 1999; Monteiro-Junior *et al.*, 2015). Assim, sua distribuição e composição podem refletir variações ambientais relacionadas à qualidade do habitat, integridade ripária, cobertura vegetal e condições físico-químicas da água (De Marco & Vianna, 2005).

As regiões sudoestem do Maranhão e norte do Tocantins, inseridas no ecótono Amazônia-Cerrado, tem sido alvo de intensas transformações antrópicas em virtude da expansão da fronteira agrícola na região do MATOPIBA. A substituição da vegetação

nativa por pastagens, monoculturas de soja e eucalipto tem causado fragmentação de habitats e degradação dos sistemas lóticos, ameaçando a biodiversidade aquática e comprometendo os serviços ecossistêmicos associados (De Oliveira *et al.*, 2022; Pires, 2020). Neste cenário, os Odonata podem ser considerados como bioindicadores eficientes para avaliar o grau de integridade dos ambientes aquáticos.

Estudos recentes têm demonstrado que a cobertura do dossel e o grau de integridade da vegetação ciliar são importantes fatores estruturadores das comunidades de Odonata (Oliveira-Junior *et al.*, 2019; Borges *et al.*, 2021; Barbosa, F. M.; Santos, M. R.; Juen, L., 2022). Entretanto, poucos estudos abordam esses fatores em riachos de transição ecológica como o ecótono Amazônia-Cerrado, apesar de sua alta vulnerabilidade e importância estratégica para conservação. No caso de Odonata, a estrutura do dossel e a complexidade do ambiente ripário podem atuar como tais filtros ao longo do ecótono.

Assim, esta dissertação teve como objetivo geral avaliar como os gradientes ambientais (o índice integridade do habitat e cobertura do dossel) influenciam a composição, riqueza e abundância das comunidades de Odonata em riachos localizados no Ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do Tocantins, Brasil. Foram testadas as seguintes hipóteses: 1) A composição da comunidade de Odonata difere entre os riachos ao longo do gradiente ambiental. Espera-se que riachos conservados apresentem composição mais homogênea e dominância de espécies especialistas, enquanto riachos alterados exibam maior variabilidade interna, refletindo a presença de espécies generalistas e tolerantes; 2) A riqueza e abundância de Zygoptera aumentam com a integridade do habitat e cobertura de dossel, enquanto Anisoptera apresentam maior abundância e riqueza em riachos alterados e com maior exposição a entrada de luz. Presume-se que Zygoptera responda positivamente a variáveis associadas a conservação, como sombreamento e qualidade da água, enquanto Anisoptera devem apresentar maior ocorrência em ambientes com menor integridade e maior exposição solar; 3) Há ocorrência de espécies de Odonata indicadoras de qualidade de habitat que são fortemente associadas a determinados limiares ecológicos ao longo do gradiente de cobertura vegetal. Esperamos que espécies de Zygoptera indiquem limiares de alta cobertura vegetal, enquanto espécies de Anisoptera sejam indicadoras de ambientes

abertos, permitindo a identificação de pontos críticos de mudança na estrutura das comunidades.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi conduzido em 30 riachos localizados na bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia, nas regiões sudoeste e norte, dos estados do Maranhão e Tocantins, respectivamente, abrangendo nove municípios (sete no Maranhão e dois no Tocantins) (Figura 1). Estas duas regiões estão localizadas em uma extensa área de ecótono Amazônia-Cerrado, que é caracterizada por um mosaico de fisionomias vegetais savânicas semelhantes às formações florestais ombrófilas e cerrado (Soares, 2010). Essa área ecotonal, que representa cerca de 4,85% do território brasileiro, destaca-se pela alta produtividade de grãos, fibras e carne bovina (Garcia, 2024) e apresenta características típicas de ambos os biomas, como vegetações com formações savânicas (cerrado) e florestais (amazônica), como é o caso das matas de galeria, apresenta também espécies endêmicas como os saguis, o peixe-boi e o boto-cinza (De Oliveira Costa, 2022). O clima tropical, com temperaturas médias de 27,1°C e precipitação anual de 1221mm, molda a dinâmica hidrológica dessa área, com alternância de estações secas (verão) e chuvosas (inverno), típicas de ambos os biomas (Martins; De Oliveira, 2011).

Apesar da sua importância ecológica, essa área ecotonal enfrenta desafios significativos devido à intensa atividade agrícola e à expansão da pecuária. Nas últimas décadas, a porção sudoeste do estado do Maranhão tem sido um epicentro da expansão da fronteira agrícola brasileira, especialmente com o avanço do agronegócio na região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) (Jesus, 2023). Impulsionada pelo cultivo de soja e arroz em larga escala, e pela consolidação da pecuária, essa expansão tem exercido uma pressão sem precedentes sobre os recursos naturais (Lima, 2020). Além disso, a presença de extensas áreas de monocultura de eucalipto, também contribui para essa pressão (Santos et al., 2024). Esses fatores têm resultado em um cenário de rápido desmatamento, fragmentação de habitats e poluição de cursos d'água (Martins; De Oliveira, 2011), impactando diretamente a biodiversidade local (Santos, 2024) e que pode estar incluindo também a ordem Odonata, grupo de insetos com grande potencial como bioindicadores da qualidade ambiental.

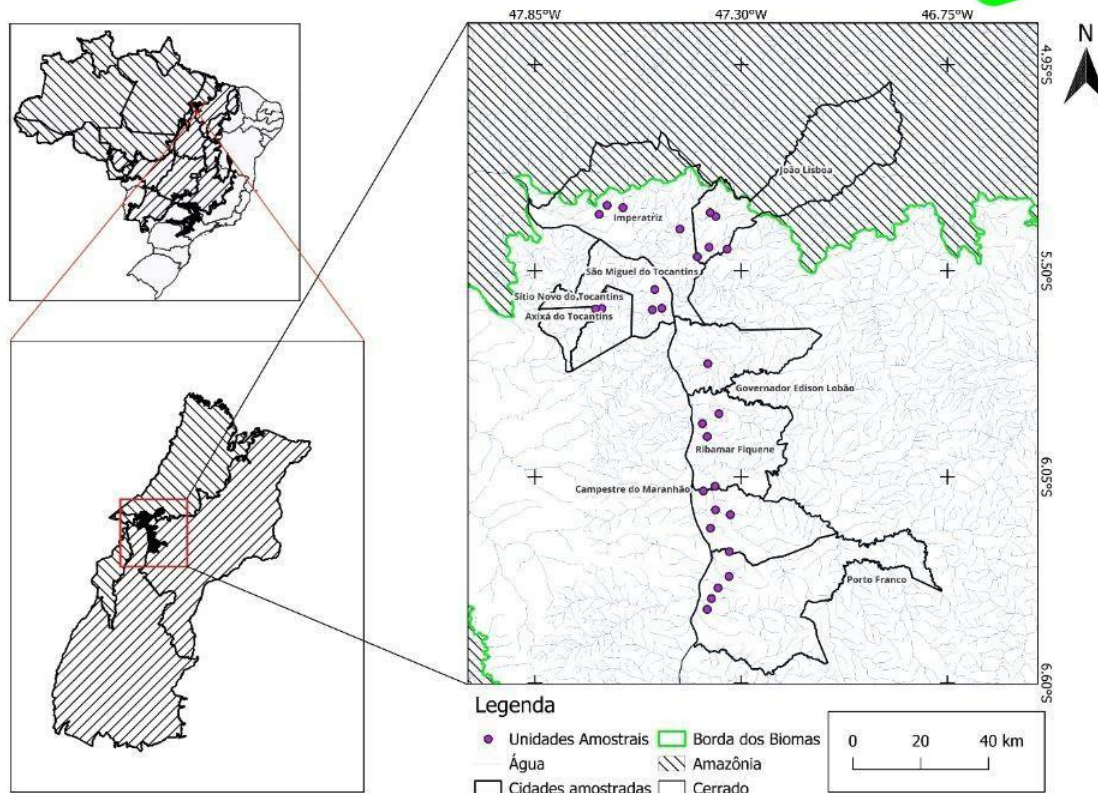


Figura 1: Distribuição espacial dos 30 riachos amostrados na bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia, abrangendo nove municípios localizados na região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, sendo eles: Imperatriz, João Lisboa, Governador Edison Lobão, Ribamar Fiquene, Campestre do Maranhão, Porto Franco e Lajeado Novo, e no Tocantins: São Miguel do Tocantins e Sítio Novo do Tocantins, Brasil. Fonte: Autor, 2024

Delineamento amostral

Em cada riacho foi selecionado um trecho contínuo de 100 metros, subdividido em 20 segmentos de cinco metros, conforme protocolos estabelecidos para a amostragem de Odonata em sistemas lóticos de pequeno porte (Juen & De Marco, 2011; Pereira de Gouvêa, 2023). As coletas foram realizadas entre os meses de agosto e outubro de 2023 e em junho de 2024, contemplando transições sazonais entre o final da estação seca e o início do período chuvoso. As capturas dos adultos de Odonata foram feitas com redes entomológicas circulares de 40 cm de diâmetro, aplicando o método de varredura ativa em áreas fixas dentro de cada segmento (Juen *et al.*, 2011). As atividades de campo ocorreram entre 10h e 14h, período de maior atividade dos Odonata adultos, devido à dependência da radiação solar para termorregulação (Hassall, 2015). Cada ponto foi amostrado com um esforço de coleta médio de uma hora.

Após a coleta, os espécimes foram acondicionados em envelopes de papel-de-seda e desidratados em álcool 90%. O tempo de desidratação variou de acordo com a subordem: 24 horas para Zygoptera e 48 horas para Anisoptera, respeitando adaptações dos protocolos de Lencioni (2006). A identificação das espécies foi realizada com o uso de chaves taxonômicas específicas para a fauna neotropical (Garrison, 2010; Lencioni, 2005), e o material foi incorporado às coleções científicas do Laboratório de Ecologia da Universidade Federal do Pará e do Laboratório de Ciências Ambientais e Biodiversidade da Universidade Estadual do Maranhão.

Caracterização ambiental

Para a caracterização abiótica dos riachos, foi aplicado o protocolo de avaliação de Nessimian et al. (2008), que engloba uma análise abrangente do habitat. Esse protocolo avalia o padrão de uso da terra adjacente à vegetação ciliar, crucial para entender as pressões antrópicas sobre o ecossistema; a largura e o estado de preservação da mata ciliar, incluindo sua condição em uma faixa de 10 metros, indicadores da integridade da vegetação; a condição do canal, considerando o tipo de sedimento e a presença de dispositivos de retenção, que podem alterar a dinâmica do curso d'água; a estrutura e o desgaste dos barrancos marginais, que refletem a estabilidade do leito do rio; e a caracterização do leito do riacho, avaliando o substrato, a vegetação aquática, os detritos e a disposição das riachos de corredeiras, poções e meandros, elementos importantes para a biodiversidade aquática. Cada um desses itens é composto por quatro a seis alternativas ordenadas, representando sistemas em diferentes graus de integridade, permitindo uma análise detalhada do habitat. O valor final do IHH varia de zero a um, sendo que quanto maior o valor, mais preservado é o ambiente. Essa métrica abrangente é fundamental para explicar a variação da comunidade de insetos aquáticos em riachos, conforme demonstrado em estudos recentes (Brasil *et al.*, 2022; Oliveira-Junior, 2019). Os riachos foram classificados em duas categorias definidas de forma arbitrárias de condições ambientais, com base nos valores de IHH (Tabela MS1): alterados (0.29 – 0.56); conservados (0.57 – 0.78).

Adicionalmente, foram mensuradas a largura, profundidade e cobertura do dossel, variáveis importantes que podem influenciar os padrões de diversidade de libélulas (Hendry & Taylor, 2004). A largura e a profundidade de cada riacho foram medidas com uma fita métrica em três pontos ao longo do trecho de 100 metros, e a

média dessas medidas foi utilizada na análise. A cobertura do dossel foi avaliada por meio de fotografias hemisféricas, que foram processadas no programa ImageJ para calcular a porcentagem de cobertura da vegetação sobre o curso d'água.

Paralelamente, foram mensuradas *in loco* as seguintes variáveis limnológicas: pH, oxigênio dissolvido (OD), temperatura da água e condutividade elétrica (CE). Essas variáveis foram mensuradas com uma sonda multiparamétrica (AK88), que permite obter leituras precisas e confiáveis. Todas as variáveis mencionadas serão medidas em três pontos (jusante, intermediário e montante) do trecho de 100 metros, visando caracterizar a variabilidade ambiental ao longo do riacho. A seleção dessas métricas ambientais foi cuidadosamente embasada na literatura científica, buscando aquelas que são mais relevantes para a assembleia de Odonata em riachos (Brasil *et al.*, 2020; Veras *et al.*, 2024; Pereira-Moura *et al.*, 2021; Barbosa-Santos *et al.*, 2025; Machado de Alburquerque *et al.*, 2024).

Análise de dados

Neste estudo, cada riacho representa uma unidade amostral (UA), totalizando 30 UAs. Para avaliar a variação das variáveis ambientais nos riachos, foi utilizada a Análise de Componentes Principais (PCA), técnica estatística multivariada permite identificar os principais padrões de variação entre as variáveis ambientais (Magalhães, 2023; Soares, 2022). A PCA condensa as informações contidas nas variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas, denominadas componentes principais, que representam as principais tendências de variação dos dados, facilitando a visualização e interpretação dos resultados (Liu *et al.*, 2018). Os dados foram padronizados para evitar que variáveis com maior variância influenciem desproporcionalmente os resultados (Legendre & Legendre, 2012). A matriz de correlação foi utilizada na PCA para avaliar as relações lineares entre as variáveis ambientais. O critério de seleção dos eixos principais foi o *Broken Stick*, que compara os autovalores observados com aqueles esperados por acaso em um conjunto de dados aleatórios, auxiliando na determinação do número de componentes principais relevantes para a análise (Jackson, 1993)

Para testar a primeira hipótese, que prevê diferenças na composição de espécies de Odonata entre riachos com níveis distintos de heterogeneidade e antropização do

habitat (definidos a partir das análises de PCA e do Índice de Integridade do Habitat), foram utilizadas as análises de variância multivariada permutacional (PERMANOVA) e a multivariada permutacional de dispersão (PERMDISP) (Brasil, 2018). A PERMANOVA é um teste estatístico não paramétrico que permite avaliar se a composição de espécies de Odonata (variável resposta) difere significativamente entre os grupos de riachos (variável preditora), levando em consideração a variabilidade multivariada dos dados (Anderson, 2001). A PERMDISP, por sua vez, permite avaliar se a dispersão da composição de espécies (ou seja, a variabilidade na composição entre amostras dentro de um grupo) difere entre os grupos de riachos, complementando a análise da PERMANOVA (Anderson, 2006). Para facilitar a visualização dos dados, adicionalmente foi feito o Diagrama de Venn, com a quantidade de espécies presentes em ambientes alterados, conservados e em ambos (Venn, 1880). O pacote utilizado para as análises no programa R Statistica.

Para testar a segunda hipótese, que prevê como a riqueza e abundância das comunidades de Odonata respondem aos gradientes de cobertura de dossel e temperatura, foram aplicados Modelos Lineares Generalizados (GLM). Antes da construção dos modelos, a multicolinearidade entre essas variáveis preditoras foi avaliada utilizando o Fator de Inflação da Variância (VIF). As análises foram conduzidas separadamente para as subordens Zygoptera e Anisoptera, em virtude de suas reconhecidas diferenças ecológicas e respostas distintas a alterações ambientais.

Para a construção dos GLMs, a família de distribuição Poisson (com função de ligação logarítmica) foi inicialmente utilizada para dados de contagem (Zuur et al., 2009). No entanto, os testes preliminares de diagnóstico revelaram sobre dispersão e desvios de uniformidade de resíduos para os modelos de Abundância de Zygoptera, Riqueza de Anisoptera e Abundância de Anisoptera, conforme avaliado pelo pacote DHARMA. Diante disso, para esses modelos, a família Binomial Negativa (função `glm.nb` do pacote MASS) foi empregada, por ser mais adequada para lidar com dados de contagem sobredispersos. A seleção das variáveis preditoras mais relevantes para cada modelo (riqueza e abundância, para cada subordem) foi realizada por meio de um procedimento *stepwise backward*, baseado no Critério de Informação de Akaike (AIC), visando identificar o modelo mais parcimonioso. Antes da aplicação dos modelos, a não normalidade das variáveis resposta (riqueza e abundância) foi verificada por meio do

teste de Shapiro-Wilk. Após a seleção dos modelos, a adequação e o atendimento dos pressupostos dos GLM (uniformidade dos resíduos, sobre dispersão e detecção de outliers) foram verificados novamente utilizando o pacote DHARMA (Harting, 2024).

Para testar a terceira hipótese, que postula a existência de espécies indicadoras associadas aos gradientes ambientais, foi realizada a Análise de Taxa Indicadores por Limiar (TITAN - Threshold Indicator Taxa Analysis). Essa abordagem permite identificar espécies que respondem de forma significativa a gradientes ambientais contínuos, assinalando pontos de inflexão em suas abundâncias ao longo do gradiente (Baker & King, 2010). O TITAN combina regressões não paramétricas para cada espécie com testes de permutação para avaliar a robustez dos limiares detectados, permitindo distinguir espécies que respondem positiva (Z+) ou negativamente (Z-) às mudanças ambientais. Para que uma espécie fosse considerada indicadora significativa, foram adotados os critérios propostos por Baker & King (2010): pureza $\geq 0,95$ e confiabilidade $\geq 0,95$. A significância estatística dos limiares e das respostas das espécies foi avaliada por meio de 999 permutações. As análises foram conduzidas no R com o pacote TITAN2 (Baker & King, 2015).

Neste estudo, a Cobertura do Dossel (CD) foi adotada como principal gradiente ambiental por se tratar de uma variável diretamente relacionada à estrutura da vegetação ciliar, fortemente influenciada pelo uso do solo nas margens dos riachos e considerada um indicador sensível de impacto antrópico. A escolha da CD foi baseada em sua alta correlação com outras variáveis estruturais (IIH, largura), identificada previamente na Análise de Componentes Principais (PCA), além de sua relevância ecológica na modulação da temperatura, da disponibilidade de luz e da estabilidade microclimática, fatores-chave para a ecologia de Odonata, especialmente Zygoptera.

As espécies foram classificadas como respondedoras positivas (indicadoras de maior cobertura vegetal) ou respondedoras negativas (indicadoras de ambientes mais abertos), com base nos valores do z-score para pureza (purity) e confiabilidade (reliability), ambos calculados pelo TITAN.

Adicionalmente foi verificado o status de conservação das espécies de Odonata amostradas, compilando as informações encontradas em duas plataformas: a plataforma internacional da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN; IUCN,

2024) e a plataforma brasileira SALVE (<https://salve.icmbio.gov.br/>), atualizada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (Pires *et al.*, 2024). A compilação dessas informações, provenientes de diferentes plataformas, permitiu comparar os status de conservação das espécies e identificar possíveis lacunas de informação, fornecendo uma avaliação mais completa do risco de extinção das espécies de Odonata nos riachos de estudo.

RESULTADOS

Caracterização ambiental dos riachos

O primeiro eixo principal (PC1) explicou 29,72% da variância total dos dados ambientais (Figura 2), representando um gradiente de integridade e heterogeneidade do habitat. A seleção do PC1 foi corroborada pelo critério de Broken Stick. Os resultados da PCA indicaram que as variáveis cobertura do dossel e Índice de Integridade de Habitat (IIH) foram as que mais contribuíram positivamente para a formação do PC1, evidenciando que riachos com maior integridade e sombreamento estavam em uma extremidade desse gradiente. Em contrapartida, a temperatura apresentou uma correlação negativa com o PC1, indicando que riachos mais quentes se situavam na outra extremidade, refletindo ambientes mais abertos e potencialmente alterados (Figura 02).

A ordenação dos riachos no espaço definido pelo PC1 (Tabela 1) permitiu identificar padrões de influência das variáveis analisadas. Os riachos classificados como conservados (08, 12, 11 e 14) foram positivamente influenciados pela cobertura do dossel e pelo IIH. A presença de vegetação ciliar preservada nesses trechos contribuiu para a manutenção da integridade do habitat, favorecendo a qualidade da água e a biodiversidade aquática. Em contraste, os riachos (09, 5 e 28), que apresentaram correlação negativa com o PC1, foram influenciados principalmente pela temperatura. A ação antrópica nesses locais, caracterizada pelo desmatamento da mata ciliar e pela presença de atividades agropecuárias, como a criação de gado, pode resultar no aumento da temperatura da água, impactando negativamente a biota aquática. Adicionalmente, o oxigênio dissolvido (OD) emergiu como um fator importante na caracterização de outros riachos (24, 23 e 27).

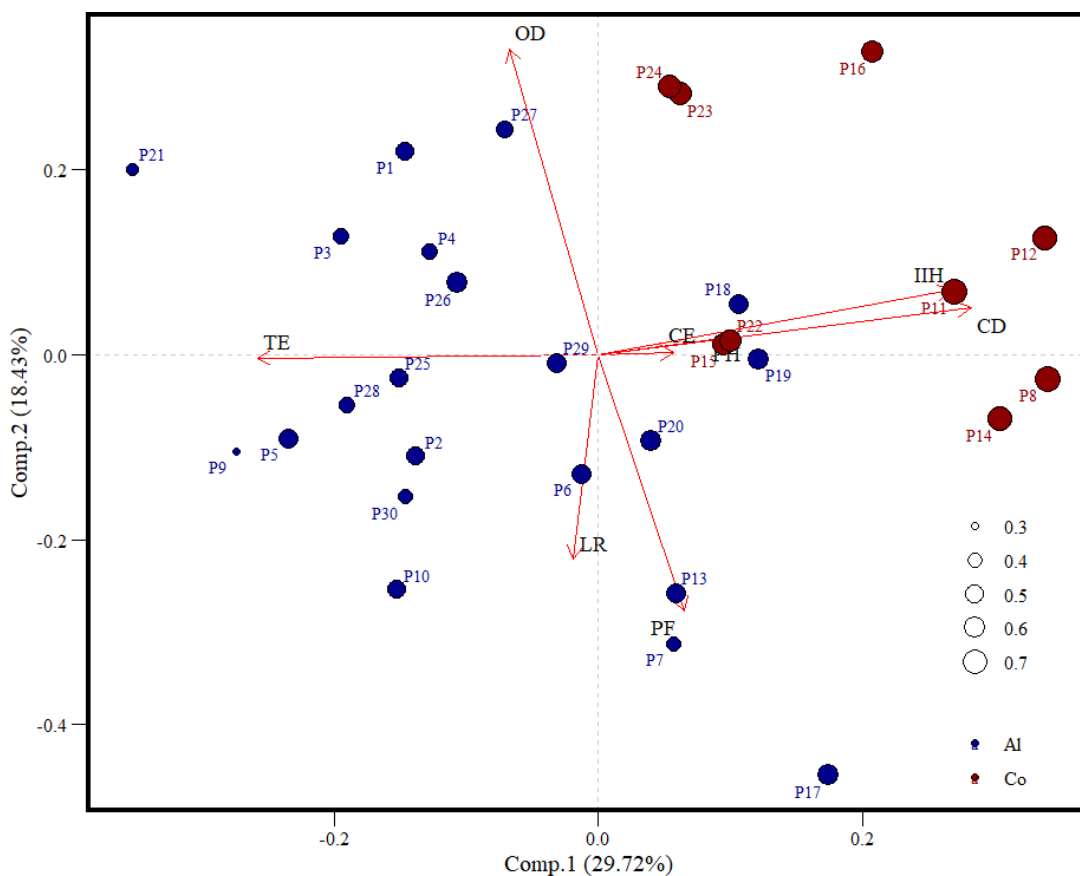


Figura 2: Análise de Componentes Principais (PCA) mostrando as principais variáveis que influenciaram sobre a integridade dos riachos (R) localizados no ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. IHH – Índice de Integridade de Habitat; OD= oxigênio dissolvido; PH – Potencial de hidrogeniônico; TE – Temperatura; CE – Condutividade elétrica; CD – Cobertura de Dossel; LR – Largura; PF – Profundidade.

Tabela 1: Variáveis ambientais e suas correlações com os dois primeiros eixos da Análise de componentes Principais. Ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil.

	Comp.1	Comp.2
IHH	0.839	0.172
LR	-0.059	-0.546
PF	0.205	-0.683
CD	0.885	0.124
PH	0.336	0.049
OD	-0.211	0.814
TE	-0.81	-0.009
CE	0.179	0.007

Autovalor	2.378	1.475
Broken_Stick	2.718	1.718
%Exp.	29.721	18.432
<u>%Exp Acum</u>	<u>29.721</u>	<u>48.152</u>

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

Composição das espécies de Odonata

Foram coletados 321 indivíduos de Odonata (Tabela 2), abrangendo duas subordens, sete famílias, 24 gêneros, 45 espécies e oito morfoespécies. A subordem Anisoptera destacou-se com a maior abundância (50,46% dos espécimes, totalizando 162 indivíduos e 28 espécies), com o gênero *Erythrodiplax* apresentando a maior ocorrência (nove espécies). A subordem Zygoptera, por sua vez, representou 49,53% dos espécimes (159 indivíduos e 13 espécies), com a espécie *Acanthagrion kennedii* demonstrando maior abundância (42 indivíduos).

Tabela 2. Composição de espécies/morfoespécies de Odonata coletadas em 30 riachos localizados no ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. LC: 'Pouco Preocupante'.

Espécies	Abundância	Status de Conservação		Amazônia	Cerrado
		IUCN	SALVE		
ANISOPTERA					
Aeshnidae					
<i>Coryphaeschna adnexa</i> sp.01 Hagen, 1861	1	LC	LC	SIM	SIM
Brechmorhoga					
<i>Brechmorhoga</i> sp.01 Kirby, 1889	3			SIM	SIM
Libellulidae					
<i>Dasythemis mincki</i> Karsch, 1889	1	LC	LC	NÃO	NÃO
<i>Diastatops intensa</i> Montgomery, 1940	1	LC	LC	SIM	SIM
<i>Diastatops obscura</i> Fabricius, 1775	4	LC	LC	SIM	SIM
<i>Dythemis</i> sp.01	2				
<i>Elasmothermis cannacrioides</i> Calvert, 1906	8	LC	LC	SIM	SIM
<i>Erythemis peruviana</i> Rambur, 1942	6	LC	LC	SIM	SIM
<i>Erythemis vesiculosa</i> Fabricius, 1775	1	LC	LC	SIM	SIM
<i>Erythrodiplax basalis basalis</i> Kirby, 1987	3	LC	LC	SIM	SIM
<i>Erythrodiplax berenice</i> Drury, 1773	9	LC	LC	SIM	SIM
<i>Erythrodiplax famula</i> Erichson in Schomburgk, 1848	7	LC	LC	SIM	SIM
<i>Erythrodiplax fusca</i> Rambur, 1842	7	LC	LC	SIM	SIM
<i>Erythrodiplax latimaculata</i> Ris, 1911	1	LC	LC	SIM	SIM
<i>Erythrodiplax media</i> Borrer, 1942	24	LC	LC	NÃO	SIM
<i>Erythrodiplax unimaculata</i> De Geer, 1773	8	LC	LC	SIM	SIM

<i>Erythrodiplax umbrata</i> Linnaeus, 1758	5	LC	LC	SIM	SIM
<i>Erythrodiplax kimminsi</i> Borrer, 1942	5	LC	LC	SIM	NÃO
<i>Erythrodiplax</i> sp. 01	6				
<i>Erythrodiplax</i> sp.02	3				
<i>Erythrodiplax</i> sp.06	5				
<i>Oligoclada abbreviata</i> Rambur, 1842	1	LC	LC	SIM	SIM
<i>Oliglocada rhea</i> Ris, 1911	1	LC	LC	SIM	NÃO
<i>Orthemis discolor</i> Burmeister, 1839	2	LC	LC	SIM	SIM
<i>Orthemis ferruginea</i> Fabricius, 1775	6	LC	LC	SIM	SIM
<i>Orthemis cultriformes</i> Calvert, 1899	1	LC	LC	SIM	SIM
<i>Orthemis biolleyi</i> Calvert, 1906	1	LC	LC	SIM	SIM
<i>Orthemis</i> sp.03	9				
<i>Pantala flavescens</i> Fabricius, 1798	1	LC	LC	SIM	SIM
<i>Perithemis icteroptera</i> Selys in Sangra, 1857	5	LC	LC	SIM	SIM
<i>Perithemis lais</i> Perty, 1834	18	LC	LC	SIM	SIM
<i>Perithemis tenera</i> Kirby, 1889	2	LC	LC	SIM	SIM
<i>Perithemis thais</i> Kirby, 1889	2	LC	LC	SIM	SIM
<i>Uracis imbuta</i> Burmeister, 1839	1	LC	LC	SIM	SIM
Gomphidae					
<i>Progomphus</i> sp.01	1			SIM	SIM
ZYGOPTERA					
Coenagrionidae					
<i>Acanthagrion kenneddi</i> Williamson, 1916	42	LC	LC	SIM	SIM
<i>Argia fumigata</i> Hagen in Selys, 1865	2	LC	LC	SIM	NÃO
<i>Argia oculata</i> Hagen in Selys, 1865	19	LC	LC	SIM	SIM
<i>Enallagma novahispaniae</i> Calvert, 1907	1	LC	LC	NÃO	SIM
<i>Ischnura capreolus</i> Hagen, 1861	7	LC	LC	SIM	SIM

<i>Ischnura ramburii</i> Selys, 1850	1	LC	LC	SIM	NÃO
<i>Telebasis filiola</i> Perty, 1834	2	LC	LC	SIM	SIM
Non-Coenagrionidae					
Calopterygidae					
<i>Hetaerina laesea</i> Hagen in Selys, 1853	27	LC	LC	SIM	SIM
<i>Hetaerina sanguinea</i> Selys, 1853	3	LC	LC	SIM	SIM
<i>Heteragrion salvarum</i> Sjostedt, 1918	2	LC	LC	SIM	NÃO
Protoneuridae					
<i>Epipleonuera metallica</i> Rácenis, 1995	19	LC	LC	SIM	SIM
<i>Neoneura sylvatica</i> Hagen in Selys, 1886	34	LC	LC	SIM	SIM
<i>Phasmoneura exigua</i> Selys, 1886	1	LC	LC	SIM	NÃO

Influência da integridade dos riachos sobre a comunidade de Odonata

Não houve diferença significativa na composição média geral de espécies das subordens de Odonata entre os grupos de riachos com diferentes níveis de antropização (Pseudo $F = 1,151$; $p = 0,301$), como pode ser observado pela proximidade dos centroides dos grupos 'Alterado' (AL) e 'Conservado' (CO) (Figura 3).

Contudo, a análise PERMDISP revelou uma diferença significativa na dispersão da composição de espécies entre os grupos (Pseudo $F = 4,520$; $p = 0,036$). Os riachos conservados (CO) apresentaram menor dispersão, com seus pontos mais agrupados em torno do centroide, sugerindo um padrão mais consistente na composição de espécies. Em contraste, os riachos alterados (AL) demonstraram maior variabilidade na composição de espécies, com seus pontos mais dispersos no espaço de ordenação, indicando uma heterogeneidade maior na composição das comunidades dentro desse grupo. Das 45 espécies registradas, 13 ocorreram exclusivamente em riachos alterados e oito exclusivamente em riachos conservados, enquanto as demais foram comuns aos dois tipos de riachos (Figura 4; Tabela 3).

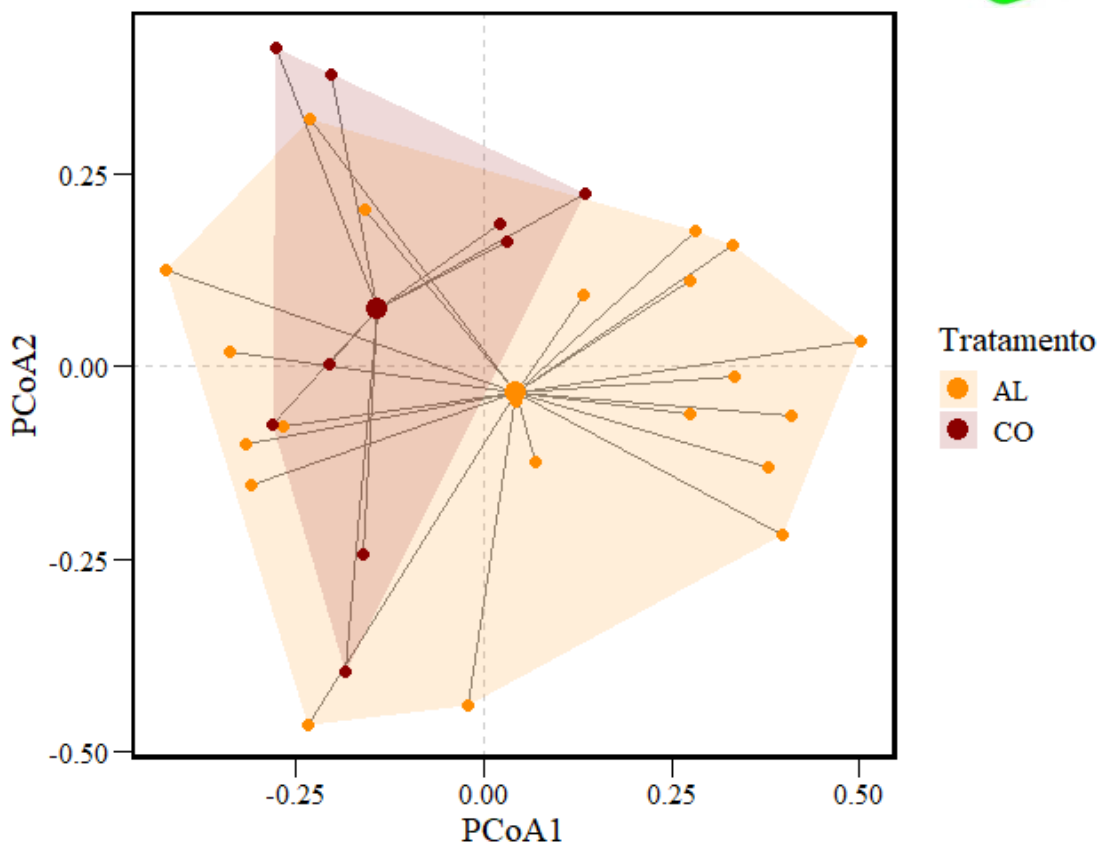


Figura 3: Resultado da Análise de PERMDISP mostrando distribuição da composição de espécies verificadas entre os riachos alterados e conservados, localizados no ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. AL: Alterado; CO: Conservado

Tabela 3: Tabela demonstrando organização de espécies entre os tratamentos alterados e conservados, no ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. 1 – Presente; 0 – Ausente.

Espécie	Al	Co
<i>Coryphaeschna adnexa</i>	0	1
<i>Brechmorhoga sp.01</i>	1	1
<i>Dasythemis mincki</i>	1	0
<i>Diastatops intensa</i>	1	1
<i>Diastatops obscura</i>	1	1
<i>Dythemis sp.01</i>	1	1
<i>Elasmothemis cannaerioides</i>	1	1
<i>Erythemis peruviana</i>	1	0
<i>Erythemis vesiculosa</i>	1	0
<i>Erythrodiplax basalis</i>	1	1
<i>Erythrodiplax berenice</i>	1	1
<i>Erythrodiplax famula</i>	1	1
<i>Erythrodiplax latimaculata</i>	0	1
<i>Erythrodiplax media</i>	1	1



<i>Erythrodiplax unimaculata</i>	1	0
<i>Erythrodiplax umbrata</i>	1	1
<i>Erythrodiplax kimminsi</i>	1	1
<i>Erythrodiplax sp.01</i>	1	1
<i>Erythrodiplax sp.02</i>	1	1
<i>Erythrodiplax sp.06</i>	1	1
<i>Oligoclada abbreviata</i>	0	1
<i>Oliglocada rhea</i>	0	1
<i>Orthemis discolor</i>	1	1
<i>Orthemis ferruginea</i>	1	0
<i>Orthemis cultriformes</i>	1	0
<i>Orthemis biolleyi</i>	0	1
<i>Orthemis sp.03</i>	1	0
<i>Pantala flavescens</i>	1	0
<i>Perithemis icteroptera</i>	1	0
<i>Perithemis lais</i>	1	1
<i>Perithemis mooma</i>	1	1
<i>Perithemis thais</i>	1	1
<i>Uracis imbuta</i>	1	1
<i>Acanthagrion kennedii</i>	1	1
<i>Argia fumigata</i>	1	1
<i>Argia oculata</i>	1	1
<i>Enallagma novahispaniae</i>	0	1
<i>Ischnura capreolus</i>	1	0
<i>Epipleonura metallica</i>	1	1
<i>Phasmoneura exigua</i>	0	1
<i>Telebasis filiola</i>	1	0
<i>Hetaerina laesa</i>	1	1
<i>Hetaerina sanguinea</i>	1	0
<i>Heteragrion salvarum</i>	1	0
<i>Neoneura sylvatica</i>	1	1

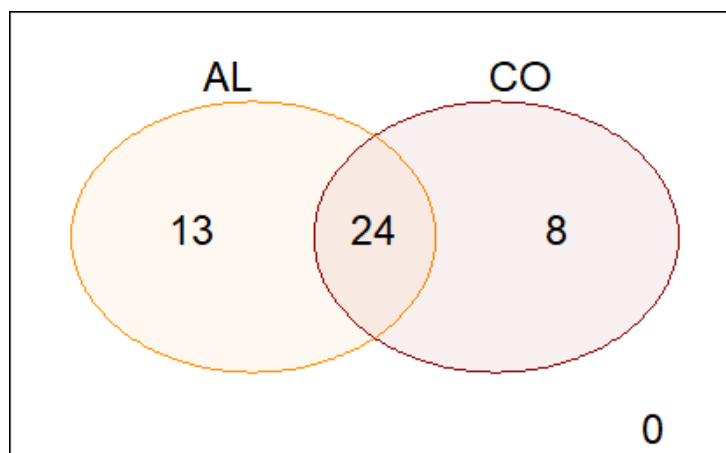


Figura 4: Diagrama de Venn demonstrando organização de espécies entre os tratamentos alterados e conservados, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil.

Para Zygotera, a riqueza não apresentou relação estatisticamente significativa com nenhuma das variáveis ambientais testadas (IIH: $p=0.226$; LR: $p=0.917$; CD: $p=0.312$; TE: $p=0.686$) (Tabela 4). No entanto, a abundância de Zygotera demonstrou padrões significativos. Houve uma relação negativa e altamente significativa com a Largura do Riacho (LR) ($\beta^{\wedge} = -0.152$, $Z=-2.739$, $p=0.006$) (Figura 5), indicando que a abundância de Zygotera tende a diminuir em riachos mais largos. Inversamente, a abundância de Zygotera apresentou uma relação positiva e altamente significativa com a Cobertura do Dossel (CD) ($\beta^{\wedge} = 0.0366$, $Z=4.429$, $p<0.001$) (Figura 6), sugerindo que a abundância aumenta em ambientes com maior cobertura de dossel. O IIH não se mostrou significativo para a abundância de Zygotera ($p=0.303$).

Em contraste, para Anisoptera, a riqueza mostrou uma relação positiva e significativa com a Largura do Riacho (LR) ($\beta^{\wedge} = 0.156$, $Z=2.551$, $p=0.011$) (Figura 7), indicando que riachos mais largos tendem a apresentar maior riqueza de Anisoptera. A abundância de Anisoptera também exibiu uma relação positiva e altamente significativa com a Largura do Riacho (LR) ($\beta^{\wedge} = 0.204$, $Z=5.451$, $p<0.001$) (Figura 8), sugerindo maior abundância em riachos mais amplos. As demais variáveis (IIH, CD, TE) não foram significativas para a riqueza ou abundância de Anisoptera (todos $p>0.05$).

Tabela 4. Resultados dos testes de ANOVA e Modelos Lineares Generalizados (GLMs) avaliando os efeitos do tipo de ambiente e de variáveis ambientais contínuas (IIH = Índice de Integridade do Habitat, LR = Largura do Riacho, CD = Condutividade, TE = Temperatura da Água) sobre a riqueza e abundância de Odonata em riachos do ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. São destacados os preditores estatisticamente significativos ($p < 0,05$). Modelos GLM foram ajustados com distribuição de Poisson. Valores de p significativos foram destacados em negrito.

Modelo	Resposta	Variável preditor a	Estimativa	Valor z / F	p-valor
ANOVA	Riqueza total	IIH		1,73	0,197
ANOVA	Abundância total	IIH		2,99	0,067
GLM Poisson	Riqueza total	LR	0,101	1,568	0,117
GLM Poisson	Abundância total	LR	0.094	2,342	0.019

GLM Poisson	Abundância total	CD	0.008	2,785	0.005
GLM Poisson	Abundância total	TE	-0.07	-2,524	0.012
GLM Zygotera	Abundância	CD	0.016	4,429	<0.001
GLM Zygotera	Abundância	LR	-0.152	-2,739	0.006
GLM Anisoptera	Abundância	LR	0.204	5,451	<0.001
GLM Anisoptera	Riqueza	LR	0.156	2,551	0.011

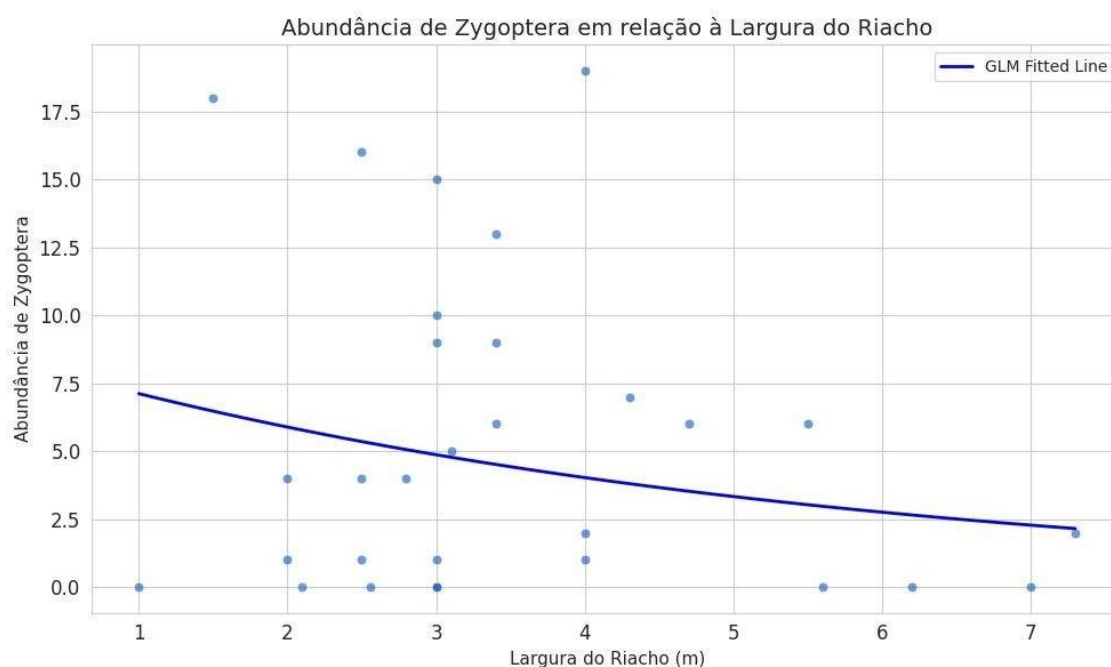


Figura 5: Relação da abundância de Zygotera (número total de indivíduos) com a Largura do Riacho (m). Localização ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. A linha azul representa a curva de ajuste do Modelo Linear Generalizado (GLM) Poisson, indicando que a abundância de Zygotera tende a diminuir em riachos mais largos ($p = 0.003$).

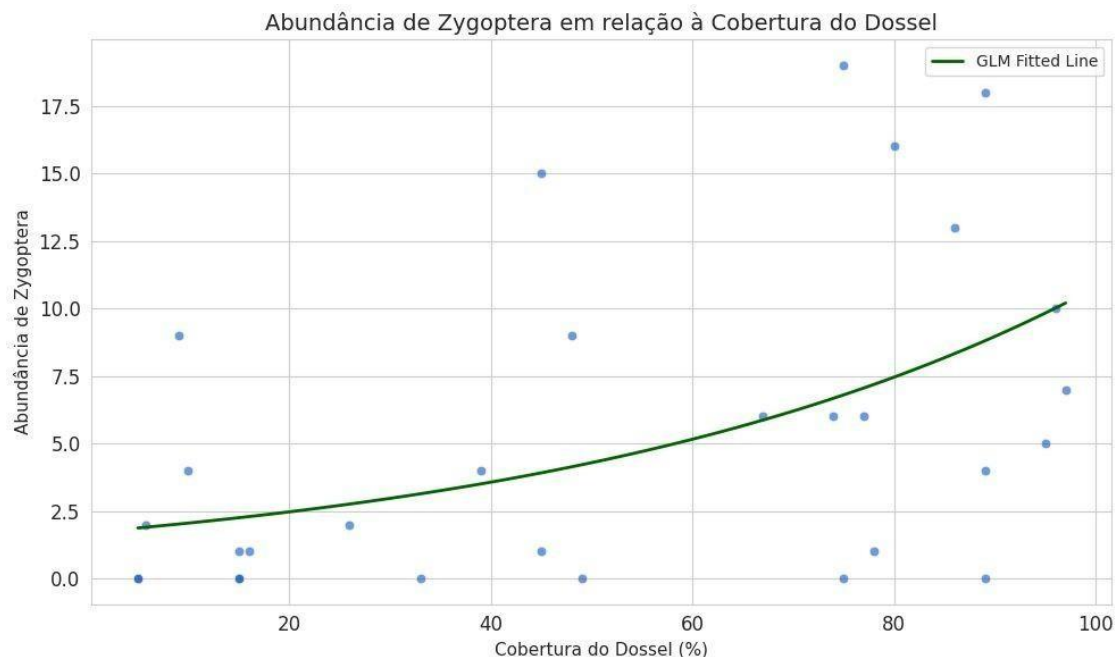


Figura 6: Relação da abundância de Zygoptera (número total de indivíduos) com a Cobertura do Dossel (%). Riachos localizados no ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. A linha verde representa a curva de ajuste do Modelo Linear Generalizado (GLM) Poisson, mostrando que a abundância de Zygoptera aumenta em ambientes com maior cobertura do dossel ($p < 0.001$).

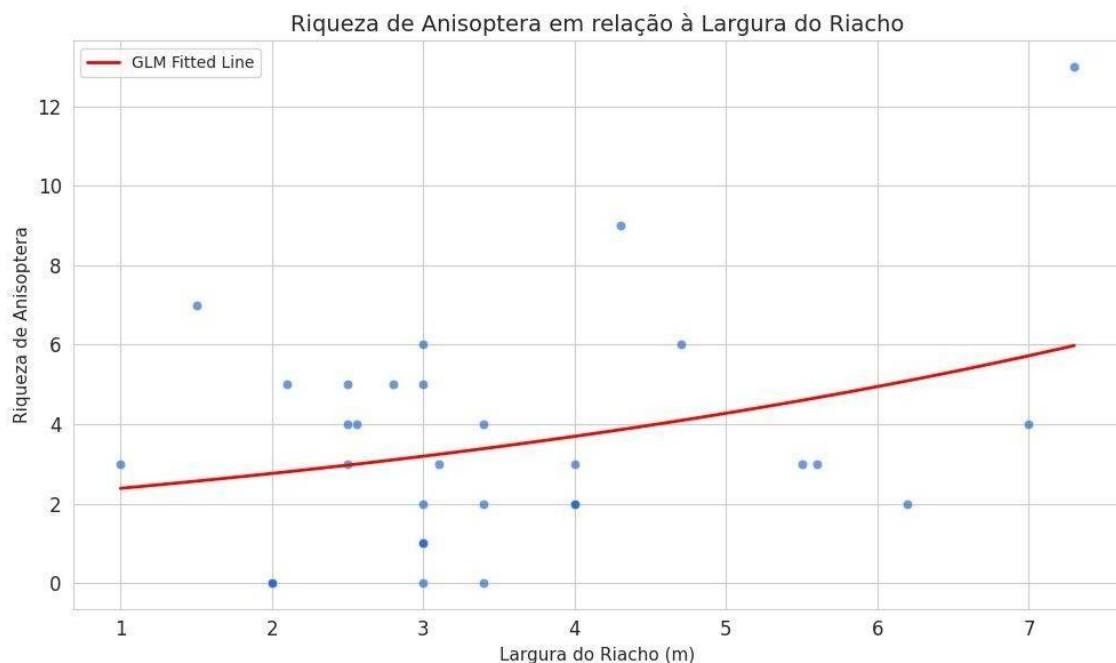


Figura 7: Relação da riqueza de Anisoptera (número de espécies) com a Largura do Riacho (m). Localização ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins,

Brasil. A linha vermelha representa a curva de ajuste do Modelo Linear Generalizado (GLM) Poisson, indicando que a riqueza de Anisoptera tende a ser maior em riachos mais largos ($p = 0.015$).

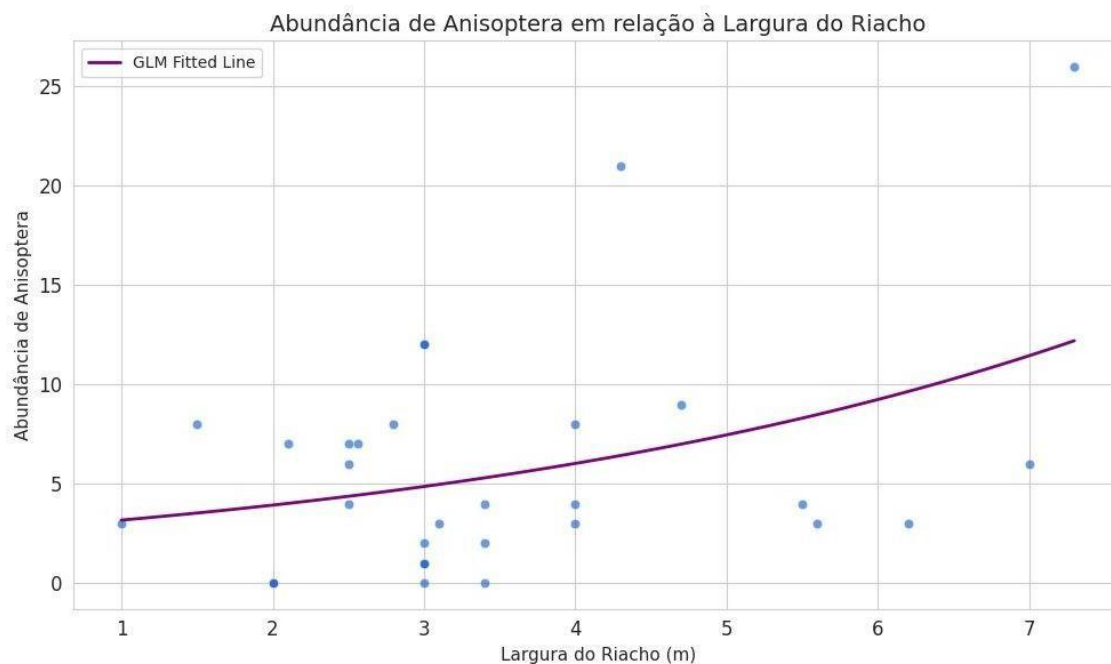


Figura 8: Relação da abundância de Anisoptera (número total de indivíduos) com a Largura do Riacho (m). Localização ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. A linha roxa representa a curva de ajuste do Modelo Linear Generalizado (GLM) Poisson, mostrando que a abundância de Anisoptera é maior em riachos mais amplos ($p < 0.001$).

Espécies de Odonata indicadoras de qualidade de habitat

A análise de Taxa Indicadores por Limiar (TITAN) foi empregada para identificar espécies de Odonata indicadoras de condições de habitat utilizando a cobertura do dossel como gradiente ambiental. Foram incluídas na análise 12 espécies com frequência de ocorrência mínima de 5. A análise buscou identificar espécies indicadoras estatisticamente significativas, aplicando critérios de pureza e confiabilidade (pureza e reliability ≥ 0.95 ; $p \leq 0.05$).

Com base nesses critérios, a análise identificou apenas uma espécie indicadora estatisticamente significativa: *Neoneura sylvatica* (Zygoptera). Esta espécie foi classificada como uma indicadora positiva (Z+), apresentando um limiar de resposta em

54.5% de cobertura de dossel ($z_{env.cp} = 0.535$; $z\text{-score} = 4.96$) (Tabela 5). Seus valores de pureza (1.00) e confiabilidade (0.98), ambos com $p \leq 0.05$, confirmam sua forte associação com ambientes de maior integridade. Este resultado indica que *N. sylvatica* responde positivamente a ambientes com alta cobertura de dossel, mais frequentemente encontrados em riachos conservados (Figura 9).

Ademais, é interessante notar que, mesmo que os critérios de pureza e confiabilidade fossem relaxados para 0.70, nenhuma espécie foi identificada como indicadora negativa (Z-) pura e confiável para o gradiente de cobertura do dossel ($f_{sumz-} = NA$). Isso aponta para a ausência de espécies que atuem como indicadoras claras de ambientes alterados (baixa cobertura de dossel) dentro dos parâmetros da análise TITAN para este conjunto de dados (Figura 10).

Tabela 5. Pontos de mudança comunitários. $sumz-$ e $sumz+$ são os pontos de mudança considerando todas as espécies e f_{sumz-} e f_{sumz+} são os pontos de mudança considerando as espécies com pureza e confiabilidade maiores que 95%. Ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil.

	Cp	0.05	0.1	0.5	0.9	0.95
sumz-	0.525	0.425	0.430	0.525	0.535	0.535
sumz+	0.655	0.555	0.560	0.620	0.657	0.710
fsumz-	NA	NA	NA	NA	NA	NA
fsumz+	0.545	0.530	0.535	0.545	0.556	0.565

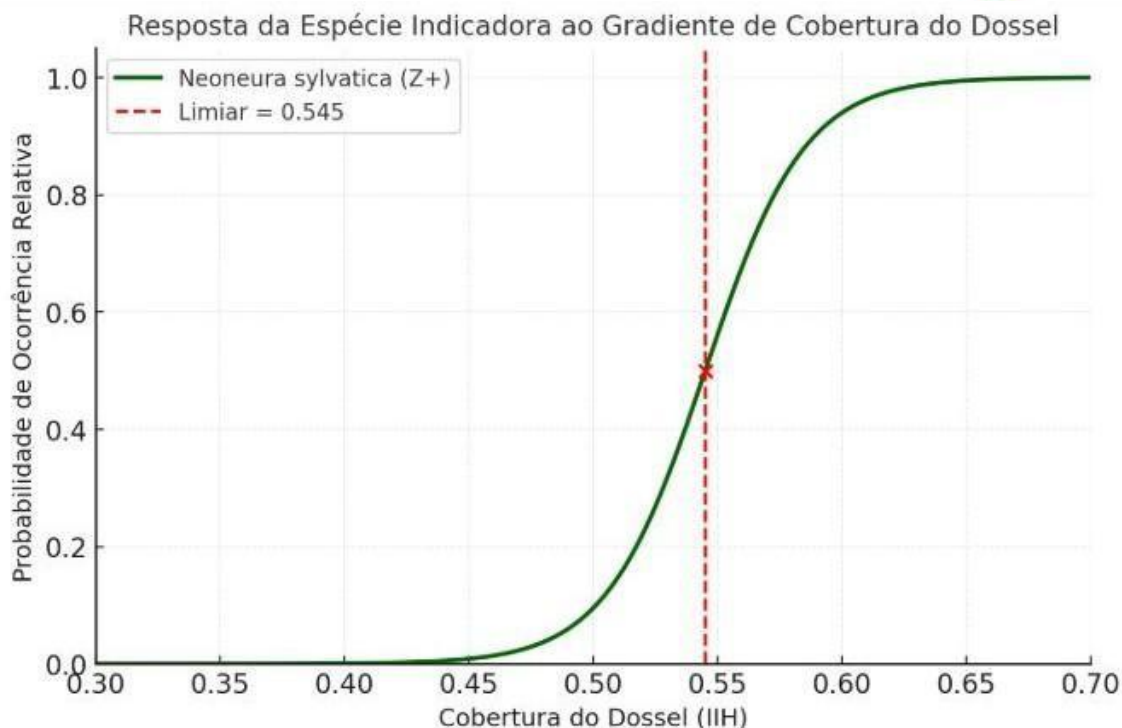


Figura 10: Resultado da análise TITAN mostrando a espécie *N. sylvatica* como indicadora ao longo do gradiente de IIH. Ecótono Amazônia-Cerrado, bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, região sudoeste do estado do Maranhão e norte do estado do Tocantins, Brasil. O X representa o z-threshold da espécie com resposta significativa.

DISCUSSÃO

Esta dissertação buscou avaliar como a integridade do habitat e a cobertura de dossel, influenciam a composição, riqueza e abundância das comunidades de Odonata em riachos localizados no ecótono Amazônia-Cerrado. Os resultados obtidos fornecem percepções importantes sobre os padrões de distribuição e as respostas ecológicas de Odonata a diferentes condições ambientais, contribuindo para a compreensão da dinâmica de comunidades aquáticas em regiões de transição.

Influência da integridade dos riachos sobre a comunidade de Odonata

A primeira hipótese postulava que a composição e a variabilidade da comunidade de Odonata difeririam entre riachos ao longo do gradiente ambiental presente no ecótono Amazônia-Cerrado, com a expectativa de que ambientes conservados apresentassem composições mais homogêneas e riachos alterados, maior

variabilidade interna, foi parcialmente corroborada. Os resultados da PERMANOVA, sugerem que, embora a pressão antrópica esteja presente, a média da composição de espécies não difere drasticamente entre as categorias de alteração estabelecida. A ausência de uma diferença na composição média pode ser atribuída à escala de análise ou à capacidade de dispersão dos Odonata (Valente-Neto *et al.*, 2016). É possível que, em ecótonos sob pressão antrópica, as comunidades estejam em um estágio de transição onde a composição média ainda não divergiu significativamente (Monteiro-Júnior *et al.*, 2014). Além disso, a alta capacidade de dispersão de Odonata, especialmente Anisoptera (Valente-Neto *et al.*, 2016), pode levar a uma homogeneização da composição em escalas maiores, mascarando as diferenças em nível local (Leibold *et al.*, 2004). A teoria das metacomunidades, particularmente no seu paradigma de 'mass effect', pode explicar essa ausência de diferença na composição média, onde a dispersão de indivíduos de populações viáveis em habitats mais favoráveis pode manter populações em habitats subótimos, impactando a detecção de diferenças claras na composição média entre ambientes (Leibold *et al.*, 2004).

A análise da PERMIDISP revelou um padrão ecológico mais significativo: os riachos conservados apresentaram menor dispersão da composição de espécies, sugerindo maior consistência e homogeneidade em sua estrutura comunitária, enquanto os riachos alterados demonstraram maior variabilidade. Ecologicamente, essa maior variabilidade em ambientes alterados é um achado crucial, pois reflete uma resposta às perturbações antrópicas (Anderson, 2006; Martins *et al.*, 2022). Ambientes degradados são frequentemente caracterizados pela perda de espécies especializadas e pela colonização por espécies generalistas e oportunistas (Sganzerla *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021; Veras *et al.*, 2024), o que pode levar a comunidades mais imprevisíveis e heterogêneas (Pereira De Gouvêa, 2023). Em contraste, riachos mais conservados mantêm filtros ambientais mais seletivos (como microclimas estáveis e estrutura de habitat complexa), que favorecem um conjunto mais coeso e previsível de espécies, geralmente especialistas (Sganzerla *et al.*, 2021; Veras *et al.*, 2024). A degradação da vegetação ciliar e a consequente homogeneização do habitat, como a perda de substrato grosseiro e o aumento de sedimentos finos, podem reduzir o número de microhabitats disponíveis, impactando a estrutura da comunidade (Ávila *et al.*, 2020; Callisto *et al.*, 2001).

A tabela 03 complementa essa observação, mostrando que, das 45 espécies registradas, 13 foram exclusivas de riachos alterados e oito de riachos conservados, com 24 espécies comuns em ambos. A presença de espécies exclusivas em ambos os ambientes, apesar da sobreposição, reforça a ideia de que diferentes condições ambientais favorecem distintos grupos de Odonata (Sganzerla *et al.*, 2021). As espécies exclusivas de ambientes conservados podem ser especialistas de riachos sombreados, sensíveis à degradação da vegetação ciliar, enquanto as de ambientes alterados podem ser mais tolerantes a condições estressantes ou generalistas, capazes de explorar recursos em ambientes degradados (Sganzerla *et al.*, 2021). As espécies comuns a ambos os ambientes podem possuir maior plasticidade ecológica, permitindo-lhes persistir em uma gama mais ampla de condições (De Oliveira-Junior *et al.*, 2017).

A segunda hipótese previa que a riqueza e abundância de Zygoptera aumentariam com a integridade do habitat e a cobertura de dossel, enquanto Anisoptera seriam mais abundantes em riachos alterados e abertos, típicos das bordas ecotonais degradadas, foi parcialmente corroborada.

Para Zygoptera, a riqueza não apresentou relação significativa com as variáveis ambientais testadas. No entanto, a abundância de Zygoptera demonstrou uma relação negativa e altamente significativa com a Largura do Riacho ($p=0,006$) e uma relação positiva e altamente significativa com a Cobertura de Dossel ($p<0,001$). Esses achados corroboram parcialmente a segunda hipótese, reafirmando a forte associação de Zygoptera a ambientes sombreados e com vegetação ciliar densa (alta Cobertura do Dossel) (Corbet, 1999; May, 1991). Zygoptera, sendo de menor porte e mais delicados (Corbet, 1999), dependem de microclimas estáveis e sombreados para evitar a desidratação e o superaquecimento, especialmente em ambientes tropicais (De Marco Jr *et al.*, 2005; De Oliveira-Junior *et al.*, 2017). A relação negativa com a Largura do Riacho pode estar ligada à menor cobertura do dossel em riachos mais amplos, o que leva a um aumento da exposição solar e instabilidade térmica, condições desfavoráveis para esta subordem mais sensível (Calvão *et al.*, 2018). A falta de significância do III para Zygoptera, apesar da influência na abundância, pode ser um ponto de reflexão: talvez a Cobertura do Dossel seja um filtro ambiental mais direto e crítico para a abundância de Zygoptera do que o índice geral de integridade de habitat, que abrange múltiplos aspectos do habitat (Rocha *et al.*, 2023). Além disso, a riqueza de Zygoptera,

embora não significativamente correlacionada, pode estar mais ligada a outros fatores de micro-hábitat, como a disponibilidade de substrato para oviposição ou refúgios contra predadores (Rocha *et al.*, 2023).

Em contraste, para Anisoptera, tanto a riqueza quanto a abundância apresentaram uma relação positiva e significativa com a Largura do Riacho (riqueza: $p=0,01$; abundância: $p<0,001$). As demais variáveis não foram significativas para a riqueza ou abundância de Anisoptera. Estes achados corroboram a segunda parte da Hipótese 2, indicando que Anisoptera são de fato mais abundantes e ricas em ambientes mais abertos, tipificados por riachos mais largos (De Oliveira Junior, 2019). Isso é consistente com a maior plasticidade ecológica e helioterminia atribuída a esta subordem (May, 1991; Corbet & May, 2008), que lhes permite explorar e proliferar em ambientes mais expostos e termicamente instáveis, característicos das bordas ecotonais degradadas. Riachos mais largos, que geralmente têm menor sombreamento e maior exposição solar, favorecem a termorregulação de Anisoptera, que produzem e armazenam calor em seus corpos (De Marco Jr *et al.*, 2005). A falta de relação com a Cobertura do Dossel e a Temperatura da Água, apesar de relacionada à exposição solar, pode indicar que a Largura do Riacho é uma métrica mais abrangente para a disponibilidade de 'espaço aberto' para essas espécies (Rocha *et al.*, 2023). A capacidade de dispersão superior de Anisoptera também contribui para sua ocorrência em uma variedade de habitats, incluindo aqueles com algum nível de alteração (Sganzerla *et al.*, 2021).

Espécies de Odonata indicadoras de qualidade de habitat

A terceira hipótese propunha a existência de espécies indicadoras fortemente associadas a determinados limiares ecológicos ao longo do gradiente de cobertura vegetal, com Zygoptera mais associados a ambientes sombreados e Anisoptera a ambientes abertos, foi parcialmente corroborada.

A análise TITAN, utilizando a cobertura de dossel como gradiente ambiental, identificou apenas uma espécie indicadora estatisticamente significativa: *Neoneura sylvatica* (Zygoptera). Este resultado corrobora parcialmente a hipótese 3 no que tange à identificação de espécies de Zygoptera como indicadoras de ambientes sombreados (Rocha *et al.*, 2023). A presença de *Neoneura sylvatica* acima de um limiar de 54.5% de

cobertura do dossel sugere que esta espécie pode ser um bioindicador valioso para a integridade da vegetação ciliar em ecótonos Amazônia-Cerrado, sinalizando condições microclimáticas e de habitat favoráveis para espécies mais sensíveis (Rocha *et al.*, 2023). Embora neste estudo *N. sylvatica* tenha sido identificada pela análise TITAN como espécie indicadora de ambientes sombreados com elevada cobertura de dossel, Veras *et al.* (2024) classificaram-na como generalista no Cerrado Maranhense. Essa diferença pode refletir a plasticidade ecológica da espécie e a influência do contexto ambiental e metodológico sobre a detecção de padrões. Assim, *N. sylvatica* pode atuar localmente como bioindicadora em ecótonos sob forte pressão antrópica, mas não se enquadrar consistentemente como especialista em diferentes paisagens do Cerrado, destacando a importância de integrar múltiplas abordagens analíticas e escalas espaciais na definição de espécies indicadoras.

Zygotera, em geral, são mais sensíveis a perturbações ambientais, possuindo nichos mais estreitos e menor capacidade de dispersão em comparação com Anisoptera (Sganzerla *et al.*, 2021; Corbet, 1999; Monteiro-Júnior *et al.*, 2015). Essa dependência de condições específicas as torna excelentes indicadoras de limiares ecológicos, onde pequenas mudanças na cobertura vegetal podem gerar alterações abruptas na estrutura das comunidades (Rocha *et al.*, 2023).

É importante notar que, mesmo que com os critérios de pureza e confiabilidade relaxados para 0.70, nenhuma espécie foi identificada como indicadora negativa (Z^-) pura e confiável para o gradiente de cobertura do dossel ($f_{sumz^-} = NA$). Essa ausência sugere que, nos riachos estudados, não há espécies que respondam de forma abrupta e consistente à baixa cobertura de dossel (Rocha *et al.*, 2023; Sganzerla *et al.*, 2021). Tal padrão pode estar diretamente associado às características do contexto regional do MATOPIBA, onde os múltiplos usos do solo (agricultura intensiva, pastagens e silvicultura) impõem pressões simultâneas e heterogêneas sobre os ambientes aquáticos. Nesse cenário, as comunidades de Odonata podem ser dominadas por espécies generalistas e tolerantes, que ocupam amplamente o gradiente de alteração sem apresentar limiares nítidos. Assim, a ausência de espécies indicadoras negativas reflete não apenas a plasticidade ecológica de certos grupos, mas também a própria natureza fragmentada e multifacetada da degradação no MATOPIBA, que tende a diluir respostas específicas em favor de padrões mais graduais e difusos.

Os resultados desta dissertação reforçam a importância da cobertura do dossel e da largura do riacho como filtros ambientais cruciais que moldam a composição e abundância das comunidades de Odonata em ecótonos Amazônia-Cerrado (De Oliveira Junior *et al.*, 2017; Rocha *et al.*, 2023). A diferenciação na variabilidade da comunidade (PERMDISP) e as respostas distintas de Zygoptera e Anisoptera aos gradientes ambientais fornecem um forte argumento para a gestão e conservação da vegetação ciliar, especialmente em regiões sob intensa pressão antrópica (Calvão *et al.*, 2018). Contudo, enquanto neste estudo *Neoneura sylvatica* foi identificada como indicadora de alta cobertura de dossel, Veras *et al.* (2024) a classificaram como espécie generalista, sugerindo que sua resposta pode variar conforme o contexto ambiental e metodológico (Rocha *et al.*, 2023). Essa comparação ressalta a necessidade de integrar múltiplas abordagens e regiões para compreender melhor a plasticidade ecológica das espécies e seu potencial como bioindicadores em ecótonos sob forte pressão antrópica (Miguel *et al.*, 2017).

Para pesquisas futuras, sugere-se a aplicação de metodologias que permitam uma avaliação mais detalhada do gradiente de integridade, talvez com o uso de índices de perturbação mais refinados ou uma categorização de impactos mais granular (Silva *et al.*, 2021), o que pode revelar padrões mais complexos na composição de Odonata. A integração de dados de fases larvais, através de amostragens que capturem a diversidade de microhabitats, pode complementar a compreensão das respostas ecológicas, uma vez que as larvas são mais diretamente afetadas pelos filtros abióticos locais e podem apresentar traços funcionais distintos em resposta a estressores (Silva *et al.*, 2021). Estudos de longo prazo e análises sazonais podem fornecer uma visão mais completa da dinâmica das comunidades de Odonata no ecótono. Além disso, a investigação de traços funcionais mais específicos para as espécies de Anisoptera, que não se comportaram como indicadoras negativas de limiar, pode ajudar a compreender a resiliência ou adaptação desses grupos em ambientes alterados (Rocha *et al.*, 2023). Finalmente, o uso de abordagens de traços funcionais em conjunto com a análise da qualidade da água (incluindo parâmetros físico-químicos e contaminantes) pode aprimorar a capacidade de biomonitoramento em ecótonos (Rocha *et al.*, 2023).

CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que a estrutura da comunidade de Odonata em riachos da região de ecótono Amazônia-Cerrado é fortemente influenciada pela integridade da vegetação ciliar. Ambientes com maior cobertura vegetal e menor grau de impacto apresentaram maior riqueza e diversidade, especialmente da subordem Zygoptera, confirmando sua sensibilidade à degradação ambiental. A análise multivariada evidenciou diferenças significativas na composição das assembleias entre os diferentes níveis de conservação, e os modelos GLM reforçaram a associação positiva entre a riqueza de Zygoptera e o Índice de Integridade da Vegetação ciliar (IIH). A Análise TITAN identificou limiares ecológicos importantes, com espécies indicadoras associadas tanto a ambientes conservados quanto impactados, permitindo identificar pontos críticos de transição ao longo do gradiente ambiental.

Os resultados obtidos contribuem para o avanço do conhecimento sobre a ecologia de comunidades aquáticas em riachos de transição entre biomas, demonstrando o valor dos Odonata como bioindicadores em programas de monitoramento. A abordagem integrativa utilizada neste trabalho (PCA, PERMANOVA, GLM e TITAN) reforça a importância de múltiplas ferramentas analíticas para compreender padrões complexos de biodiversidade. Por fim, ressalta-se a necessidade urgente de ações voltadas à conservação da vegetação ciliar e à manutenção dos ecossistemas de ecótonos, especialmente frente à crescente pressão antrópica na região. Estratégias de manejo que considerem os limiares ecológicos identificados podem ser decisivas para preservar a integridade ecológica desses ambientes e a continuidade dos serviços ecossistêmicos que fornecem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, v. 26, n. 1, p. 32–46, 2001.

ANDERSON, M. J. Distance-based tests for homogeneity of multivariate dispersions. *Biometrics*, v. 62, n. 1, p. 245–253, 2006.

ÁVILA, Walter Francisco de et al. Distribution and composition of dragonfly and damselfly species (Odonata) of the upper Rio das Velhas, Ouro Preto, Minas Gerais State, Brazil. **Papéis avulsos de Zoologia**, v. 60, p. e20206065, 2020.

BARBOSA-SANTOS, Francisco Maciel et al. Effects of a Habitat Integrity Gradient on the Diversity of Odonates in the Legal Amazonia Zone of the Brazilian State of Maranhão. *Neotropical Entomology*, v. 54, n. 1, p. 24, 2025.

BEGON, Michael; TOWNSEND, Colin R. *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas*. Artmed editora, 2023.

BORGES, Lucas Rodrigues et al. Habitat integrity drives Odonata diversity in Eucalyptus-dominated landscape. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 1, p. 12, 2021.

BRASIL, L. S. et al. The habitat integrity index and aquatic insect communities in tropical streams: A meta-analysis. *Ecological Indicators*, v. 116b, p. 106495, 2020.

BRASIL, Leandro S. et al. Spatial, biogeographic and environmental predictors of diversity in Amazonian Zygoptera. **Insect conservation and diversity**, v. 11, n. 2, p. 174-184, 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Protocolo de Avaliação Rápida de Habitats de Riachos Tropicais*. Brasília: MMA, 2022.

Brito JS et al. 2023. The importance of national parks in maintaining the habitat integrity

CALLISTO, M. et al. Diversity of benthic macroinvertebrates and habitat integrity in an urban stream in southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 61, n. 2, p. 229–238, 2001.

CALVÃO, Lenize Batista et al. Land use modifies Odonata diversity in streams of the Brazilian Cerrado. **Journal of insect conservation**, v. 22, n. 5, p. 675-685, 2018.

CORBET, P. S. *Dragonflies: behavior and ecology of Odonata*. Ithaca: Cornell University Press, 1999.

CORBET, P. S.; MAY, M. L. Fliers and perchers among Odonata: dichotomy or multidimensional continuum? *Aqua*, v. 7, p. 3–22, 2008.

DA CUNHA, Rita de Cássia; FULAN, João Ânderson; DOS SANTOS, Lucélia Rodrigues. Influência das características físicas e químicas da água na distribuição espacial de larvas de Odonata associadas à *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms no Rio Uruapiara, afluente do Rio Madeira/AM. *Estudos de Biologia*, v. 36, 2014.

DE CARVALHO, Catarina da Camara Archer; DE MATOS, Ferreira. Os Habitats Naturais e Semi-Naturais no Desenho dos Espaços Abertos Urbanos-Uma Abordagem aos Desafios da Cidade Contemporânea. 2024. Tese de Doutorado. Universidade de Evora (Portugal).

DE MARCO JR, Paulo; LATINI, Anderson O.; RESENDE, Daniela C. Thermoregulatory constraints on behavior: patterns in a Neotropical dragonfly assemblage. *Neotropical Entomology*, v. 34, p. 155-162, 2005.

DE MARCO, P.; VIANNA, D. M. Distribuição de Odonata (Insecta) em riachos da região central do Brasil: relação com fatores espaciais e ambientais. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 22, n. 3, p. 605–613, 2005.

DE OLIVEIRA COSTA, Zé Pedro. Uma história das florestas brasileiras. Autêntica Editora, 2022.

DE OLIVEIRA-JUNIOR, José Max Barbosa et al. Effects of human disturbance and riparian conditions on Odonata (Insecta) assemblages in eastern Amazon basin streams. *Limnologia*, v. 66, p. 31-39, 2017.

DEBASTIANI, Vanderlei Julio. Estrutura filogenética de comunidades de plantas lenhosas em ecótonos vegetacionais. 2012.

Extensions in Ecology With R. Springer, New York, NY, USA. DOI:10.1007/978-0-387-87458-6.)

FERNANDES, Ana Paula Capelari. Diversidade de espécies zooplancônicas e a heterogeneidade de recursos em diferentes ambientes de uma planície Neotropical. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá.

Fierer N, Jackson RB (2006). "The diversity and biogeography of soil bacterial communities." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *103*(3), 626-631.

GARCIA, Junior Ruiz. O Brasil rural: interpretações da Economia Ecológica. O BRASIL RURAL, p. 222, 2024.

Garrison, R. W. (2010). Damselfly genera of the new world an illustrated and annotated key to the Zygoptera. Johns Hopkins University Press.

Garrison, R. W., Von Ellenrieder, N., & Louton, J. A. (2006). Dragonfly Genera of the New World: An Illustrated and Annotated Key to the Anisoptera. Johns Hopkins University Press.

GARRISON, R. W.; VON ELLENRIEDER, N. *Dragonfly Genera of the New World: An Illustrated and Annotated Key to the Anisoptera*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2015.

GERLACH, J. et al. The impact of climate change on terrestrial invertebrates. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, v. 8, n. 015, p. 1–13, 2013.

GRINNELL, Joseph. The niche-relationships of the California Thrasher. *The Auk*, v. 34, n. 4, p. 427-433, 1917.

Hartig F (2024). DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level/Mixed) Regression Models. R package version 0.4.7, <https://github.com/florianhartig/dharma>.

HASSALL, C. Environmental filtering of functional diversity along a gradient of human impact in dragonfly communities. *Ecological Entomology*, v. 40, n. 6, p. 627–636, 2015.

HENDRY, A. P.; TAYLOR, E. B. How much of the variation in adaptive divergence can be explained by gene flow? An evaluation using lake–stream stickleback pairs. *Evolution*, v. 58, n. 10, p. 2319–2331, 2004.

HUTCHINSON, Harry William. Village and plantation life in Northeastern Brazil. 1957.

IUCN. *The IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2023-1. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>. Acesso em: 5 mar. 2024.

JACKSON, Donald A. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. *Ecology*, v. 74, n. 8, p. 2204-2214, 1993.

JESUS, Francisdalva Rosa de. A expansão do agronegócio e o desenvolvimento socioeconômico de municípios da nova fronteira agrícola (Matopiba): uma análise de 2000 e 2010. 2023.

JUEN, Leandro; DE MARCO JR, Paulo. Dragonfly endemism in the Brazilian Amazon: competing hypotheses for biogeographical patterns. *Biodiversity and Conservation*, v. 21, n. 13, p. 3507-3521, 2012.

JUEN, Leandro; DE MARCO JR, Paulo. Odonate biodiversity in terra-firme forest streamlets in Central Amazonia: on the relative effects of neutral and niche drivers at small geographical extents. *Insect Conservation and Diversity*, v. 4, n. 4, p. 265-274, 2011.

KARK, Salit; VAN RENSBURG, Berndt J. Ecotones: marginal or central areas of transition?. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, v. 52, n. 1, p. 29-53, 2006.

KING, Ryan S.; BAKER, Matthew E. Considerations for analyzing ecological community thresholds in response to anthropogenic environmental gradients. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 29, n. 3, p. 998-1008, 2010.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. *Numerical Ecology*. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2012.

LEIBOLD, Mathew A. et al. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. **Ecology letters**, v. 7, n. 7, p. 601-613, 2004.

LENCIONI, F. A. A. *Damselflies of Brazil: an illustrated identification guide*. Vol. 2. São Paulo: All Print Editora, 2017.

LENCIONI, F. A. A. Odonata do Brasil: diversidade e conservação. *Neotropical Entomology*, v. 35, n. 6, p. 831-845, 2006.

LIMA, Elaine Carvalho de et al. Matopiba: desenvolvimento rural em uma nova fronteira agrícola. 2020.

LIU, J. et al. Integrating biodiversity conservation and ecosystem services in ecosystem-based management. *Ecology and Society*, v. 23, n. 3, p. 23, 2018.

MACHADO DE ALBUQUERQUE, Amanda Katly et al. Zygotera/Anisoptera (Insecta: Odonata) ratio as a tool to assess anthropogenic changes in Brazilian Cerrado streams. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 196, n. 8, p. 737, 2024.

MAGALHÃES, Wanessa Costa. Correlações entre os parâmetros físico-químicos de um corpo hídrico superficial localizado no semiárido cearense: a estatística multivariada como ferramenta. 2023.

MARTINS, FERNANDO ROBERTO. Organização de uma comunidade florestal de arbustos e árvores: Guias para um estudo prático. Departamento de Botânica, IB/UNICAMP, 2002.

MARTINS, Marlúcia Bonifácio; DE OLIVEIRA, Tadeu Gomes (Ed.). *Amazônia maranhense: diversidade e conservação*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2011.

MARTINS, R. T. et al. Effects of deforestation on Amazonian stream ecosystems: a multiscale approach. *Ecological Applications*, v. 32, n. 1, e02496, 2022.

MAY, M. L. Thermoregulation and adaptation to temperature in dragonflies (Odonata: Anisoptera). *Ecological Monographs*, v. 61, p. 1-32, 1991.

MELLO, Ricardo Silva Pereira. Detecção de padrões de coexistência arbórea e processos ecológicos em zona de contato de florestas ombrófilas montanas no sul do Brasil. 2006.

MIGUEL, Thiago Barros et al. Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. **Ecological Indicators**, v. 81, p. 555-566, 2017.

MIGUEL, Thiago Barros et al. Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. **Ecological Indicators**, v. 81, p. 555-566, 2017.

MONTEIRO-JÚNIOR, C. S. et al. Effects of habitat integrity on Odonata diversity in Amazonian streams. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 27, n. 2, p. 180–190, 2015.

MONTEIRO-JÚNIOR, Cláudio da Silva; JUEN, Leandro; HAMADA, Neusa. Effects of urbanization on stream habitats and associated adult dragonfly and damselfly communities in central Brazilian Amazonia. **Landscape and Urban Planning**, v. 127, p. 28-40, 2014.

NAIMAN, R. J. et al. *Riparia: ecology, conservation, and management of streamside communities*. San Diego: Academic Press, 2005.

NESSIMIAN, J. L. et al. Substrate associations of stream macroinvertebrates in southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 68, n. 3, p. 537–545, 2008.

Oksanen, J., Blanchet, G.F., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., Szoecs, E. & Wagner, H. 2020. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-7. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

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. <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00672-x>.

OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B.; JUEN, L. The Zygoptera/Anisoptera ratio (Insecta: Odonata): a new tool for habitat alterations assessment in Amazonian streams. **Neotropical entomology**, v. 48, n. 4, p. 552-560, 2019.

OLIVEIRA-JUNIOR, José Max Barbosa et al. A bibliometric analysis of the global research in Odonata: Trends and gaps. **Diversity**, v. 14, n. 12, p. 1074, 2022.

OLIVEIRA-JUNIOR, José Max Barbosa et al. The response of neotropical dragonflies (Insecta: Odonata) to local and regional abiotic factors in small streams of the Amazon. **Insects**, v. 10, n. 12, p. 446, 2019.

ORTEGA, Jean Carlo Gonçalves. Efeito da heterogeneidade ambiental sobre a estrutura de comunidades. 2017.

PEÑA, J. L. et al. Use of aquatic insects as bioindicators for water quality assessment in tropical streams. *Ecological Indicators*, v. 102, p. 110–117, 2019.

PEREIRA DE GOUVÊA, Taiguara et al. Odonata community in transition areas between Cerrado and Atlantic Forest biomes in south-central Minas Gerais, Brazil. **Acta Scientiarum: Biological Sciences**, v. 45, 2023.

PEREIRA, Brites Fraga. A vegetação ripária natural e sua importância para a manutenção e conservação da biodiversidade dos peixes da Bacia do Rio Piratini, RS, Brasil. 2013.

PIRES, Mateus et al. Assessing the spatial knowledge gaps of Odonata diversity and conservation in the South American Pampa. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 34, n. 5, p. e4161, 2024.

PIRES, Mateus Marques et al. Influence of different riparian vegetation widths and substrate types on the communities of larval Odonata (Insecta) in southern Brazilian streams. **Acta Linnologica Brasiliensia**, v. 32, p. e301, 2020.

POFF, N. L. Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, v. 16, n. 2, p. 391–409, 1997.

ROCHA, Tainã Silva et al. Effect of environmental integrity on the functional composition of the Odonata (Insecta) community in streams in the Eastern Amazon. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 11, p. 1166057, 2023.

SANTOS, Caio Henrique de Assis et al. Influência da integridade do habitat e das variáveis ambientais sobre a comunidade de Odonata em igarapés florestados em Roraima. 2019.

SANTOS, Jônata Andrade dos; CAMARNEIRO, João Paulo Waller; LIMA FILHO, Alexandre Bueno de. Biodiversidade: importância, conservação e desafios. 2024.

SANTOS, Rafael Fernandes dos et al. A silvicultura de eucalipto no norte do Brasil e no estado do Maranhão. 2024.

SGANZERLA, Cléber et al. Effects of urbanization on the fauna of Odonata on the coast of southern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 21, p. e20201122, 2021.

SILVA, Fábio Henrique da et al. Ephemeroptera (Insecta) em riachos de uma paisagem cárstica do cerrado: diversidade, escala e relações com áreas florestais. 2022.

SILVA, T. S. F. et al. Alterações na composição de Odonata em resposta ao desmatamento na Amazônia oriental. *Biological Conservation*, v. 257, p. 109143, 2021.

SOARES, Cleide Cruz. Avaliação da qualidade da água do reservatório de Sobradinho através da análise de componentes principais. 2022.

SOARES, T. N. et al. Dinâmica da vegetação no sudoeste do Maranhão. *Revista de Geografia*, v. 27, n. 1, p. 55–67, 2010.

SOUTHWOOD, Thomas RE. Habitat, the templet for ecological strategies? *Journal of animal ecology*, v. 46, n. 2, p. 337-365, 1977.



SOUZA, J. S. et al. Mudanças no uso da terra e impactos ambientais no Cerrado maranhense. *Cadernos de Geografia*, v. 31, n. 2, p. 56–72, 2021.

TILMAN, David. **Resource competition and community structure**. Princeton university press, 1982

VALENTE-NETO, F. et al. Libélulas como indicadoras ambientais: padrões e aplicações no Cerrado e ecótonos. *Neotropical Entomology*, v. 45, p. 433–444, 2016.

VALENTE-NETO, F.; DIAS-SILVA, K.; JUEN, L. Efeitos da integridade do habitat sobre a assembleia de Odonata em riachos. *Journal of Insect Conservation*, v. 24, p. 257–267, 2020.

VENN, J. *Symbolic Logic*. London: Macmillan and Co., 1880.

VERAS, Daniel Silas et al. Heterogeneity in altered streams does not increase the richness of stream specialist species of Odonata in the Maranhense Cerrado. *Journal of Insect Conservation*, v. 28, n. 4, p. 665-674, 2024.

WWF BRASIL. *O avanço da fronteira agrícola no Cerrado e Amazônia e seus impactos sobre a biodiversidade*. Brasília: WWF, 2022.

Zuur et al. 2009 (Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A.A. & Smith, G.M. (2009) *Mixed Effects Models and*

MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela MS1. Lista dos pontos amostrados localizados nos municípios que ocorrem na zona de ecótono com os valores do Índice de Integridade de Habitat (IIH), na região da bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins, Brasil.

Pontos	Coordenadas	IIH
P1	-5.357421,-47.530737	0.51
P2	-5.331539,-47.615079	0.52
P3	-5.325552,-47.657285	0.43
P4	-5.388907,-47.463430	0.43
P5	-5.349486,-47.678344	0.56
P6	-5.942520,-47.390327	0.55
P7	-5.907909,-47.403158	0.42
P8	-5.747598,-47.388876	0.78
P9	-5.881399,-47.359221	0.29
P10	-5.601092,-47.671473	0.51
P11	-6.075035,-47.369258	0.77
P12	-6.087823,-47.400744	0.71
P13	-6.138260,-47.368264	0.55
P14	-6.249703,-47.331506	0.74
P15	-6.151041,-47.328605	0.61
P16	-6.186890,-47.381614	0.63
P17	-6.346504,-47.361489	0.57
P18	-6.315768,-47.332295	0.53
P19	-6.374829,-47.379106	0.58
P20	-6.403810,-47.390443	0.57
P21	-5.550197,-47.530180	0.37
P22	-5.600091,-47.511547	0.64
P23	-5.604151,-47.536442	0.65
P24	-5.564926,-47.662317	0.66
P25	-5.601632,-47.688339	0.52
P26	-5.462438,-47.416716	0.58
P27	-5.437294,-47.385490	0.46
P28	-5.441931,-47.336947	0.43
P29	-5.354871,-47.367541	0.54
P30	-5.345033,-47.382266	0.41



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS



PPGCIAG
Programa de Pós-Graduação
em Ciências Agrárias - UEMA