



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE**

CAROLINA GOMES VIANA

**ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE ODONATA ADULTOS ASSOCIADOS A
MUDANÇAS NA VEGETAÇÃO RIPÁRIA DE RIACHOS DE CERRADO**

SANTARÉM – PA

2023



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE**

CAROLINA GOMES VIANA

**ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE ODONATA ADULTOS ASSOCIADOS A
MUDANÇAS NA VEGETAÇÃO RIPÁRIA DE RIACHOS DE CERRADO**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Biodiversidade da Universidade Federal do Oeste do Pará,
como requisito para obtenção de grau de Mestre em
Biodiversidade.**

Orientadora: Profa. Dra. Amanda Frederico Mortati

SANTARÉM – PA

2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

V614a Viana, Carolina Gomes
Atributos funcionais de Odonata adultos associados a mudanças na vegetação ripária de riachos de cerrado./ Carolina Gomes Viana. -Santarém, 2023.
56 p. : il.
Inclui bibliografias.

Orientadora: Amanda Frederico Mortati.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade.

1. Anisoptera. 2. Bioindicadores. 3. Mata ciliar. 4. Traços morfológicos. 5. Zygoptera.
I. Mortati, Amanda Frederico, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 595.733



Universidade Federal do Oeste do Pará
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE

ATA Nº 31

Em acordo com o Regimento do Programa de Pós Graduação em Biodiversidade da Universidade Federal do Oeste do Pará, a dissertação de mestrado é julgada por uma Banca Avaliadora não presencial, constituída por cinco avaliadores, sendo um deles obrigatoriamente externo ao curso, com título de doutor (Artigo 56 do referido regimento). O acadêmico é considerado aprovado quando ao menos três membros avaliadores emitirem pareceres aprovado. Alternativamente, o discente será dispensado da banca avaliação da dissertação, quando comprovar o aceite ou publicação de pelo menos um artigo resultante da sua dissertação, como primeiro autor, em co-autoria com orientador, ou orientador e coorientador quando o orientador for um docente colaborador, em periódico indexado com percentil mínimo de 75 (setenta e cinco) ou superior referente às métricas mais recentes do maior percentil utilizado pelo Journal Citation Reports (Clarivate) ou pelo Scientific Journal Rankings (Scimago), cabendo ao discente apenas a apresentação pública do trabalho (Artigo 58). O discente que teve sua dissertação aprovada deverá apresentá-la em sessão pública com duração de até 50 (cinquenta) minutos obrigatoriamente até no máximo 15 (quinze) dias após a aprovação, e no prazo máximo de vínculo com o curso, ou seja, 24 (vinte e quatro) meses após o início do primeiro semestre letivo do discente no curso (artigo 64). Assim, aos trinta e um dia do mês de julho do ano de dois mil e vinte e três, às nove horas e trinta minutos, de forma remota através da plataforma GoogleMeet, instalou-se a apresentação de seminário público da dissertação de mestrado da aluna CAROLINA GOMES VIANA. Deu-se início a abertura dos trabalhos, onde a Professora Dra. AMANDA FREDERICO MORTATI, após esclarecer as normativas de tramitação da defesa e seminário público, de imediato solicitou à candidata que iniciasse a apresentação da dissertação, intitulada "ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE ODONATA ADULTOS ASSOCIADOS A MUDANÇAS NA VEGETAÇÃO RIPÁRIA DE RIACHOS DE CERRADO". Concluída a exposição, a professora comunicou à discente que a versão final da dissertação deverá ser entregue ao programa, no prazo de 60 dias; contendo as modificações sugeridas pela banca examinadora e constante nos formulários de avaliação da banca. A banca examinadora foi composta pelos examinadores professores doutores listados abaixo. Os pareceres assinados seguem em sequência.

Documento assinado digitalmente
gov.br AMANDA FREDERICO MORTATI
Data: 06/09/2023 11:58:28-0300
Verifique em <https://validar.itb.gov.br>

AMANDA FREDERICO MORTATI

Orientador(a)

Carolina Gomes Viana

CAROLINA GOMES VIANA

Discente



Universidade Federal do Oeste do Pará
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE

Dr. RAFAEL PEREIRA LEITÃO, UFMG

Examinador Externo à Instituição

Dra. KARINA DIAS DA SILVA, UFPA

Examinadora Externa à Instituição

Dr. JOSÉ FRANCISCO GONÇALVES JUNIOR, UnB

Examinador Externo à Instituição

Dr. JOSÉ MAX BARBOSA DE OLIVEIRA JUNIOR, UFOPA

Examinador Interno

Dra. AMANDA FREDERICO MORTATI

Presidente

CAROLINA GOMES VIANA

Mestranda

Àqueles que sempre acreditaram em mim, me dando todo o apoio.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço À Deus por tornar possível esta conquista, por iluminar o caminho a seguir e me conceder resiliência para superar as horas mais sombrias.

Sou grata a meus amados pais, Raimundo da Silva Viana e Rejane Maria Gomes Viana, e a meus queridos irmãos, Beatriz Gomes Viana e Danilo Gomes Viana, por acreditarem em minhas habilidades e me apoiarem sempre, me amparando na concretização deste sonho. Sou imensamente grata ao meu querido esposo, Lucas Pereira Moura, pelo suporte e auxílio sempre que necessário e principalmente, pelo incentivo, mesmo nos momentos mais desafiadores.

À minha Orientadora Amanda Frederico Mortati, que se dispôs a me orientar e me guiou com paciência e compreensão ao longo desta jornada. Também gostaria de agradecer ao prof. Me. Daniel Silas Veras, coordenador do LaECO (Laboratório de Ecologia de Comunidades) que me auxiliou no período das coletas.

Meus sinceros agradecimentos aos membros de minha banca, que foram muito atenciosos e aceitaram contribuir com sugestões e críticas construtivas. Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e a Universidade Federal do Oeste do Pará pela oportunidade de qualificação profissional e realização pessoal. Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento de bolsa de mestrado. Aos professores que contribuíram durante todo o decorrer do curso, vocês colaboraram significativamente para a minha formação.

À toda minha família, amigos e companheiros de turma, que de alguma forma contribuíram para a minha formação e educação ao longo dos anos, pelo amparo e carinho proporcionados.

A todos vocês, a minha eterna gratidão!

RESUMO

A capacidade das espécies de se adaptarem a diferentes gradientes ambientais é essencial para sua sobrevivência, uma vez que o ambiente pode apresentar variações ao longo do espaço e do tempo. Essas variações disponibilizam condições e recursos para que diversas espécies possam se estabelecer e permanecer em determinados locais, uma vez que o potencial para suportar essas condições está relacionado à existência de atributos adaptáveis e necessários à sobrevivência. Assim, nosso estudo buscou entender a relação entre um gradiente de variação ambiental e a estrutura funcional das assembleias de Odonata adultos em zonas ripárias de Cerrado. Os dados foram coletados em 50 riachos nas regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, entre maio de 2021 e janeiro de 2022. Foram considerados cinco atributos funcionais: comprimento total, largura do tórax, comprimento do abdômen, comprimento e largura da asa anterior, e as variáveis ambientais: cobertura de dossel, largura e profundidade do canal. Foram coletados 1.528 espécimes de Odonata adultos distribuídos em sete famílias, 30 gêneros e 74 espécies. Constatamos que áreas mais abertas ou com perda de vegetação apresentaram insetos maiores, sendo a cobertura da vegetação ripária adjacente ao canal o principal preditor da estrutura das assembleias de Odonata. À medida que o tamanho dos organismos aumenta, sua dependência em relação aos raios solares para o aquecimento também aumenta. Somado a isso, a pressão seletiva exercida pelo ambiente impulsiona a evolução e a adaptação da forma das asas nas espécies. Assim, observa-se a seleção de insetos com características específicas em detrimento de outros grupos de acordo com as características do habitat. Adicionalmente, esta filtragem pode levar à homogeneização da biodiversidade e à perda de funcionalidade em ambientes extremos ou degradados, indicando que os traços funcionais são atributos relevantes para a compreensão da distribuição das espécies de Odonata, e que a conservação e o manejo adequado das zonas ripárias são indispensáveis para garantir a sobrevivência destas espécies e dos diferentes grupos comportamentais e ecofisiológicos que a ordem apresenta.

Palavras-Chave: Anisoptera. Bioindicadores. Mata ciliar. Traços morfológicos. Zygoptera.

ABSTRACT

The capacity of species to adapt to different environmental gradients is essential for their survival, since the environment can present variations over space and time. These variations provide conditions and resources for different species to establish and remain in certain places, since the potential to withstand these conditions is related to the existence of adaptable attributes necessary for survival. Thus, our study sought to understand the relationship between an environmental variation gradient and the functional structure of adult Odonata assemblages in riparian zones of the Cerrado. Data were collected from 50 streams in eastern Maranhão and western Piauí, between May 2021 and January 2022. Five functional attributes were considered: total length, thorax width, abdomen length, forewing length and width, and environmental variables: canopy cover, channel width and depth. A total of 1,528 specimens of adult Odonata distributed in seven families, 30 genera and 74 species were collected. We found that more open areas or those with loss of vegetation had larger insects, with the cover of riparian vegetation adjacent to the channel being the main predictor of the structure of Odonata assemblages. As the size of organisms increases, their dependence on the sun's rays for heating also increases. Added to this, the selective pressure exerted by the environment drives the evolution and adaptation of wing shape in species. Thus, the selection of insects with specific characteristics is observed to the detriment of other groups according to the characteristics of the habitat. Additionally, this filtering can lead to the homogenization of biodiversity and loss of functionality in extreme or degraded environments, indicating that functional traits are relevant attributes for understanding the distribution of Odonata species, and that the conservation and proper management of riparian zones are indispensable to guarantee the survival of these species and of the different behavioral and ecophysiological groups that the order presents.

Keywords: Anisoptera. Bioindicators. Riparian forest. Morphological traits. Zygoptera.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização dos 50 riachos amostrados nas regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, domínio Cerrado, Brasil, com destaque aos limites municipais. Informações sobre os pontos de coleta, ver Apêndice A.....	25
Figura 2 – Delineamento amostral. Unidade básica de amostragem com destaque para as três seções onde foram feitas as medições de variáveis ambientais. A seta verde representa a medição de largura do riacho, enquanto os círculos em laranja representam as medidas de cobertura de dossel da vegetação ripária adjacente e de profundidade do riacho	26
Figura 3 – Regressões lineares simples das relações entre médias ponderadas dos traços – CWM (mm) e cobertura de dossel (%) de 50 riachos das regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, domínio Cerrado, Brasil. (a) Largura da Asa Anterior; (b) Comprimento da Asa Anterior; (c) Largura do Tórax	34
Figura 4 – Análise de RLQ definida pelos eixos 1 e 2 referente à Odonata adultos de 50 riachos das regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, domínio Cerrado, Brasil, mostrando (a) Locais amostrados; (b) Ordenação de espécies resultantes da interpretação simultânea de conjuntos de dados ambientais (R), abundância de espécies (L) e traços funcionais (Q) (Ver Tabela 1); (c) Ordenação de variáveis ambientais (setas); (d) Ordenação das características das espécies (setas), onde LT = Largura do tórax; LAA = Largura da asa anterior; CAA = Comprimento da asa anterior; CT = Comprimento total; e CA = Comprimento abdominal.....	36
Quadro 1 – Resultados do modelo Fourth-Corner ajustado analisando as relações entre características de Odonata adultos e variáveis ambientais de 50 riachos das regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, domínio Cerrado, Brasil. As relações entre os traços funcionais e as variáveis ambientais foram analisadas usando a estatística D2. A cor azul indica uma correlação negativa significativa. CT = Comprimento total; CA = Comprimento abdominal; LT = Largura do tórax; CAA = Comprimento da asa anterior e LAA = Largura da asa anterior	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista taxonômica das 74 espécies de Odonata adultos (A = Anisoptera; Z = Zygoptera) coletados em 50 riachos presentes nas regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, área de Cerrado, Brasil, com dados da distribuição das espécies nos riachos.....	30
Tabela 2 – Valores médios e desvio padrão dos parâmetros ambientais e traços analisados em 50 riachos das regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, domínio Cerrado, Brasil	32
Tabela 3 – Regressões simples entre as médias ponderadas (CWM) de cada traço e os parâmetros ambientais analisados em 50 riachos das regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, domínio Cerrado, Brasil. Os valores P em negrito são efeitos considerados significativos. CT = Comprimento total; CA = Comprimento abdominal; LT = Largura do tórax; CAA = Comprimento da asa anterior e LAA = Largura da asa anterior	33
Tabela 4 – Resumo dos resultados da RLQ testando relações entre variáveis ambientais e atributos funcionais em Odonata adultos de 50 riachos das regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, domínio Cerrado, Brasil. A tabela apresenta para o Eixo 1 e Eixo 2 os autovalores, a covariância, a porcentagem de co-inércia total, a razão de inércia e co-inércia para R (a matriz de variáveis ambientais), Q (a matriz de características das espécies) e correlação com a matriz L (espécies).....	35

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	12
Qual é o problema da pesquisa?	12
Como a pesquisa foi realizada?	13
Qual a importância da pesquisa?	15
Autores.....	17
Título original da pesquisa.....	17
Instituição	17
Financiador.....	17
Sugestões de leitura.....	17
OBJETIVOS.....	17
Geral.....	17
Específicos.....	18
Hipóteses	18
REFERÊNCIAS.....	18
CAPÍTULO ÚNICO	22
1 Introdução	23
2 Material e métodos.....	24
2.1 Área de estudo	24
2.2 Delineamento amostral	26
2.3 Avaliação da integridade ambiental	26
2.4 Coleta, triagem e identificação	27
2.5 Atributos morfológicos funcionais	27
2.6 Análise de dados	28
3 Resultados.....	29
4 Discussão.....	37
5 Conclusões	41
REFERÊNCIAS	42
APÊNDICES	49

INTRODUÇÃO GERAL

ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE ODONATA ADULTOS ASSOCIADOS A MUDANÇAS NA VEGETAÇÃO RIPÁRIA DE RIACHOS DE CERRADO

Qual é o problema da pesquisa?

Gradientes ambientais podem fornecer informações valiosas sobre os processos ambientais subjacentes que moldam os sistemas ecológicos (Pellissier et al., 2018). Ao estudar os padrões de distribuição de espécies e as condições ambientais ao longo de um gradiente, os ecólogos podem obter informações sobre os mecanismos que geram esses padrões e as maneiras pelas quais diferentes fatores ambientais interagem entre si (King e Baker, 2010; Fortin et al., 2021). A variação nas condições ambientais em uma área geográfica pode influenciar a distribuição e abundância de espécies individuais, afetando sua sobrevivência, crescimento e reprodução (Hutchinson, 1957; Ehrlén e Morris, 2015; Djordjević e Tsiftsis, 2022). Nesse sentido, os gradientes criam oportunidades para os organismos se adaptarem a diferentes condições, aumentando a diversidade de espécies em um ecossistema (Aurelle et al., 2022). No entanto, modificações ambientais também podem alterar gradientes, criando mudanças abruptas nas condições ambientais e limitando a variedade de espécies que podem persistir em uma área (Hutchinson, 1957).

Esses gradientes ambientais podem ser formados por perturbações, que podem criar mudanças abruptas nas condições ambientais que podem persistir ao longo do tempo, criando novas faixas de variação ou alterando as já existentes (Jentsch e White, 2019). Um ecossistema pode estar sujeito a várias formas de perturbações, que podem ocorrer naturalmente, como inundações, deslizamentos de terra e eventos climáticos, ou podem ser antrópicos, resultantes de atividades como agricultura, poluição e urbanização (Zimmermann e Elsenbeer 2008). As perturbações antrópicas, em particular, podem ter um impacto significativo nos ecossistemas, alterando a integridade física dos ecossistemas, levando à perda de habitat, declínio de espécies e interrupção de importantes processos ecológicos como a polinização e dispersão de sementes e animais, e suas consequências podem ser de longo alcance, afetando tanto os componentes bióticos quanto os abióticos dos ecossistemas (Collier et al. 2019).

Atividades como o crescimento populacional humano e a expansão agrícola, podem levar ao desmatamento de florestas e matas ciliares, que, por sua vez, podem afetar tanto os ambientes terrestres quanto os aquáticos, resultando na homogeneização das condições ambientais (Giozza et al., 2017; Mendes et al., 2017). Alterações como mudanças nos níveis de precipitação, também podem impactar os ecossistemas, especialmente as interfaces aquático-

terrestres, ao modificarem o fluxo de água, o transporte de sedimentos e a liberação de nutrientes para além da amplitude de variação naturalmente observada. Essas alterações podem resultar, por fim, na diminuição da qualidade da água e até mesmo no assoreamento dos corpos d'água (Monteiro-Júnior et al., 2014; Zhang et al., 2018).

Alguns estudos ecológicos visam compreender o impacto das modificações ambientais nas comunidades biológicas, explorando fatores como composição de espécies, nicho ecológico e morfologia (De Marco et al. 2015; Pereira et al. 2019; Bastos et al. 2021). Em resposta às pressões seletivas do ambiente, as espécies podem desenvolver adaptações a perturbações, sejam elas morfológicas ou ecológicas (Pereira et al., 2019; Bastos et al., 2021). As mudanças ambientais podem restringir ou mesmo limitar a distribuição das espécies. Consequentemente, os requisitos de nicho das espécies, padrões comportamentais e características morfológicas são todos influenciados por filtros ecológicos. Nesse contexto, esta pesquisa investiga o padrão de resposta de atributos funcionais de espécies de Odonata adultos ao longo de um gradiente ambiental.

Como a pesquisa foi realizada?

Os adultos de Odonata foram coletados em 50 riachos localizados nas regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, entre maio de 2021 e janeiro de 2022, período de menor estiagem. Esses riachos estão situados em uma região de Cerrado e apresentam variações na estrutura da zona ripária. Para coletar os insetos, em cada riacho estabeleceu-se um transecto de 100 metros, onde os adultos de Odonata foram coletados através da varredura em áreas fixas do córrego utilizando rede entomológica, com esforço amostral de uma pessoa ao longo de uma hora em cada unidade amostral (Veras et al., 2020). As coletas foram realizadas no período de maior atividade de forrageamento e defesa territorial dos espécimes: das 10h às 14h (Pereira-Moura et al., 2021).

Os indivíduos coletados durante o estudo foram colocados em envelopes de papel e embebidos em acetona P.A. (Pura para Análise) por cerca de 12 horas (Zygoptera) e por 48 a 72 horas (Anisoptera). Em seguida, os espécimes foram secos por evaporação em papel toalha e acondicionados em envelopes plásticos sobre papel-cartão para posterior identificação. Os espécimes foram analisados em estereomicroscópio e identificados por meio de chaves dicotômicas específicas (Garrison et al., 2006; Garrison et al., 2010; Heckman, 2008, Lencioni, 2005; 2006).

Para caracterizar as variações ambientais nas zonas ribeirinhas, informações como cobertura do dossel, largura e profundidade do canal foram medidas em cada unidade de

amostragem. Esses atributos dos corpos d'água e da paisagem circundante têm sido reconhecidos como importantes preditores ambientais ligados às comunidades de insetos aquáticos (Brasil et al., 2020), tornando-os métricas adequadas para este estudo. A porcentagem de cobertura do dossel, que denota a disponibilidade de áreas sombreadas e ensolaradas, é de extrema importância na ecologia de Odonata no que se refere à termorregulação corporal. A largura e a profundidade do córrego indicam uma maior incidência de radiação solar, bem como maior espaço para oviposição. A média de cada variável foi calculada e utilizada como medida final para cada amostra.

Para retratar a variação nos atributos das espécies no estudo, cinco variáveis morfológicas foram aferidas: comprimento total (CT), largura do tórax (LT), comprimento do abdômen (CA), comprimento (CAA) e largura da asa dianteira (LAA) (Pereira et al., 2019; De Marco et al., 2015). Cinco indivíduos machos de cada espécie foram medidos em milímetros usando um sistema de imagem digital acoplado a um estereomicroscópio. Para espécies com cinco ou menos indivíduos, todos os insetos coletados foram medidos, apenas no lado direito do corpo, para evitar variações. A média de cada atributo (variável morfológica) foi calculada e utilizada como medida final para cada espécie.

A composição funcional da comunidade – identidade funcional – foi determinada usando a média de cada atributo funcional ponderada pela abundância relativa de cada espécie (Community Weighted Mean - CWM) (Laliberté & Legendre, 2010). Para investigar o impacto das mudanças ambientais na estrutura funcional das comunidades de Odonata, foram realizadas regressões lineares simples usando os CWMs de cada característica e os parâmetros ambientais. Para avaliar a resposta de características morfológicas individuais a gradientes ambientais, foram realizados dois testes: RLQ que relaciona uma matriz de variáveis ambientais por locais (tabela R) a uma matriz de espécies por características (tabela Q), usando uma matriz de espécies por locais (tabela L) como conectivo (Dray et al., 2014); e Fourth-Corner que mede a relação entre as características das espécies e suas posições ao longo do gradiente ambiental, utilizando uma Correlação de Pearson (Dray & Legendre, 2008).

Um teste de Monte Carlo (9999 permutações) foi usado para determinar a significância geral da relação entre características funcionais e variáveis ambientais. Foi considerado o modelo 6, que combina dois testes de permutação: o primeiro (modelo 2) testa a hipótese nula de que “assembleias de espécies são atribuídas aleatoriamente a locais, independentemente das características do local” (linhas da tabela de abundância; modelo 2) e o segundo (modelo 4) testa a hipótese nula de que “as espécies são distribuídas independentemente de suas características” (Dray et al., 2014).

Qual a importância da pesquisa?

O conceito de filtragem de habitat implica que as espécies tendem a se tornar funcionalmente semelhantes, convergindo para um valor de característica ideal (Sladeczek et al. 2021; Magura & Lövei 2019; Li et al. 2018; Keddy 1992). Esses padrões surgem da interação entre fatores abióticos e bióticos e são influenciados por fatores como grupos filogenéticos e características morfológicas funcionais, que determinam a capacidade de cada organismo competir em um determinado nicho (Bastos et al. 2021). A diversidade funcional – variedade de funções desempenhadas por diferentes espécies em um ecossistema – está, portanto, intimamente ligada à Teoria do Nicho e pode fornecer informações valiosas sobre os processos que moldam os padrões de diversidade.

Essa teoria define o nicho como um hipervolume n-dimensional, onde cada dimensão representa um recurso específico ou condição ambiental presente no local habitado pelo indivíduo (Hutchinson, 1957). Cada espécie tem um conjunto distinto de requisitos que devem ser atendidos para sobreviver e se reproduzir em um determinado local, e há limites para o que é tolerável para cada espécie em termos de disponibilidade de recursos e condições ambientais (Hutchinson, 1957). Portanto, a Teoria do Nicho sugere que diferenças nas características ecológicas entre as espécies podem afetar sua abundância, sendo esperado que uma espécie seja mais abundante que outras em um local se possuir atributos que conferem melhores habilidades de sobrevivência e reprodução no ambiente local (Munoz e Huneman, 2016).

A classe Insecta é altamente diversa, com inúmeras ordens que são amplamente utilizadas em pesquisas ecológicas (Deangelis, 2018). Dentre essas ordens, a Odonata, comumente chamadas de libélulas, jacintas, lava-bunda, lavadeira, entre outros, se destaca devido à sua visibilidade durante o voo e pouso em corpos d'água (Pinto 2016; Brasil e Vilela, 2019). Estes insetos são uma escolha popular para estudos de bioindicação da saúde do ecossistema aquático, pois podem ser encontrados em uma ampla gama de biótopos e algumas espécies são bastante tolerantes a distúrbios antropogênicos (De Marco et al. 2015; Brasil et al., 2022). As preferências de habitat das espécies de Odonata estão intimamente ligadas às suas necessidades de termorregulação e características morfológicas. Algumas espécies são mais comumente encontradas em ambientes abertos, enquanto outras preferem ambientes sombreados (De Marco et al. 2015). Espécies generalistas tendem a ser maiores e mantêm sua temperatura corporal através do complexo muscular de voo, enquanto espécies especialistas de ambientes mais íntegros tendem a ser menores e variam sua temperatura corporal de acordo com o ar (razão superfície – volume) (Corbet e May, 2008; Corbet, 1999; De Marco et al. 2015).

Compreender esses padrões é crucial para determinar os fatores que influenciam a distribuição e persistência das espécies de Odonata, especialmente diante de mudanças ambientais.

O Cerrado é um conjunto de formações vegetais extremamente importante para a biodiversidade e crescimento econômico. Ele ocorre ao longo de regiões sujeitas a secas sazonais intensas, e que vêm sendo desmatadas e queimadas ao longo do tempo para implantação de atividades agropecuárias que promovem a degradação dos ecossistemas naturais, pondo em risco a diversidade e o futuro das espécies (Junior et al., 2018; Maurano et al., 2019; Silva et al., 2019). Os incêndios desempenham um papel significativo na transformação da cobertura da terra no Cerrado, enquanto a superexploração de seus recursos lenhosos para a produção de carvão também tem impacto significativo na região (Maurano et al., 2019).

A região mais ao norte do Cerrado é conhecida como Matopiba, área que reúne 337 municípios de quatro estados brasileiros: Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (Lopes et al., 2021). A região é um dos mais importantes centros nacionais de produção agrícola, onde se concentram empreendimentos agrícolas de irrigação entre 100 e 300 km² e mais de 300 km² (Silva e Vianna, 2022). Devido à expansão do agronegócio, tem-se verificado um aumento no desmatamento e na contaminação dos solos e dos corpos hídricos, com a consequente perda de biodiversidade (Lopes et al., 2021).

Vários estudos demonstraram que mudanças ambientais como mudanças nos níveis de precipitação pluviométrica, porcentagem de cobertura do dossel, presença e quantidade de vegetação podem restringir significativamente a distribuição de insetos aquáticos (Woods e McGarvey, 2022; Silva e Oliveira-Junior, 2018; Oliveira-Junior et al., 2017). A presença de condições e recursos ambientais específicos pode criar uma pressão seletiva sobre os insetos aquáticos, levando ao surgimento de espécies mais adaptadas a essas condições, assim o papel da teoria de nicho na explicação da estrutura das comunidades de insetos aquáticos é crucial, pois fornece informações sobre como as características ecológicas das espécies podem influenciar sua abundância e distribuição em um determinado local (Oliveira-Junior, 2015).

Dado que as variações ambientais atuam como filtros, selecionando características funcionais semelhantes e influenciando a ocorrência e persistência de espécies (Pereira et al., 2019), é importante identificar os fatores que impulsionam a seleção de espécies. Portanto, entender os mecanismos que moldam as comunidades, como os filtros ecológicos que operam sobre elas, é fundamental para prever as respostas das comunidades bióticas às mudanças ambientais e desenvolver estratégias eficazes de conservação.

Autores

Carolina Gomes Viana

Amanda Frederico Mortati

Título original da pesquisa

Atributos funcionais de Odonata adultos associados a mudanças na vegetação ripária de riachos de Cerrado

Instituição

Universidade Federal do Oeste do Pará – Ufopa

Financiador

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES

Sugestões de leitura

Bastos, R. C., Brasil, L. S., Oliveira-Junior, J. M. B., Carvalho, F. G., Lennox, G. D., Barlow, J., Juen, L. 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107257>

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, 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123023>

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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.09.020>

Veras D.S., Lustosa G.S., Moura L.P., Ferreira M.F.R., Juen L. 2020. Differences in land use modify Odonata assemblages in the Cerrado-Caatinga ecotone. *Acta Limnologica Brasiliensia* 32, e15. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X7119>

OBJETIVOS**Geral**

Testar o efeito de um gradiente de variação ambiental sobre o padrão de resposta de características funcionais das espécies de Odonata em zonas ripárias em região de domínio Cerrado.

Específicos

- Identificar os adultos de Odonata ao nível de espécie;
- Coletar variáveis ambientais nos riachos em zonas ripárias do Cerrado;
- Mensurar atributos funcionais para cada espécie de adulto de Odonata identificado;
- Testar o efeito de gradientes ambientais sobre a identidade funcional de assembleias de Odonata em zonas ripárias do Cerrado;
- Testar o efeito de gradientes ambientais sobre traços morfológicos funcionais de assembleias de Odonata em zonas ripárias do Cerrado.

Hipóteses

- (1) A identidade funcional da comunidade responde ao gradiente de variação ambiental da zona ripária;
- (2) Um mesmo atributo morfológico apresenta variação de tamanho ao longo do gradiente de variação ambiental, sendo os maiores tamanhos encontrados nos locais mais abertos e/ou degradados, devido à sua associação às funções de termorregulação (heliotérmicos e endotérmicos) e à manobrabilidade de voo (voo longo em locais com vegetação mais aberta ou ausente).

REFERÊNCIAS

- Aurelle, D., Thomas, S., Albert, C., Bally, M., Bondeau, A., Boudouresque, C. F., ... Fady, B. 2022. Biodiversity, climate change, and adaptation in the Mediterranean. *Ecosphere* 13, e3915. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3915>
- Bastos, R. C., Brasil, L. S., Oliveira-Junior, J. M. B., Carvalho, F. G., Lennox, G. D., Barlow, J., Juen, L. 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107257>
- Brasil, L. S., Luiza-Andrade, A., Calvão, L. B., Dias-Silva, K., Faria, A. P. J., Shimano, Y., Juen, L. 2020. Aquatic insects and their environmental predictors: a scientometric study focused on environmental monitoring in lotic environmental. *Environmental monitoring and assessment* 192, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8147-z>
- Brasil, L. S., Oliveira-Junior, J. M. B., Dias-Silva, K., Shimano, Y., & Juen, L. 2022. Insetos aquáticos bioindicadores de mudanças de uso da terra no Pará, Brasil: Evidências e perspectivas. *Oecologia Australis* 26, 424-444. <https://doi.org/10.4257/oeco.2022.2603.03>
- Brasil, L. S., Vilela, D. S. 2019. Peculiaridades regionais na percepção de brasileiros sobre libélulas: nomenclatura popular e conservação. *Hetaerina Boletín de la Sociedad de Odonatología Latinoamericana* 1, 15-20.
- Collier, C. A., Almeida Neto, M. S., Almeida, G. M. A., Rosa Filho, J. S., Severi, W., El-Deir, A. C. A. 2019. Effects of anthropic actions and forest areas on a neotropical aquatic

- ecosystem. *Science of the total environment* 691, 367-377.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.122>
- Corbet P.S. 1999. *Dragonflies: behaviour and ecology of Odonata*. Harley books.
- 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. <https://doi.org/10.1080/13887890.2008.9748320>
- DeAngelis, D. L. 2018. *Individual-based models and approaches in ecology: populations, communities and ecosystems*. CRC Press.
- 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, 1-17.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123023>
- Djordjević, V., Tsiftsis, S. 2022. The role of ecological factors in distribution and abundance of terrestrial orchids. In *Orchids phytochemistry, biology and horticulture: fundamentals and applications*, 3-72. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38392-3_4
- Dray S., Choler P., Dolédec S., Peres-Neto P.R., Thuiller W., Pavoine S., Ter Braak C.J. 2014. Combining the fourth-corner and the RLQ methods for assessing trait responses to environmental variation. *Ecology* 95, 14-21. <https://doi.org/10.1890/13-0196.1>
- Dray S., Legendre P. 2008. Testing the species traits–environment relationships: the fourth-corner problem revisited. *Ecology* 89, 3400-3412. <https://doi.org/10.2307/27650916>
- Ehrlén, J., Morris, W. F. 2015. Predicting changes in the distribution and abundance of species under environmental change. *Ecology letters* 18(3), 303-314.
<https://doi.org/10.1111/ele.12410>
- Fortin, M. J., Dale, M. R., Brimacombe, C. 2021. Network ecology in dynamic landscapes. *Proceedings of the Royal Society B* 288(1949), 20201889.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2020.1889>
- Garrison R.W., Von Ellenrieder N., Louton J.A. 2006. *Dragonfly genera of the new world: an illustrated and annotated key to the Anisoptera*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Garrison R.W., Von Ellenrieder N., Louton J.A. 2010. *Damselfly genera of the New World: an Illustrated and annotated key to the Zygoptera*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Giozza, T. P., de Almeida Jácomo, A. T., Silveira, L., Tôrres, N. M. 2017. Abundância relativa de mamíferos de médio e grande porte na região do Parque Nacional das Emas-GO. *Revista Brasileira de Zootecias* 18 (3). <https://doi.org/10.34019/2596-3325.2017.v18.24671>
- Heckman, C. 2008. *Encyclopedia of South American aquatic insects: Odonata – Anisoptera*. Olympia: Springer Science.
- Hutchinson F. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology* 22, 415-427.
- Jentsch, A., White, P. 2019. A theory of pulse dynamics and disturbance in ecology. *Ecology* 100(7), e02734. <https://doi.org/10.1002/ecy.2734>

- Junior, C. H. L. S., Anderson, L. O., Oliveira, L. E., de Aragão, C., Rodrigues, B. D. 2018. Dinâmica das queimadas no Cerrado do Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil. *Revista do Departamento de Geografia* 35, 1-14. <https://doi.org/10.11606/rdg.v35i0.142407>
- Keddy, P. A. 1992. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of vegetation science* 3(2), 157-164. <https://doi.org/10.2307/3235676>
- King, R. S., Baker, M. E. 2010. Considerations for analyzing ecological community thresholds in response to anthropogenic environmental gradients. *Journal of the North American Benthological Society* 29(3), 998-1008. <https://doi.org/10.1899/09-144.1>
- Laliberté, E., Legendre, P. 2010. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology* 91, 299-305. <https://doi.org/10.1890/08-2244.1>
- Lencioni, F.A.A. 2005. *The damselflies of Brazil: an illustrated guide –The non Coenagrionidae families*. São Paulo: All Print Editora.
- Lencioni, F.A.A. 2006. *The damselflies of Brazil: an illustrated guide - Coenagrionidae*. São Paulo: All Print Editora.
- Li, Y., Shipley, B., Price, J. N., Dantas, V. D. L., Tamme, R., Westoby, M., ... Batalha, M. A. 2018. Habitat filtering determines the functional niche occupancy of plant communities worldwide. *Journal of Ecology* 106(3), 1001-1009. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12802>
- Lopes, G. R., Lima, M. G. B., dos Reis, T. N. 2021. Revisitando o conceito de mau desenvolvimento: Inclusão e impactos sociais da expansão da soja no Cerrado do Matopiba. *World Development* 139, 105316.
- Magura T, Lövei G.L. 2019. Environmental filtering is the main assembly rule of ground beetles in the forest and its edge but not in the adjacent grassland. *Insect science* 26 (1), 154-163. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12504>
- Maurano, L. E. P., Almeida, C. A. D., Meira, M. B. 2019. Monitoramento do desmatamento do cerrado brasileiro por satélite PRODES Cerrado. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 191-194.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s13744-017-0503-5>
- Monteiro-Júnior, C. D. S., Juen, L., Hamada, N. 2014. Effects of urbanization on stream habitats and associated adult dragonfly and damselfly communities in central Brazilian Amazonia. *Landscape and Urban Planning* 127, 28-40. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.03.006>
- Munoz, F., Huneman, P. 2016. From the neutral theory to a comprehensive and multiscale theory of ecological equivalence. *The Quarterly Review of Biology* 91(3), 321-342. <https://doi.org/10.1086/688098>
- Oliveira-Junior, J. M. B., Junior, P. D. M., Dias-Silva, K., Leitão, R. P., Leal, C. G., Pompeu, P. S., ... Juen, L. 2017. Effects of human disturbance and riparian conditions on Odonata (Insecta) assemblages in eastern Amazon basin streams. *Limnologia* 66, 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2017.04.007>

- Oliveira-Junior, J. M. B., Shimano, Y., Gardner, T. A., Hughes, R. M., de Marco Júnior, P., Juen, L. 2015. Neotropical dragonflies (Insecta: Odonata) as indicators of ecological condition of small streams in the eastern Amazon. *Austral Ecology* 40(6), 733-744. <https://doi.org/10.1111/aec.12242>
- Pellissier, L., Albouy, C., Bascompte, J., Farwig, N., Graham, C., Loreau, M., Gravel, D. 2018. Comparing species interaction networks along environmental gradients. *Biological Reviews* 93(2), 785-800. <https://doi.org/10.1111/brv.12366>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.09.020>
- Pereira-Moura L., De Sena W.S., Neiss U.G., Couceiro S.R.M. 2021. Environmental integrity as a modeler of the composition of the Odonata community. *Environmental Monitoring and Assessment* 193, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08957-8>
- Pinto, A.P. 2016. A fauna de libélulas da América do Sul: a última fronteira a ser desvendada. *Sociedade Brasileira de Zoologia* 117, 7-9.
- Silva, A. C., Oliveira, H. C., Conceição, G. 2019. Brioflora do Estado do Piauí: novos registros para a caatinga e cerrado. *Enciclopédia Biosfera* 16(29).
- Silva, D. C.; Oliveira-Junior, J. M. B. 2018. Efeito da cobertura de dossel sobre a comunidade de Odonata (insecta) em igarapés na região de Santarém-Belterra (PA). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 9(6), 88-97. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.006.0011>
- Silva, P. R., Vianna, J. N. S. 2022. A região de MATOPIBA (Brasil) e o nexus água-energia-alimentos. *Desenvolvimento e Meio Ambiente* 59. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v59i0.78325>
- Sladeczek F.X.J., Zitek T., Konvicka M., Segar S.T. 2021. Evaluating the relative importance of habitat filtering and niche differentiation in shaping the food web of dung-inhabiting predators. *Acta Oecologica* 112, 103767. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2021.103767>
- Veras D.S., Lustosa G.S., Moura L.P., Ferreira M.F.R., Juen L. 2020. Differences in land use modify Odonata assemblages in the Cerrado-Caatinga ecotone. *Acta Limnologica Brasiliensia* 32, e15. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X7119>
- Woods, T., McGarvey, D. J. 2022. Drivers of Odonata flight timing revealed by natural history collection data. *Journal of Animal Ecology* 92(2), 310-323. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13795>
- Zhang, M., Muñoz-Mas, R., Martínez-Capel, F., Qu, X., Zhang, H., Peng, W., Liu, X. 2018. Determining the macroinvertebrate community indicators and relevant environmental predictors of the Hun-Tai River Basin (Northeast China): A study based on community patterning. *Science of the Total Environment* 634, 749-759. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.021>
- Zimmermann, B., Elsenbeer, H. 2008. Spatial and temporal variability of soil saturated hydraulic conductivity in gradients of disturbance. *Journal of Hydrology* 361(1-2), 78-95. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.07.027>

CAPÍTULO ÚNICO

Artigo segue o modelo da Ecological Indicators

ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE ODONATA ADULTOS ASSOCIADOS A MUDANÇAS NA VEGETAÇÃO RIPÁRIA DE RIACHOS DE CERRADO

Carolina Gomes Viana¹

Amanda Frederico Mortati¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade - Universidade Federal do Oeste do Pará. Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas. Campus Tapajós, Rua Vera Paz, sn, Salé. Santarém – Pará – Brasil. CEP: 68035-110.

1. Introdução

Todas as espécies possuem um conjunto de requerimentos específicos para que possam ou consigam ocorrer em determinado local, apresentando limites, máximo e mínimo, do que é tolerável, onde conseguem crescer e reproduzir (Hutchinson, 1957). Uma das formas de acessar essas informações de resistência ou sensibilidade é utilizar abordagens ecológicas que consideram atributos morfológicos, possibilitando a identificação de características que podem estar relacionadas à resistência das espécies às perturbações ambientais, melhorando sua aptidão e/ou desempenho (Silva et al., 2021; Mendes et al., 2020; He et al., 2019).

A fauna de insetos aquáticos dispõe-se em conformidade com as particularidades ecológicas, físicas e químicas do ecossistema, e entre os insetos aquáticos, a ordem Odonata é composta por grande biodiversidade e com grupos de espécies com funções ecológicas e requerimentos ambientais divergentes (Corbet, 1999; Miguel et al., 2017). Dentre as duas subordens que ocorrem no Brasil, a maioria dos indivíduos adultos da subordem Zygoptera pode ser encontrada com maior facilidade em ambientes sombreados e preservados e suas exigências ecológicas e comportamentais específicas se refletem em menor capacidade de dispersão e limitam a sua distribuição espacial (Mendes et al., 2015; Oliveira-Júnior e Juen, 2019). Por outro lado, a subordem Anisoptera contém a maioria das espécies de Odonata generalistas e com maior tolerância às variações nas condições ambientais, dominando por vezes habitats com alta incidência luminosa ou degradados (Seidu et al., 2018; Bastos et al., 2021).

Essa diferenciação na presença dos indivíduos com o aumento da incidência solar e com a simplificação da estrutura da vegetação nos habitats ripários pode ocorrer em razão dos padrões comportamentais e de termorregulação da ordem (Corbet, 1999). Os voadores são espécies maiores que, em consequência de voos extensos e ininterruptos para forrageamento, conflitos por território e busca por parceiros, mantêm altas temperaturas corporais constantes endotermicamente, mediante o calor gerado pelos músculos ativos do voo. Os pousadores são ectotérmicos, ou seja, fazem a regulação de sua temperatura corpórea sobretudo por seleção de microhabitat (Corbet e May, 2008). Além deles, existem os heliotérmicos, que por serem maiores, possuem uma menor superfície e volume, por isso, para que consigam ganhar temperatura do ambiente para iniciar suas atividades, além de temperaturas altas, precisam da incidência direta da luz solar sobre seus corpos.

Estudos recentes realizados no bioma Amazônico, sugerem que fatores como a vegetação ripária e a qualidade da água têm influência sobre os atributos funcionais de insetos

da ordem Odonata (Silva et al., 2021a; Mendes et al., 2020; Pereira et al., 2019). Tais fatores atuam como filtros ambientais, selecionando as características funcionais semelhantes para ocorrência e permanência de espécies no local (Pereira et al., 2019). Entretanto, ainda existem lacunas referentes a esses efeitos sobre os atributos funcionais de Odonata em outros biomas, como o Cerrado e a Caatinga, onde naturalmente ocorre maior entrada de luz mesmo em habitats íntegros. A compreensão desses efeitos em diferentes biomas é crucial para a conservação e a gestão adequada dos recursos hídricos, pois os Odonata desempenham um papel importante como predadores e indicadores de qualidade ambiental (Goulart e Callisto, 2003; Corbet, 1999).

As interfaces aquático-terrestres são ecossistemas complexos e dinâmicos que exibem grande diversidade de habitats (Junk et al 2011), que vêm sendo modificados por múltiplos impactos ambientais (e.g. desmatamentos, queimadas, fragmentação, retirada das matas ciliares, pesticidas) (Faria et al., 2023; Leal et al., 2020; Goulart e Callisto, 2003). Essas modificações comprometem a biodiversidade aquática, diretamente relacionada à heterogeneidade ambiental, que pode desaparecer devido ao assoreamento de córregos e devastação das matas ciliares (Bichsel et al., 2016). Com o avanço desenfreado desses impactos sobre o meio ambiente, é de grande importância para a conservação e gestão ambiental a determinação dos fatores envolvidos na seleção de espécies, visto que as modificações no ambiente podem atuar como filtros selecionando organismos com atributos necessários para a sobrevivência em condições específicas (Keddy, 1992; Pereira et al., 2019; Viana et al., 2020).

Nesse contexto, este estudo teve por objetivo determinar a relação entre um gradiente de variação ambiental e a estrutura funcional das assembleias de Odonata adultos em zonas ripárias no Cerrado. Foram testadas as hipóteses: (1) a identidade funcional da comunidade responde ao gradiente de variação ambiental; e (2) um mesmo atributo morfológico apresenta variação de tamanho ao longo do gradiente de variação ambiental, sendo os maiores tamanhos encontrados nos locais mais abertos, devido à sua associação às funções de termorregulação (heliotérmicos e endotérmicos) e à manobrabilidade de voo (voo longo em locais com ausência de vegetação).

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em zonas ripárias de 50 riachos de 1^a a 3^a ordens (Strahler, 1964), nas regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, área de Cerrado (Fig. 1), Brasil. As

principais bacias que compõem a rede hidrográfica da região são as dos rios Itapecuru, Parnaíba e Munin. O clima varia entre o sub-úmido e o semi-árido, com temperatura mínima de 21°C e máxima de 38°C, precipitação pluviométrica anual entre 1200-1300 mm, com duas estações bem definidas: um verão chuvoso (dezembro-maio) e um inverno seco (junho a novembro) (Correia-Filho et al., 2011).

A região estudada apresenta variações na integridade da zona ripária, sendo observados riachos com vegetação ripária íntegra, formada por floresta contínua composta por árvores nativas, até locais com diferentes formas de uso e ocupação do solo como remoção de mata ciliar para fins agrícolas, represamento inadequado, descarte não apropriado de efluentes e resíduos sólidos e proximidade com área urbana. A vegetação nativa é subdividida em florestas secundárias (capoeiras e babaçuais), cerrados, matas ciliares, veredas e vegetação composta de matas secas denominada "carrasco" (Correia-Filho et al., 2011, Veras et al., 2019).

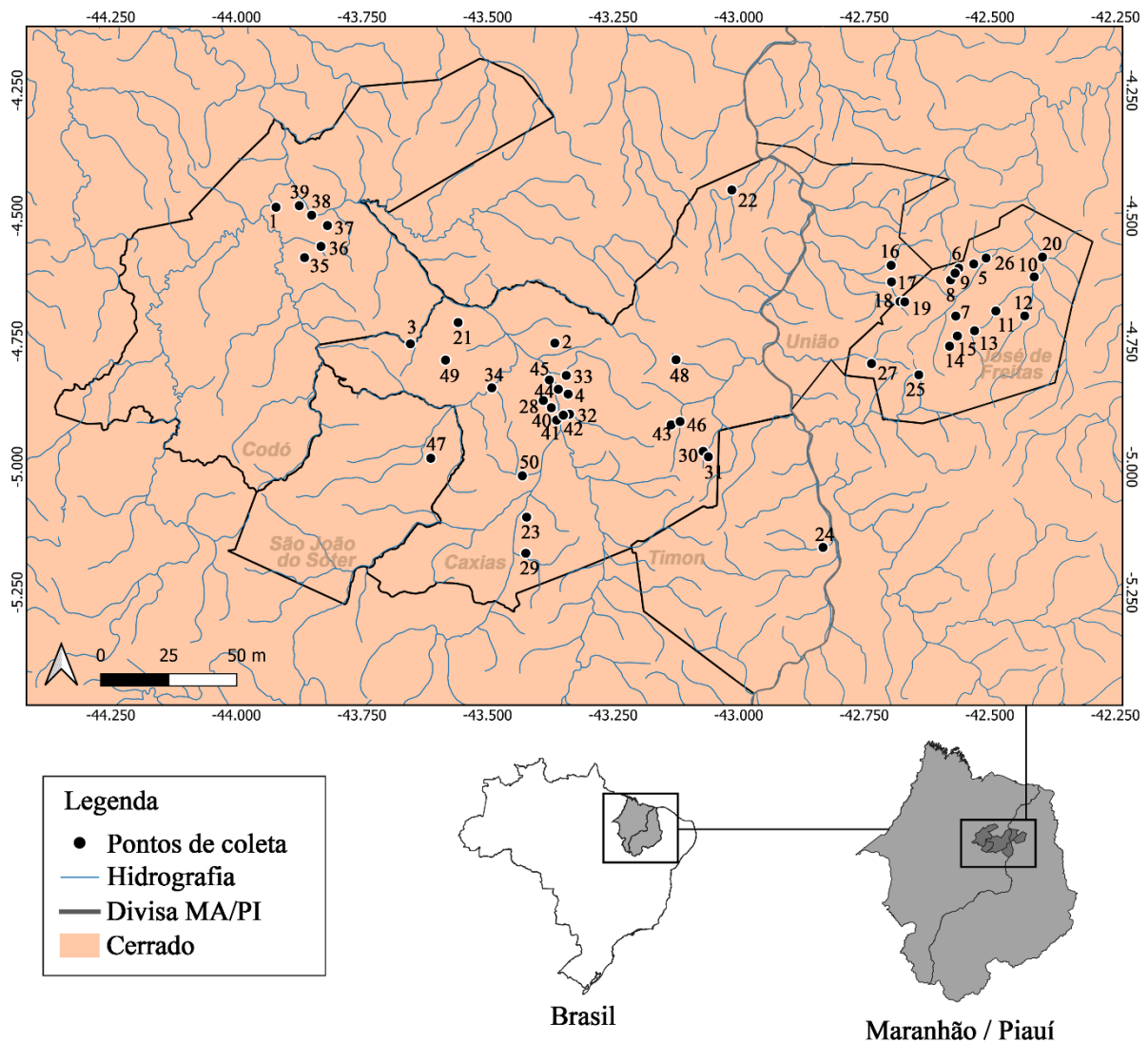


Fig 1. Localização dos 50 riachos amostrados nas regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, domínio Cerrado, Brasil, com destaque aos limites municipais. Informações sobre os pontos de coleta, ver Apêndice A.

2.2 Delineamento amostral

Os 50 riachos foram amostrados utilizando o índice de Moran para evitar a correlação espacial e manter a independência entre as amostras. A amostragem foi feita somente uma vez por riacho e teve início em maio de 2021 e decorreu até o mês de janeiro de 2022, no período de estiagem (Apêndice A). A coleta de adultos levou em consideração a proximidade dos ramais e trilhas de acesso, sendo estabelecido um transecto de 100 m em cada riacho como a unidade básica de amostragem para todas as análises estatísticas (Batista et al., 2021). Os 100 metros foram divididos em 20 segmentos de 5 metros cada, para aumentar a probabilidade de que todos os indivíduos que estavam no riacho, pudessem ser capturados ou contabilizados. Nesse transecto, além da coleta de adultos foi realizada a coleta das variáveis ambientais em três seções (início, meio e fim do transecto), no sentido jusante-montante, sempre antecedendo o momento da coleta biológica (Fig. 2).

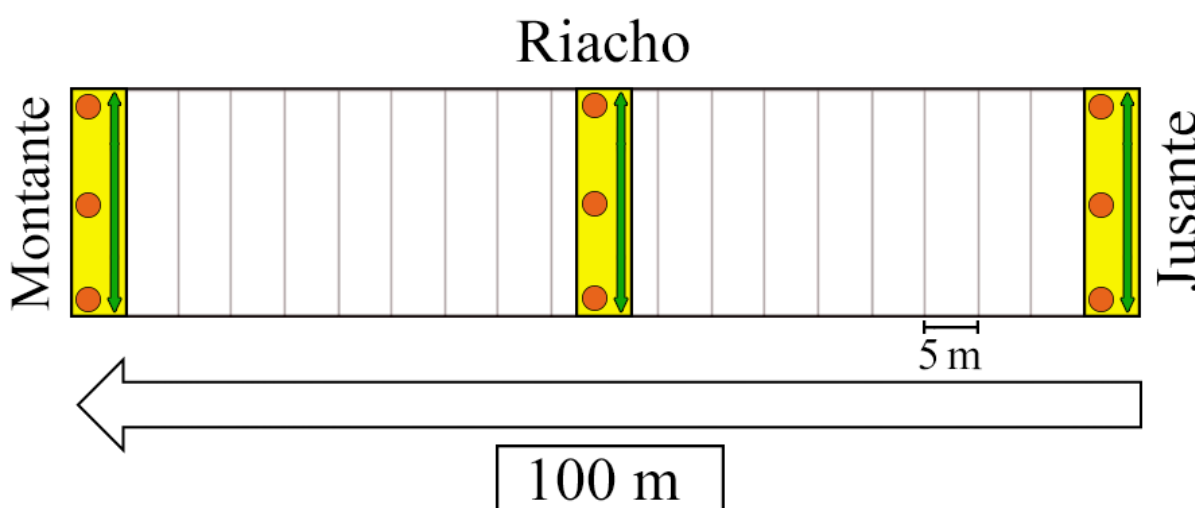


Fig. 2. Delineamento amostral. Unidade básica de amostragem com destaque para as três seções onde foram feitas as medições de variáveis ambientais. A seta verde representa a medição de largura do riacho, enquanto os círculos em laranja representam as medidas de cobertura de dossel da vegetação ripária adjacente e de profundidade do riacho.

2.3 Avaliação da integridade ambiental

Para determinar o gradiente de alteração ambiental das zonas ripárias, foram mensuradas em cada unidade amostral as variáveis cobertura de dossel da vegetação ripária adjacente ao canal, largura e profundidade do canal. A cobertura de dossel foi mensurada por meio de três fotos digitais (laterais esquerda, direita e centro – Fig. 2) a partir de câmera de celular (13 MP, 1.12 μm pixel, abertura de f/2.0) posicionada paralelamente ao fundo do canal, voltada a copa das árvores. As fotos foram analisadas para cada uma das seções através do cálculo da porcentagem de céu obstruído (pixels pretos) (Stewart et al., 2007), no aplicativo

CanopyApp (Universidade de New Hampshire, New Hampshire, EUA). A largura do canal foi determinada por meio do estiramento de uma trena de fibra de vidro de uma margem a outra em cada seção. Para a profundidade do canal, também foi utilizada a trena, marcando-se para cada uma das seções as profundidades laterais esquerda, direita e centro (Fig. 2) (Veras et al., 2020; Viana et al., 2020). Foi calculada a média de cada variável, utilizada como medida final para cada amostra. Essas características dos corpos d'água e da paisagem têm sido apontadas como preditores ambientais de destaque relacionados às comunidades de insetos aquáticos (Brasil et al., 2020), sendo métricas eficientes para testar as hipóteses deste estudo.

2.4 Coleta biológica, triagem e identificação

A coleta dos indivíduos adultos de Odonata ocorreu no sentido jusante-montante, por meio de varredura com rede entomológica em áreas fixas do riacho, com esforço de uma pessoa ao longo de uma hora em cada unidade amostral (Veras et al., 2020). Os espécimes foram coletados durante o período de pico de atividade dos Odonata adultos, que ocorre entre 10h00 e 14h00, quando estão mais ativamente engajados em forrageamento e defesa territorial (Pereira-Moura et al., 2021). Os indivíduos coletados foram colocados em envelopes de papel e imersos em acetona P.A. (Puro para Análise), por aproximadamente 12 horas para Zygoptera e 48 a 72 horas para Anisoptera, seguindo o protocolo de Lencioni (2006). Posteriormente, foram colocados em papel toalha para secagem por evaporação e armazenados em envelopes plásticos sobre papel cartão, para posterior identificação.

Os espécimes foram analisados sob estereomicroscópio e identificados com auxílio de chaves dicotômicas especializadas (Garrison et al., 2006; Garrison et al., 2010; Heckman, 2008, Lencioni, 2005; 2006) e auxílio de especialistas (DV). Após a identificação o material foi depositado na coleção do Laboratório de Ecologia de Comunidades do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) – Campus Caxias.

2.5 Atributos morfológicos funcionais

Foram consideradas cinco variáveis morfológicas com relevância para a ordem: comprimento total (CT), largura do tórax (LT), comprimento do abdômen (CA) (termorregulação), comprimento (CAA) e largura da asa (LAA) anterior (termorregulação e manobrabilidade de voo) (Brito et al., 2021; Pereira et al., 2019; De Marco et al., 2015). Esses atributos estão diretamente relacionados à capacidade de termorregulação e de dispersão da ordem, portanto, são excelentes indicadores de como as variáveis ambientais ou filtros ambientais podem afetar a distribuição das espécies (Resende et al., 2021). Para cada espécie,

foram utilizados cinco exemplares, buscando representar o maior número de riachos. Foram utilizados apenas exemplares machos para evitar o efeito de dimorfismo sexual (Bastos et al. 2021; Resende et al., 2021) sobre as variáveis morfológicas medidas. As medidas foram realizadas em milímetros através de um sistema de imagem digital acoplado a um estereomicroscópio. Para as espécies que tiveram apenas cinco indivíduos ou menos, todos os insetos coletados foram mensurados. Todas as medidas foram realizadas somente no lado direito do corpo, visando evitar problemas relativos à assimetria flutuante. Essa mesma metodologia de seleção de indivíduos e de mensuração de atributos já se mostrou eficiente para Odonata adultos da região neotropical (Oliveira-Júnior et al., 2019). Foi calculada a média de cada atributo (variável morfológica) por espécie, utilizada como medida final nas análises posteriores para cada uma das espécies amostradas.

2.6 Análise de dados

As variáveis morfológicas (atributos) não passaram por transformação, uma vez que estão na mesma unidade de medida (milímetros), enquanto as variáveis ambientais, por serem mensuradas em escalas diferentes, foram padronizadas pelo método do desvio padrão. A magnitude da variação foi quantificada para cada parâmetro ambiental e para cada traço através do coeficiente de variação ($CV = \text{desvio padrão} / \text{média}$). Para verificar a presença de multicolinearidade e eliminar as variáveis correlacionadas (valor superior a 10 e correlação superior a 70%), um fator de inflação de variância (VIF) e uma correlação de Spearman foram utilizadas (Pereira-Moura et al., 2021).

Usando a média de cada atributo funcional ponderada pela abundância relativa de cada espécie, foi feito o cálculo da média ponderada de cada traço da comunidade (Community Weighted Mean – CWM; CWM – CT, CWM – LT, CWM – CA, CWM – CAA e CWM – LAA), que representa a composição funcional da comunidade (“identidade funcional”) (Laliberté e Legendre, 2010). Para determinar a existência do efeito de um gradiente de alteração ambiental e sobre a estrutura funcional das assembleias de Odonata – 1ª hipótese – foram feitas regressões lineares simples utilizando as médias ponderadas de cada traço e os parâmetros ambientais.

Para avaliar as respostas dos atributos morfológicos das espécies aos gradientes ambientais – 2ª hipótese – foram realizados os testes RLQ (Dolédec et al., 1996) e Fourth-Corner (Legendre et al., 1997). A análise RLQ relaciona uma matriz de variáveis ambientais por locais (tabela R) a uma matriz de atributos funcionais das espécies (tabela Q), usando uma

matriz de espécies por locais (tabela L) como conectivo (Dray et al., 2014; Oldeland et al., 2012). Neste estudo a variância explicada em ordenações separadas das matrizes R, L e Q foi representada por análises de componentes principais (R e Q) e uma análise de correspondência (L). O teste Fourth-Corner por sua vez é uma medida da ligação entre as características (traços) das espécies e suas posições ao longo do gradiente ambiental, obtida por meio de uma Correlação de Pearson (Dray e Legendre, 2008).

Foi testada a significância global da relação entre os atributos funcionais e as variáveis ambientais usando um teste de Monte Carlo (9999 permutações). Foi considerado o modelo 6, que faz a combinação de dois testes de permutação para determinar a significância global da relação entre categorias de atributos e variáveis ambientais, através dos modelos 2 e 4. O primeiro (modelo 2 - Controle ambiental sobre as espécies) testa a hipótese nula de que “as assembleias de espécies são atribuídas aleatoriamente, independentemente das características ambientais do local” (Permutação por linhas – tanto as linhas da matriz ambiental quanto as linhas da matriz de espécies; modelo 2). O segundo (modelo 4) testa a hipótese nula de que “as espécies são distribuídas independentemente de suas características” (Permutação das espécies – linhas da matriz de atributos com as colunas da matriz de espécies) (Dray et al., 2014).

Todas as análises estatísticas foram desenvolvidas por meio do ambiente estatístico R 3.5.1. (R Development Core Team, 2015), utilizando os pacotes ade4 (Chessel et al., 2004), lmtest (Zeileis e Hothorn, 2002) e FD (Laliberté et al., 2014).

3. Resultados

Foram coletados 1.528 espécimes de Odonata adultos distribuídos em sete famílias, 30 gêneros e 74 espécies. A subordem Anisoptera contribuiu com 588 indivíduos (38,48%), distribuídos em duas famílias (Aeshnidae e Libellulidae) e 20 gêneros, com as espécies *Erythrodiplax fusca* (Rambur, 1842) e *Orthemis discolor* (Burmeister, 1839) sendo as mais abundantes. A subordem Zygoptera contribuiu com 940 indivíduos (61,52%), distribuídos em quatro famílias (Coenagrionidae, Lestidae, Perilestidae e Calopterygidae) e 10 gêneros, com as espécies *Epipleoneura metallica* Rácenis, 1960 e *Argia reclusa* Selys, 1865 sendo as mais abundantes (Tabela 1). A espécie *Hetaerina sanguinea* foi a mais frequente, ocorrendo em 21 riachos, seguida por *Acanthagrion aepiolum* (20), *A. reclusa* e *O. discolor* (19) (Tabela 1).

Tabela 1. Lista taxonômica das 74 espécies de Odonata adultos (A = Anisoptera; Z = Zygoptera) coletados em 50 riachos presentes nas regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, área de Cerrado, Brasil, com dados da distribuição das espécies nos riachos.

TAXA	Sigla	Abundância	Frequência
ANISOPTERA		588	0,96
Aeshnidae			
<i>Coryphaeschna adnexa</i> (Hagen, 1861)	A01	1	0,02
<i>Neuraeschna costalis</i> Burmeister, 1839	A02	2	0,02
Libellulidae			
<i>Anatya guttata</i> (Erichson in Schomburgk, 1848)	A03	1	0,02
<i>Dasythemis esmeralda</i> Ris, 1910	A04	1	0,02
<i>Dasythemis essequiba</i> Ris, 1919	A05	2	0,02
<i>Diastatops obscura</i> (Fabricius, 1775)	A06	22	0,18
<i>Dythemis</i> sp.	A07	1	0,02
<i>Dythemis sterilis</i> Hagen, 1861	A08	4	0,06
<i>Elasmothemis cannacrioides</i> (Calvert, 1906)	A09	3	0,06
<i>Elasmothemis williamsoni</i> (Ris, 1919)	A10	1	0,02
<i>Erythemis haematogastra</i> (Burmeister, 1839)	A11	2	0,02
<i>Erythemis peruviana</i> (Rambur, 1942)	A12	1	0,02
<i>Erythemis plebeja</i> (Burmeister, 1839)	A13	3	0,04
<i>Erythemis vesiculosa</i> (Fabricius, 1775)	A14	22	0,18
<i>Erythrodiplax basalis</i> (Kirby, 1897)	A15	45	0,34
<i>Erythrodiplax castanea</i> (Burmeister, 1839)	A16	6	0,08
<i>Erythrodiplax fusca</i> (Rambur, 1842)	A17	70	0,32
<i>Erythrodiplax latimaculata</i> (Ris, 1911)	A18	12	0,16
<i>Erythrodiplax leticia</i> Machado, 1996	A19	1	0,02
<i>Erythrodiplax melanica</i> (Borror, 1942)	A20	1	0,02
<i>Erythrodiplax ochracea</i> (Burmeister, 1839)	A21	11	0,06
<i>Erythrodiplax umbrata</i> (Linnaeus, 1758)	A22	37	0,2
<i>Gynothemis</i> sp.	A23	1	0,02
<i>Gynothemis pumila</i> (Karsch, 1890)	A24	1	0,02
<i>Macrothemis griseofrons</i> Calvert, 1909	A25	3	0,04
<i>Macrothemis inacuta</i> Calvert, 1898	A26	1	0,02
<i>Micrathyria artemis</i> Ris, 1911	A27	1	0,02
<i>Micrathyria hesperis</i> Ris, 1911	A28	5	0,06
<i>Micrathyria laevigata</i> Calvert, 1909	A29	2	0,04
<i>Micrathyria ocellata dentiens</i> Calvert, 1909	A30	2	0,02
<i>Micrathyria ocellata</i> Martin, 1897	A31	4	0,02
<i>Micrathyria pseudeximia</i> Westfall, 1992	A32	13	0,14
<i>Micrathyria romani</i> (Sjöstedt, 1918)	A33	31	0,08
<i>Micrathyria spuria</i> (Selys in Therese, 1900)	A34	1	0,02
<i>Nephepeltia flavifrons</i> (Karsch, 1889)	A35	1	0,02

<i>Oligoclada abbreviata</i> (Rambur, 1842)	A36	1	0,02
<i>Oligoclada xanthopleura</i> Borrer, 1931	A37	1	0,02
<i>Orthemis attenuata</i> (Erichson in Schomburgk, 1848)	A38	1	0,02
<i>Orthemis biolley</i> (Calvert, 1909)	A39	4	0,06
<i>Orthemis discolor</i> (Burmeister, 1839)	A40	65	0,38
<i>Pantala flavescens</i> (Fabricius, 1798)	A41	28	0,08
<i>Perithemis lais</i> (Perty, 1834)	A42	40	0,32
<i>Perithemis tenera</i> (Say, 1839)	A43	46	0,16
<i>Perithemis thais</i> Kirby, 1889	A44	2	0,02
<i>Tramea binotata</i> (Rambur, 1842)	A45	2	0,02
<i>Tramea cophysa</i> Hagen, 1867	A46	1	0,02
<i>Uracis imbuta</i> (Burmeister, 1839)	A47	30	0,18
<i>Zenithoptera lanei</i> (Santos, 1941)	A48	52	0,16
ZYGOPTERA		940	1

Calopterygidae

<i>Hetaerina auripennis</i> (Burmeister, 1839)	Z01	29	0,16
<i>Hetaerina curvicauda</i> Garrison, 1990	Z02	14	0,08
<i>Hetaerina dutati</i> Machado, 2017	Z03	6	0,04
<i>Hetaerina laesa</i> Hagen in Selys, 1853	Z04	9	0,1
<i>Hetaerina proxima</i> Selys, 1853	Z05	2	0,02
<i>Hetaerina rosea</i> Selys, 1853	Z06	6	0,1
<i>Hetaerina sanguinea</i> Selys, 1853	Z07	64	0,42

Coenagrionidae

<i>Acanthagrion aepiolum</i> Tennessen, 2004	Z08	96	0,4
<i>Acanthagrion chacoense</i> Calvert, 1909	Z09	54	0,28
<i>Acanthagrion cuyabae</i> Calvert, 1909	Z10	2	0,04
<i>Acanthagrion gracile</i> (Rambur, 1842)	Z11	39	0,3
<i>Argia hasemani</i> Calvert, 1909	Z12	33	0,16
<i>Argia indicatrix</i> Calvert, 1902	Z13	4	0,02
<i>Argia lilacina</i> Selys, 1865	Z14	40	0,06
<i>Argia reclusa</i> Selys, 1865	Z15	121	0,38
<i>Epipleoneura metallica</i> Rácenis, 1960	Z16	154	0,34
<i>Epipleoneura venezuelensis</i> Rácenis, 1955	Z17	26	0,08
<i>Epipleoneura westfalli</i> Machado, 1986	Z18	38	0,12
<i>Epipleoneura williamsoni</i> Santos, 1957	Z19	8	0,06
<i>Ischnura capreolus</i> (Hagen, 1861)	Z20	29	0,18
<i>Neoneura sylvatica</i> Hagen in Selys, 1886	Z21	89	0,3
<i>Telebasis filiola</i> (Perty, 1834)	Z22	4	0,06
<i>Telebasis griffinii</i> (Martin, 1896)	Z23	5	0,04
<i>Tigriagrion aurantinigrum</i> Calvert, 1909	Z24	23	0,16

Lestidae

<i>Lestes forficula</i> Rambur, 1842	Z25	1	0,02
Perilestidae			
<i>Perilestes solutus</i> Williamson & Williamson, 1924	Z26	44	0,14
Abundância Total		1528	
Abundância Mínima		1	
Abundância Máxima		154	
Riqueza Total		74	
Riqueza Média		7,96	
Riqueza Mínima por riacho		3	
Riqueza Máxima por riacho		13	

As variáveis ambientais acessadas nos riachos amostrados apresentaram grande variabilidade (Tabela 2), indicando que os locais contemplam uma ampla faixa do gradiente ambiental: cobertura de dossel ($48,97 \pm 20,58$ %), profundidade ($28,86 \pm 23,35$ mm) e largura ($325,30 \pm 159,88$ mm) (Tabela 2). Com relação aos atributos, a largura do tórax ($3,15 \pm 1,56$ mm), a largura da asa ($5,02 \pm 2,49$ mm) e o comprimento do abdômen ($25,30 \pm 9,40$ mm) apresentaram as maiores variações, enquanto o comprimento da asa ($24,71 \pm 9,03$ mm) e o comprimento total ($35,85 \pm 11,92$ mm) apresentaram as menores (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão dos parâmetros ambientais e traços analisados em 50 riachos das regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, domínio Cerrado, Brasil.

Variável	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação	Mínimo	Máximo
Dossel (%)	48,97	20,58	0,42	3,77	92,65
Profundidade (cm)	28,86	23,35	0,80	7,22	81
Largura (cm)	325,30	159,88	0,49	110,66	765
Traços	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação	Mínimo	Máximo
Comprimento total (mm)	35,85	11,92	0,33	17,8	86,9
Comprimento do abdômen (mm)	25,30	9,40	0,37	10,42	64,85
Largura do tórax (mm)	3,15	1,56	0,49	1,08	9,25
Comprimento da asa anterior (mm)	24,71	9,03	0,36	10,42	57,38
Largura da asa anterior (mm)	5,02	2,49	0,49	1,12	13,35

As assembleias de Odonata apresentaram, em média, indivíduos com menor largura da asa, do tórax, e comprimento da asa anterior em locais com uma maior cobertura de dossel. Foram observadas relações inversamente proporcionais entre as médias ponderadas de largura da asa anterior ($R^2 = 0,263$; $p < 0,005$; Fig. 3a), comprimento da asa anterior ($R^2 = 0,216$; $p < 0,005$; Fig. 3b) e largura do tórax ($R^2 = 0,285$; $p < 0,005$; Fig. 3c), com a cobertura de dossel.

Não foram observados efeitos significativos da cobertura de dossel sobre comprimento total e abdominal, assim como da largura e profundidade sobre os cinco traços analisados ($p > 0,05$; Tabela 3).

Tabela 3. Regressões simples entre as médias ponderadas (CWM) de cada traço e os parâmetros ambientais analisados em 50 riachos das regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, domínio Cerrado, Brasil. Os valores P em negrito são efeitos considerados significativos. CT = Comprimento total; CA = Comprimento abdominal; LT = Largura do tórax; CAA = Comprimento da asa anterior e LAA = Largura da asa anterior.

Regressões	R²	P-valor
Cobertura de dossel/CWM – CT	0,015	0,187
Cobertura de dossel/CWM – CA	-0,016	0,655
Cobertura de dossel/CWM – LT	0,285	3,83⁻⁰⁵
Cobertura de dossel/CWM – CAA	0,216	0,0003
Cobertura de dossel/CWM – LAA	0,263	8,13⁻⁰⁵
Profundidade/CWM – CT	0,050	0,063
Profundidade/CWM – CA	0,009	0,228
Profundidade/CWM – LT	0,042	0,081
Profundidade/CWM – CAA	0,061	0,052
Profundidade/CWM – LAA	0,036	0,098
Largura/CWM – CT	-0,016	0,659
Largura/CWM – CA	-0,014	0,583
Largura/CWM – LT	-0,020	0,998
Largura/CWM – CAA	-0,020	0,913
Largura/CWM – LAA	-0,019	0,821

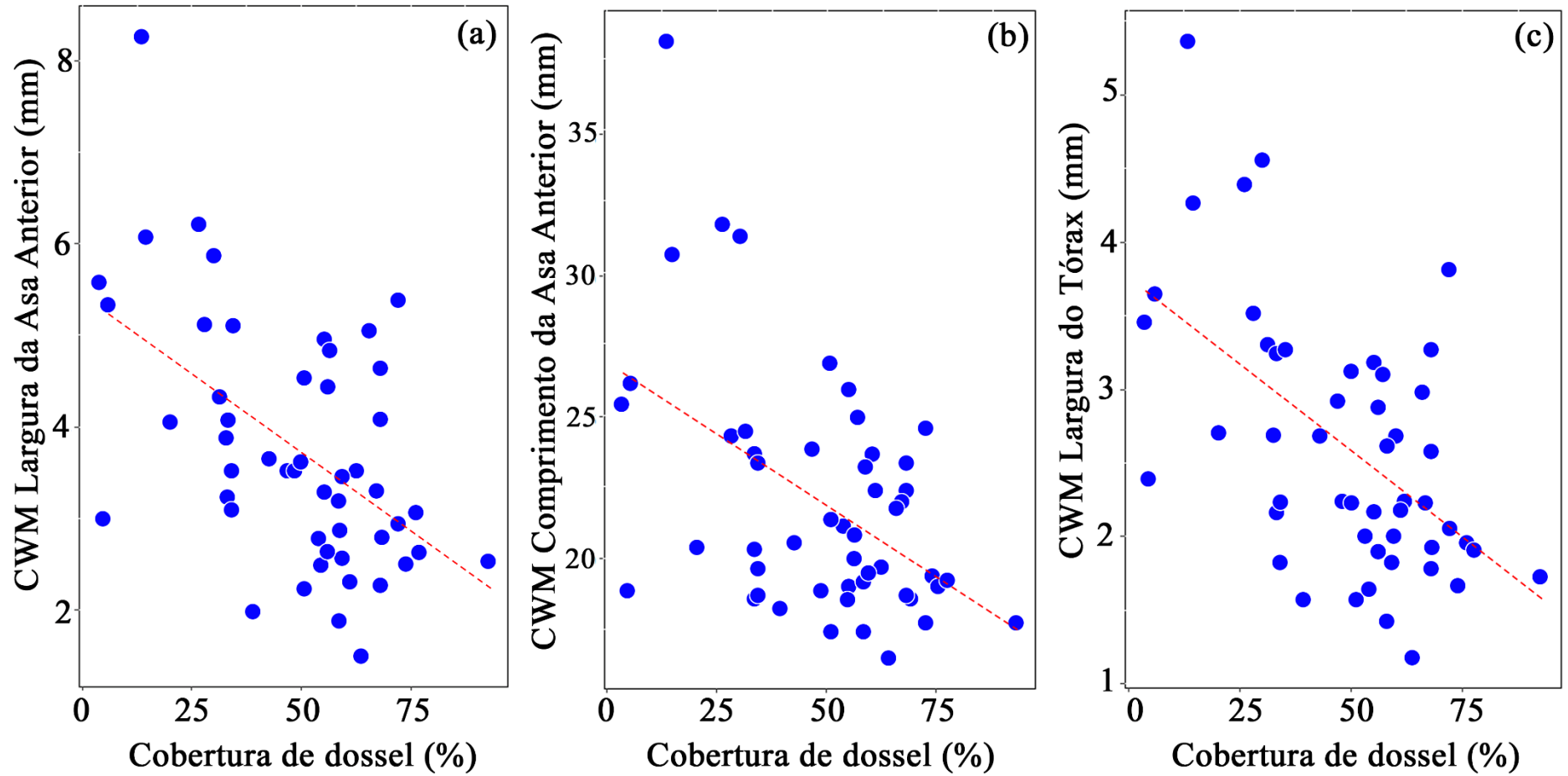


Fig. 3. Regressões lineares simples das relações entre médias ponderadas dos traços – CWM (mm) e cobertura de dossel (%) de 50 riachos das regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, domínio Cerrado, Brasil. (a) Largura da Asa Anterior; (b) Comprimento da Asa Anterior; (c) Largura do Tórax.

Ao analisarmos os traços funcionais em relação aos gradientes ambientais, considerando a identidade das espécies por local (RLQ), observamos que a construção do primeiro eixo esteve relacionada positivamente à cobertura de dossel e à profundidade do riacho, e negativamente aos traços largura do tórax, largura e comprimento da asa. Para o segundo eixo, os parâmetros profundidade e largura dos riachos contribuíram positivamente e os traços comprimento do abdômen e comprimento total negativamente (Fig. 4). Os dois primeiros eixos da RLQ explicaram 99,94% da inércia total (1º eixo = 98,19%; 2º eixo = 1,75%; Tabela 3; Fig. 4).

Tabela 4. Resumo dos resultados da RLQ testando relações entre variáveis ambientais e atributos funcionais em Odonata adultos de 50 riachos das regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, domínio Cerrado, Brasil. A tabela apresenta para o Eixo 1 e Eixo 2 os autovalores, a covariância, a porcentagem de co-inércia total, a razão de inércia e co-inércia para R (a matriz de variáveis ambientais), Q (a matriz de características das espécies) e correlação com a matriz L (espécies).

	Eixo 1	Eixo 2
Autovalores	0,267	0,004
Covariância	0,517	0,06
Contribuição para inércia total (%)	98,19	1,75
Inércia e co-inércia R (ambiente)	0,87	0,98
Inércia e co-inércia Q (atributos)	0,94	0,99
Correlação L (sp)	0,266	0,056

Houve uma divisão evidente entre as subordens Anisoptera (em azul) e Zygoptera (em vermelho) (Fig. 4b). A parte esquerda (negativa) do primeiro eixo RLQ identificou locais com dossel mais abertos (Fig. 4c) associados a espécies com maior comprimento da asa anterior (Fig. 4d), como *Coryphaeschna adnexa* (A01), *Neuraeschna costalis* (A02) e *Erythemis vesiculosa* (A14; Fig. 4b). O quadrante direito do eixo, destaca espécies associadas com asas anteriores mais estreitas, curtas, e com tórax mais estreitos (Fig. 4d) a maiores coberturas de dossel (Fig. 4c), como *Ischnura capreolus* (Z20), *Epipleoneura metallica* (Z16) e *E. williansoni* (Z19; Fig. 4b). O segundo eixo da RLQ se relacionou a locais com riachos mais largos e profundos (Fig. 4c). Estes habitats foram caracterizados por espécies com comprimento total e abdominal menores (e.g. *Perithemis lais* – A42, *Perithemis tenera* – A43, *Perithemis thais* – A44 e *Ischnura capreolus* – Z20; Fig. 4b e d).

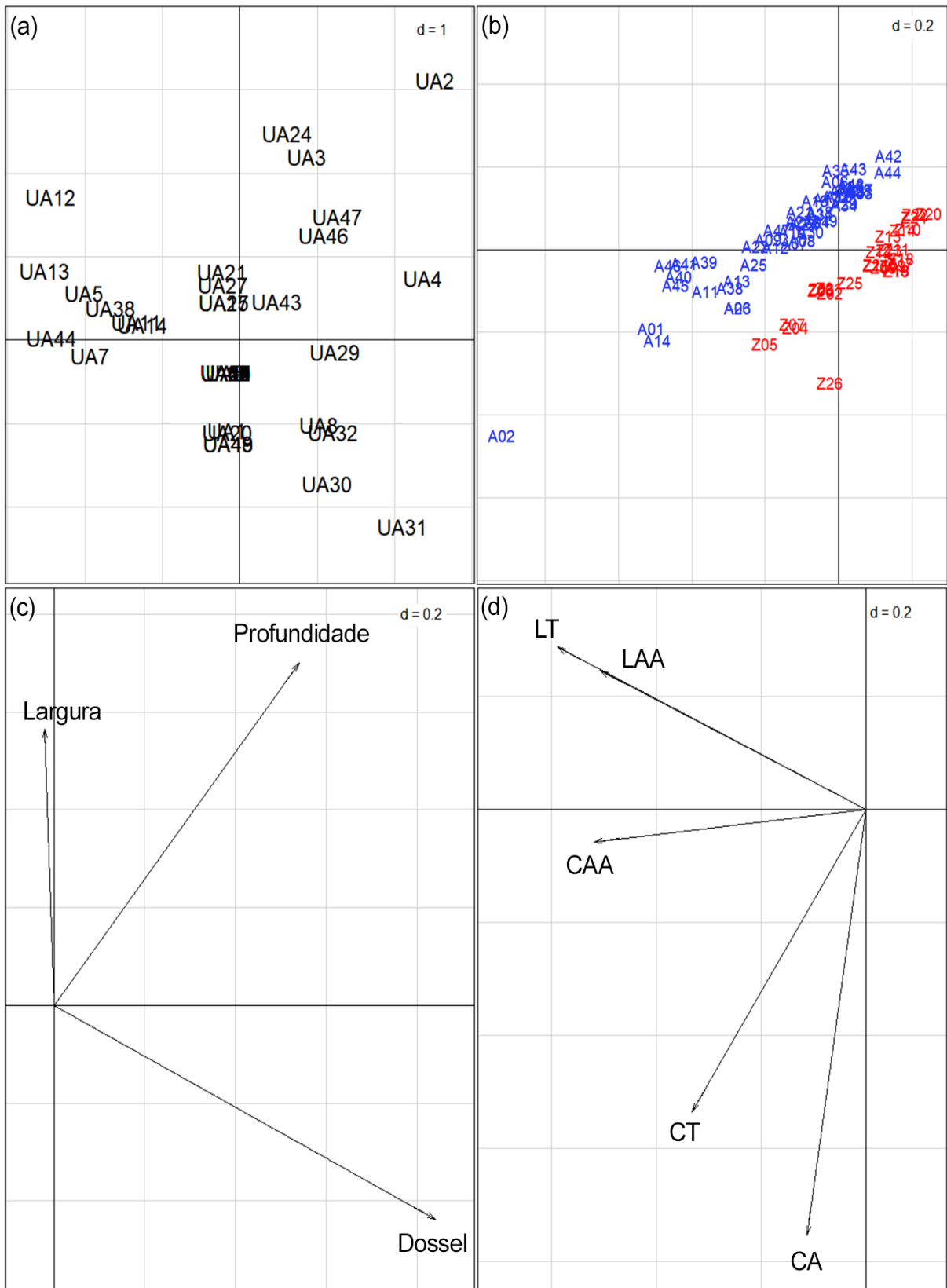


Fig. 4. Análise de RLQ definida pelos eixos 1 e 2 referente à Odonata adultos de 50 riachos das regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, domínio Cerrado, Brasil, mostrando (a) Locais amostrados; (b) Ordenação de espécies resultantes da interpretação simultânea de conjuntos de dados ambientais (R), abundância de espécies (L) e traços funcionais (Q) (Ver Tabela 1); (c) Ordenação de variáveis ambientais (setas); (d) Ordenação das características das espécies (setas), onde LT = Largura do tórax; LAA = Largura da asa anterior; CAA = Comprimento da asa

anterior; CT = Comprimento total; e CA = Comprimento abdominal. A cor azul destaca indivíduos pertencentes à subordem Anisoptera, vermelho à Zygoptera.

Considerando as características das espécies e suas posições ao longo do gradiente ambiental, foi constatado que quanto menor a cobertura de dossel, maior a largura da asa e do tórax, assim como o comprimento da asa anterior das espécies (Fig. 4; Quadro 1). Houve relação negativa entre a largura do tórax (p -valor ajustado = 0,029), largura da asa anterior (p -valor ajustado = 0,025) e comprimento da asa anterior (p -valor ajustado = 0,026) com a cobertura de dossel (Quadro 1). A relação global entre os traços funcionais das espécies e os parâmetros ambientais foi significativa para ambos os modelos de permutação 2 ($p = 0,002$) e 4 ($p = 0,003$) (análise de Monte Carlo) (Fig. S1).

	Dossel	Profundidade	Largura
CT	-0,150	-0,111	-0,015
CA	-0,043	-0,029	-0,032
LT	-0,287	-0,196	0,018
CAA	-0,257	-0,166	-0,002
LAA	-0,250	-0,180	0,023

Quadro.1. Resultados do modelo Fourth-Corner ajustado analisando as relações entre características de Odonata adultos e variáveis ambientais de 50 riachos das regiões leste do Maranhão e oeste do Piauí, domínio Cerrado, Brasil. As relações entre os traços funcionais e as variáveis ambientais foram analisadas usando a estatística D2. A cor azul indica uma correlação negativa significativa. CT = Comprimento total; CA = Comprimento abdominal; LT = Largura do tórax; CAA = Comprimento da asa anterior e LAA = Largura da asa anterior.

4. Discussão

Nossos resultados demonstraram que a identidade funcional da comunidade de Odonata responde à variação ambiental da vegetação ripária em pequenos riachos do Cerrado, confirmando nossa primeira hipótese. As áreas mais abertas ou com perda da vegetação ripária, apresentaram insetos maiores, corroborando nossa segunda hipótese para os traços relacionados ao voo. A cobertura da vegetação ripária adjacente aos riachos foi a única variável ambiental capaz de explicar as variações morfológicas observadas nos adultos de Odonata. Assim, constatamos que as modificações na vegetação ripária foram preditores da estrutura das

assembleias de Odonata mais importantes que as mudanças morfométricas dos corpos d'água (largura e profundidade do canal adjacente).

As espécies de Odonata das áreas que perderam mais cobertura arbórea apresentaram tamanhos de asas e tórax maiores. Este resultado está de acordo com o esperado pela Hipótese Ecofisiológica (De Marco et al., 2015; Veras et al., 2022) que prediz que espécies com asas e tórax menores, são mais abundantes em locais fechados com menor incidência de luz, e com o aumento dessa incidência, elas passam a ser substituídas por espécies que apresentam asas maiores e tórax mais largos. Isso pode ser explicado pela razão área/volume, levando em conta que com o aumento do tamanho, a superfície total do indivíduo é mais importante para determinar a eficiência relativa da troca de calor por convecção e irradiação (De Marco et al., 2015). Portanto, indivíduos maiores tendem a apresentar maior dependência dos raios solares para o aquecimento, o que ocasiona a migração para áreas com maior incidência de luz solar onde a vegetação é aberta ou foi suprimida.

Além disso, considerando o papel determinante das asas como instrumento de voo, seu tamanho e forma estão inteiramente associados à estabilidade e manobrabilidade do voo das Odonata. Locais com menor cobertura de dossel tendem a ser mais amplos, apresentam menos obstáculos provenientes da vegetação e possibilitam voos mais longos que exigem asas maiores, enquanto locais onde a vegetação possui dossel mais fechado e sub-bosque complexo fornecem maior quantidade de obstáculos, são observados mais indivíduos com asas mais estreitas e voos mais curtos (Pereira et al., 2019). Isso ocorre devido à resposta das espécies à pressão seletiva do ambiente, que promove a evolução e adaptação da forma da asa. Essa modificação sob tensão é benéfica para a existência e permanência das espécies em ambientes variados e para o desenvolvimento de um projeto de voo ideal para as condições locais (Stewart & Vodopich, 2018; Gibbs et al., 2011).

Espécies especialistas evoluem a partir de características adaptativas a condições ambientais muito específicas, que podem incluir temperatura, umidade, níveis de luz ou fontes alimentares (Pereira-Moura et al., 2023; Prakash, 2021). Conforme as alterações ambientais se intensificam, as comunidades tornam-se cada vez mais dominadas numericamente por espécies generalistas, e poucas espécies especialistas estão presentes, substituição esta que está relacionada a processos de adaptação e competição nos ecossistemas (Carvalho et al., 2022; Calvão et al., 2022). Isso se justificaria devido a diminuição do número de nichos disponíveis em um ecossistema extremo ou degradado, que faz com que as espécies generalistas – que podem tolerar uma gama mais ampla de condições – compitam com as espécies especialistas – que exigem condições específicas – pelos recursos restantes, o que pode contribuir ainda mais

para o domínio numérico dos generalistas. Esse padrão é recorrente nos biomas brasileiros (Oliveira-Júnior & Juen, 2019; Calvão et al., 2022; Ribeiro et al., 2021), demonstrando-se como uma ferramenta interessante para o monitoramento de alterações ambientais. O padrão observado em nosso estudo mostra que até pequenas alterações podem impactar sobre espécies sensíveis e não adaptáveis.

O conjunto de espécies acessadas neste estudo é comum para o Cerrado, no entanto, as espécies *Macrothemis griseofrons* e *M. inacuta* não eram esperadas por serem comumente encontradas na Caatinga e na Mata Atlântica (Bastos et al., 2019; Pereira-Moura et al., 2023; ICMBio, 2023). No entanto, a presença dessas espécies pode ser justificada pela proximidade geográfica desses biomas que fazem fronteira com a região de Cerrado amostrada. Além disso, muitas das espécies comuns no Cerrado encontradas em nosso estudo também podem ser encontradas em outros biomas brasileiros, indicando uma distribuição ampla (ICMBio, 2023). É importante ressaltar que algumas dessas espécies, principalmente de Anisoptera, foram coletadas em número limitado, com apenas um indivíduo registrado. Os insetos dessa subordem possuem voos rápidos e frequentemente se elevam a altitudes consideráveis (Minot et al., 2019).

As espécies *C. adnexa* e *E. vesiculosa* foram associadas a locais com dossel mais aberto, o que já é esperado de espécies que possuem asas e tórax mais largos (Pereira-Moura et al., 2023). Ferreira-Peruquetti e Fonseca-Gessner (2003) encontraram essas espécies em áreas dominadas por monocultura de cana-de-açúcar, porém elas já foram apontadas como sensíveis a estressores urbanos (Suárez-Tovar et al., 2021). As espécies do gênero *Perithemis*, por sua vez, são bastante comuns em locais mais abertos, favorecidos pela alta incidência solar uma vez que são eficientes na sua termorregulação, conferindo-lhes maior competitividade nesses ambientes (Rodrigues et al., 2019; Pereira-Moura et al., 2023). *I. capreolus* e *E. williansoni* estiveram associadas a riachos com alta cobertura de dossel, locais onde podem ser encontrados muitos poleiros ideais para espécies com asas estreitas e voos curtos (Dutra & Marco, 2015; Rodrigues et al., 2016; Gómez-Tolosa et al., 2020).

Muitas vezes, as respostas das comunidades biológicas associadas às interfaces aquático-terrestres não podem ser observadas a partir da riqueza e composição de espécies das assembleias (Pereira-Moura et al., 2023; Calvão et al., 2016). Mas, as variáveis morfológicas funcionais podem suprir esta lacuna ao fornecerem informações sobre características das comunidades diretamente associadas aos padrões de uso de recursos e à adaptação, estabelecendo limites para a gama de recursos que podem ser utilizados e moldando a curva de custo/benefício nas escolhas desses recursos (Pereira-Moura et al., 2023; Wainwright, 1996). Em nosso estudo, as variáveis mais relevantes em termos de variação e resposta foram a largura

do tórax, o comprimento e a largura da asa anterior. Esses traços morfológicos funcionais desempenham papéis importantes na termorregulação, manobrabilidade de voo e adaptação dos insetos, havendo registros de variação desses traços entre indivíduos das comunidades (Silva et al., 2021a; Pereira et al., 2019; Zaman et al., 2019; Grula et al., 2021). Compreender essa variação é crucial para entender a ecologia, evolução e conservação desses insetos, além de fornecer insights sobre seus mecanismos adaptativos.

Observamos que a morfometria dos corpos d'água não esteve associada aos traços funcionais para adultos de Odonata. Isto pode estar relacionado a lacunas na faixa de variação das variáveis ambientais medidas (Bastos et al., 2021). No entanto, é importante ressaltar que a largura e a profundidade dos corpos d'água podem ter um papel significativo quando se trata de larvas e adultos de alguns insetos que vivem dentro da água (Gimenez et al., 2017; Nicacio et al., 2020). A largura e a profundidade de um riacho estão interconectadas e afetam a paisagem, pois mudanças na largura podem alterar a dinâmica do fluxo de um córrego, influenciando a profundidade e a velocidade da água, por exemplo (Arif et al., 2021; Leal et al., 2022). Essas variações nos padrões de fluxo afetam a disponibilidade de habitats e recursos aquáticos, servindo como filtros da morfologia e influenciam a distribuição das espécies (Mangadze et al., 2019; Nicacio et al., 2020). As diferenças entre adultos de Odonata e outras espécies de insetos aquáticos podem estar relacionadas a diversos fatores como os estágios de desenvolvimento dos organismos, a especificidade das adaptações morfológicas e comportamentais, bem como as pressões seletivas às quais estão expostos.

Apesar das diferentes fitofisionomias observadas no Cerrado em relação ao bioma Amazônico, nossos resultados corroboram estudos realizados na Amazônia, que afirmam que mudanças ambientais, promotoras de maior entrada de luz e da redução na quantidade de obstáculos, favorecem espécies maiores de Odonata em riachos (Silva et al., 2021a; 2021b; Pereira et al., 2019). O Cerrado é um bioma naturalmente diversificado, contudo, o avanço agrícola vem provocando modificações na paisagem e na morfometria dos ecossistemas terrestres e aquáticos deixando-os mais simplificados e vulneráveis (Silva et al., 2019). Tais modificações representam importantes filtros ambientais que limitam o estabelecimento e manutenção de um conjunto de espécies com características ecológicas semelhantes, o que afeta sua capacidade de competir por um nicho específico (Sladeczek et al. 2021). Assim, ressaltamos que os insetos especialistas de matas ciliares e seus requisitos de nichos individuais precisam ser considerados no planejamento das estratégias de conservação e nas estratégias de manejo de zonas ripárias, por meio de monitoramento das assembleias e habitats nesses locais. Além disso, nota-se a importância da utilização de abordagens ecológicas considerando traços

morfológicos, uma vez que isso possibilita a identificação de características que podem estar relacionadas à resistência das espécies às perturbações ambientais, e portanto, mais sensíveis às variações ambientais que descritores biológicos como riqueza, diversidade e composição das comunidades.

5. Conclusões

Concluimos que as mudanças ambientais afetam a estrutura funcional das assembleias de Odonata adultos, uma vez que alteram gradientes e conseqüentemente limitam a variedade de espécies que podem permanecer em um local. As características da asa e do tórax são bons traços morfológicos indicadores para Odonata adultos e a cobertura da vegetação ripária adjacente foi mais importante que a estrutura do canal dos riachos na predição da identidade funcional das assembleias nesta região do Cerrado brasileiro.

REFERÊNCIAS

- Arif, M., Tahir, M., Jie, Z., Changxiao, L. 2021. Impacts of riparian width and stream channel width on ecological networks in main waterways and tributaries. *Science of the Total Environment* 792, 148457. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148457>
- Batista J.D., Ferreira V.R.S., Cabette H.S.R., 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248216>
- Bichsel, D., De Marco, P., Bispo, A. Â., Ilg, C., Dias-Silva, K., Vieira, T. B., Oertli, B. 2016. Water quality of rural ponds in the extensive agricultural landscape of the Cerrado (Brazil). *Limnology* 17, 239-246. <https://doi.org/10.1007/s10201-016-0478-7>
- Bastos, R. C., Brasil, L. S., Carvalho, F. G., Calvão, L. B., Silva, J. O. D. A., Juen, L. 2019. Odonata of the state of Maranhão, Brazil: Wallacean shortfall and priority areas for faunistic inventories. *Biota Neotropica* 19. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0734>
- Bastos, R. C., Brasil, L. S., Oliveira-Junior, J. M. B., Carvalho, F. G., Lennox, G. D., Barlow, J., Juen, L. 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107257>
- Brasil, L. S., Luiza-Andrade, A., Calvão, L. B., Dias-Silva, K., Faria, A. P. J., Shimano, Y., Juen, L. 2020. Aquatic insects and their environmental predictors: a scientometric study focused on environmental monitoring in lotic environmental. *Environmental monitoring and assessment*, 192, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8147-z>
- Calvão, L. B., Nogueira, D. S., de Assis Montag, L. F., Lopes, M. A., Juen, L. 2016. Are Odonata communities impacted by conventional or reduced impact logging?. *Forest Ecology and Management* 382, 143-150. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.013>
- Calvão, L. B., Siqueira, T., Faria, A. P. J., Paiva, C. K., Juen, L. 2022. Correlates of Odonata species composition in Amazonian streams depend on dissimilarity coefficient and oviposition strategy. *Ecological Entomology* 47(6), 998-1010. <https://doi.org/10.1111/een.13188>
- Carvalho, F. G., Duarte, L., Nakamura, G., Dubal dos Santos Seger, G., Juen, L. 2021. Changes of phylogenetic and taxonomic diversity of Odonata (Insecta) in response to land use in Amazonia. *Forests* 12(8), 1061. <https://doi.org/10.3390/f12081061>
- Chessel, D., Dufour, A.B., Thioulouse, J. 2004. The ade4 package-I-one-table methods. *R News* 4, 5-10.
- Corbet P.S. 1999. *Dragonflies: behaviour and ecology of Odonata*. Harley books.

- 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. <https://doi.org/10.1080/13887890.2008.9748320>
- Correia-Filho F.L., Gomes E.R., Nunes O.O., Lopes-Filho J.B. 2011. *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado do Maranhão*: relatório diagnóstico do município de Caxias. Beirut: CPRM.
- 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, 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123023>
- Dolédec S., Chessel D., Ter Braak C.J., Champely S. 1996. Matching species traits to environmental variables: a new three-table ordination method. *Environmental and Ecological Statistics* 3, 143-166. <https://doi.org/10.1007/bf02427859>
- Dray S., Choler P., Dolédec S., Peres-Neto P.R., Thuiller W., Pavoine S., Ter Braak C.J. 2014. Combining the fourth-corner and the RLQ methods for assessing trait responses to environmental variation. *Ecology* 95, 14-21. <https://doi.org/10.1890/13-0196.1>
- Dray S., Legendre P. 2008. Testing the species traits–environment relationships: the fourth-corner problem revisited. *Ecology* 89, 3400-3412. <https://doi.org/10.2307/27650916>
- Dutra, S., De Marco, P. 2015. Bionomic differences in odonates and their influence on the efficiency of indicator species of environmental quality. *Ecological indicators* 49, 132-142. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.09.016>
- Faria, A. P. J., Ligeiro, R., Calvão, L. B., Giam, X., Leibold, M. A., Juen, L. 2023. Land use types determine environmental heterogeneity and aquatic insect diversity in Amazonian streams. *Hydrobiologia*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05190-x>
- Ferreira-Peruquetti, P. S., Fonseca-Gessner, A. A. 2003. Comunidade de Odonata (Insecta) em áreas naturais de Cerrado e monocultura no nordeste do Estado de São Paulo, Brasil: relação entre o uso do solo e a riqueza faunística. *Revista Brasileira de Zoologia* 20, 219-224. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752003000200008>
- Garrison R.W., Von Ellenrieder N., Louton J.A. 2006. *Dragonfly genera of the new world: an illustrated and annotated key to the Anisoptera*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Garrison R.W., Von Ellenrieder N., Louton J.A. 2010. *Damselfly genera of the New World: an illustrated and annotated key to the Zygoptera*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.

Gibbs, M., Wiklund, C., Van Dyck, H. 2011. Phenotypic plasticity in butterfly morphology in response to weather conditions during development. *Journal of Zoology* 283(3), 162-168. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2010.00756.x>

Gómez-Tolosa, M., Rivera-Velázquez, G., Rioja-Paradela, T. M., Mendoza-Cuenca, L. F., Tejada-Cruz, C., López, S. 2021. The use of Odonata species for environmental assessment: a meta-analysis for the Neotropical region. *Environmental Science and Pollution Research* 28, 1381-1396. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11137-9>

Goulart M.D., Callisto M. 2003. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM* 2, 156-164.

Gruha, C. C., Rinehart, J. P., Greenlee, K. J., Bowsher, J. H. 2021. Body size allometry impacts flight-related morphology and metabolic rates in the solitary bee *Megachile rotundata*. *Journal of Insect Physiology* 133, 104275. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2021.104275>

Hamada, N.; Nessemian, J. L. Querino, R. B. 2014. *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. Manaus: Editora do INPA.

He T., Lamont B.B., Pausas J.G. 2019. Fire as a key driver of Earth's biodiversity. *Biological Reviews* 94, 1983-2010. <https://doi.org/10.1111/brv.12544>

Heckman C. 2008. *Encyclopedia of South American aquatic insects: Odonata – Anisoptera*. Olympia: Springer Science.

Heino J. 2013. The importance of metacommunity ecology for environmental assessment research in the freshwater realm. *Biological Reviews* 88, 166-178.

Hutchinson F. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology* 22, 415–427.

Keddy P.A. 1992 Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science* 3, 157-164. <https://doi.org/10.2307/3235676>

ICMBio, 2023. Sistema de Avaliação do Risco de Extinção da Biodiversidade – SALVE.

Junk, J. W., Piedade, M. T., Schöngart, J., Cohn-Haft, M., Adeney, J. M., Wittmann, F. 2011. A classification of major naturally-occurring amazonian lowland wetlands. *Wetlands* 31, 623-640.

Leal C.G., Lennox G.D., Ferraz S.F., Ferreira J., Gardner T.A., Thomson JR, Barlow J. 2020. Integrated terrestrial-freshwater planning doubles conservation of tropical aquatic species. *Science* 370, 117-121. <https://doi.org/10.1126/science.aba7580>

- Leal, M., Reis, E., Santos, P. P. 2022. Exploring spatial relationships between stream channel features, water depths and flow velocities during flash floods using HEC-GeoRAS and Geographic Information Systems. *Journal of Geographical Sciences* 32(4), 757-782. <https://doi.org/10.1007/s11442-022-1971-z>
- Laliberté, E., Legendre, P. 2010. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology*, 91, 299-305. <https://doi.org/10.1890/08-2244.1>
- Laliberté, E., Legendre, P., Shipley, B. 2014. FD: measuring functional diversity from multiple traits, and other tools for functional ecology. *R package version 1*, 0-12.
- Legendre P., Galzin R., Harmelin-Vivien M.L. 1997. Relating behavior to habitat: solutions to the fourth-corner problem. *Ecology* 78, 547-562. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1997\)078\[0547:rbthst\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[0547:rbthst]2.0.co;2)
- Lencioni F.A.A. 2005. *The damselflies of Brazil: an illustrated guide –The non Coenagrionidae families*. São Paulo: All Print Editora.
- Lencioni F.A.A. 2006. *The damselflies of Brazil: an illustrated guide - Coenagrionidae*. São Paulo: All Print Editora.
- Mangadze, T., Wasserman, R. J., Froneman, P. W., Dalu, T. 2019. Macroinvertebrate functional feeding group alterations in response to habitat degradation of headwater Austral streams. *Science of the Total Environment* 695, 133910. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133910>
- 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>
- Mendes T.P., Cabette H.S.R., Juen L. 2015. Setting boundaries: Environmental and spatial effects on Odonata larvae distribution (Insecta). *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 87, 239-248. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520130477>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.010>
- Minot, M., Le Gall, M., Husté, A. 2019. Biometry of the large dragonfly *Anax imperator* (Odonata: Aeshnidae): A study of traits from larval development to adults. *European Journal of Entomology* 116, 269-280. <https://doi.org/10.14411/eje.2019.031>
- Nicacio, G., Cunha, E. J., Hamada, N., Juen, L. 2020. How habitat filtering can affect taxonomic and functional composition of aquatic insect communities in small Amazonian

Streams. *Neotropical Entomology* 49(5), 652-661. <https://doi.org/10.1007/s13744-020-00780-z>

Oldeland, J., Wesuls, D., Jürgens, N. 2012. RLQ and fourth-corner analysis of plant species traits and spectral indices derived from HyMap and CHRIS-PROBA imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 33, 6459-6479. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.690082>

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(10), 322. <https://doi.org/10.3390/insects10100322>

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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.09.020>

Pereira-Moura L., De Sena W.S., Neiss U.G., Couceiro S.R.M. 2021. Environmental integrity as a modeler of the composition of the Odonata community. *Environmental Monitoring and Assessment* 193, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08957-8>

Pereira-Moura, L., Veras, D. S., de Carvalho, F. G., Juen, L., Couceiro, S. R. M. 2023. Habitat specificity and morphology-main filters for the distribution of Odonata in the Cerrado Maranhense, Brazil. *Aquatic Ecology* 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10452-023-10021-1>

Prakash, S. 2021. Impact of Climate change on Aquatic Ecosystem and its Biodiversity: An overview. *International Journal of Biological Innovations* 3(2). <https://doi.org/10.46505/IJBI.2021.3210>

Resende, B. O., Ferreira, V. R. S., Brasil, L. S., Calvão, L. B., Mendes, T. P., de Carvalho, F. G., ... Juen, L. 2021. Impact of environmental changes on the behavioral diversity of the Odonata (Insecta) in the Amazon. *Scientific Reports* 11(1), 9742. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88999-7>

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

Rodrigues, M. E., Moura, E. B., Roque, F. O. 2019. Dragonflies as indicators of the environmental conditions of veredas in a region of central-western Brazil. *Oecologia Australis* 23(4). <https://doi.org/10.4257/oeco.2019.2304.20>

Seidu I., Nsor C.A., Danquah E., Lancaster L. 2018. Odonata assemblages along an anthropogenic disturbance gradient in Ghana's Eastern Region. *Odonatologica* 47, 73-100. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1239947>

Silva, A. C., Oliveira, H. C., Conceição, G. 2019. Brioflora do Estado do Piauí: novos registros para a caatinga e cerrado. *Enciclopédia Biosfera* 16(29).

Silva, L. F., Castro, D. M., Juen, L., Callisto, M., Hughes, R. M., Hermes, M. G. 2021a. Functional responses of Odonata larvae to human disturbances in neotropical savanna headwater streams. *Ecological Indicators*, 133, 108367. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108367>

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

Sladeczek F.X.J., Zitek T., Konvicka M., Segar S.T. 2021. Evaluating the relative importance of habitat filtering and niche differentiation in shaping the food web of dung-inhabiting predators. *Acta Oecologica* 112, 103767. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2021.103767>

Suárez-Tovar, C. M., Castillo-Pérez, E. U., Sandoval-García, I. A., Schondube, J. E., Cano-Santana, Z., Córdoba-Aguilar, A. 2022. Resilient dragons: Exploring Odonata communities in an urbanization gradient. *Ecological Indicators* 141, 109134. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109134>

Suhling, F., Sahlén, G., Gorb, S., Kalkman, V. J., Dijkstra, K. D. B., Van Tol, J. 2015. Order odonata. *Thorp and Covich's freshwater invertebrates*, 893-932. Academic Press.

Stewart, S. S., Vodopich, D. S. 2018. Environmental effects on wing shape and wing size of *Argia sedula* (Odonata: Coenagrionidae). *International Journal of Odonatology* 21(3-4), 189-203. <https://doi.org/10.1080/13887890.2018.1523752>

Stewart, A. M., Edmisten, K. L., Wells, R., & Collins, G. D. 2007. Measuring canopy coverage with digital imaging. *Communications in soil science and plant analysis* 38(7-8), 895-902. <https://doi.org/10.1080/00103620701277718>

Strahler A. N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, section 4 – II, in Chow, Ven Te; Maidment, D. R; Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York.

Veras, D. S., Pinto, N. S., Calvão, L., Lustosa, G. S., de Azevêdo, C. A. S., Juen, L. 2022. Environmental thresholds of dragonflies and damselflies from a Cerrado-Caatinga ecotone. *Environmental Monitoring and Assessment* 194, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10310-6>

Veras D.S., Lustosa G.S., Moura L.P., Ferreira M.F.R., Juen L. 2020 Differences in land use modify Odonata assemblages in the Cerrado-Caatinga ecotone. *Acta Limnologica Brasiliensia* 32, e15. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X7119>

Veras D.S., Castro E.R., Lustosa G.S., Azevêdo C.A.S., Juen L. 2019. Evaluating the habitat integrity index as a potential surrogate for monitoring the water quality of streams in the cerrado-caatinga ecotone in northern Brazil. *Environmental monitoring and assessment* 191, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7667-x>

Viana C.G., Campos I.R., Lustosa G.S., Veras D.S. 2020. Environmental gradients as filters on the composition of aquatic insect of the Cerrado-Caatinga, Brazil. *Acta Brasiliensis* 4, 142-148. <https://doi.org/10.22571/2526-4338362>

Wainwright, P. C. 1996. Ecological explanation through functional morphology: the feeding biology of sunfishes. *Ecology* 77(5), 1336-1343.

Zaman, K., Hubert, M. K., Schoville, S. D. 2019. Testing the role of ecological selection on colour pattern variation in the butterfly *Parnassius clodius*. *Molecular Ecology* 28(23), 5086-5102. <https://doi.org/10.1111/mec.15279>

Zeileis, A., Hothorn, T. 2002. Diagnostic checking in regression relationships. *R News* 2, 7-10.

Apêndice A

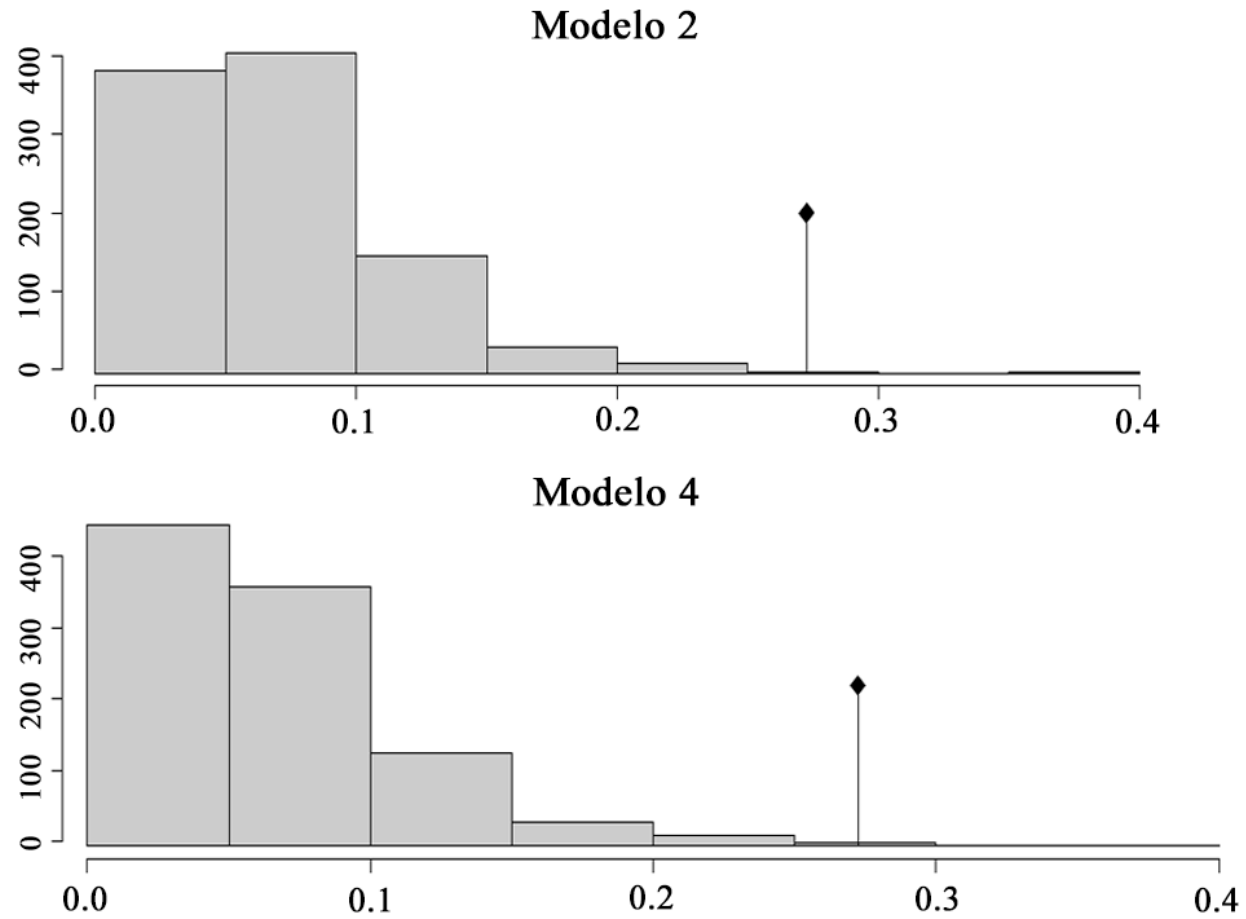
Tabela S1 - Lista dos riachos amostrados para fauna de Odonata adulto em domínio Cerrado.

Unidade amostral	Riacho	Coordenadas Geográficas		Município	Estado	Data
		S	W			
1	Puraque	-04.48265	-43.92106	Codó	MA	17/04/2021
2	Buriti Corrente	-04.75327	-43.66063	Caxias	MA	22/05/2021
3	Prata	-04.75467	-43.65358	Caxias	MA	01/07/2021
4	São José	-04.85482	-43.33951	Caxias	MA	26/04/2021
5	Pau D' Arco 1	-04.59561	-42.53226	José de Freitas	PI	15/05/2021
6	Pau D' Arco 2	-04.604083	-42.562083	José de Freitas	PI	15/05/2021
7	Simpatia	-04.69934	-42.56801	José de Freitas	PI	16/05/2021
8	Olho D' Agua	-04.62743	-42.57833	José de Freitas	PI	16/05/2021
9	Cocos 1	-04.63907	-42.56931	José de Freitas	PI	16/05/2021
10	Tucuns	-04.62130	-42.41193	José de Freitas	PI	30/05/2021
11	Nova Olinda 1	-04.68921	-42.48825	José de Freitas	PI	30/05/2021
12	Nova Olinda 2	-04.69902	-42.43085	José de Freitas	PI	31/05/2021
13	Cipó	-04.72867	-42.53061	José de Freitas	PI	31/05/2021
14	Urbano	-04.75931	-42.58039	José de Freitas	PI	31/05/2021
15	Gusmão	-04.73907	-42.5648	José de Freitas	PI	31/05/2021
16	Formosa	-04.59834	-42.69666	União	PI	05/06/2021
17	Canto	-04.63132	-42.69597	União	PI	05/06/2021
18	Saco	-04.67051	-42.67900	José de Freitas	PI	06/06/2021
19	Barbosa	-04.67119	-42.66957	José de Freitas	PI	06/06/2021
20	Contente	-04.76988	-42.54811	José de Freitas	PI	20/06/2021
21	Limpeza	-04.7122	-42.5586	Caxias	MA	01/07/2021
22	Mocambo	-04.74716	-43.02290	Caxias	MA	02/07/2021
23	Lava-pé	-05.1000	-43.4222	Caxias	MA	02/07/2021
24	Barros	-05.16014	-42.83223	Timon	MA	03/07/2021

25	Capivara	-04.81646	-42.64155	José de Freitas	PI	03/07/2021
26	Açucena	-04.5838	-42.5076	José de Freitas	PI	03/07/2021
27	Cocos 2	-04.70397	-42.73571	União	PI	04/07/2021
28	Sanharó	-04.86759	-43.38900	Caxias	MA	08/09/2021
29	Riachão	-05.1719	-43.4239	Caxias	MA	10/09/2021
30	Água Sumida	-04.96874	-43.07086	Caxias	MA	11/09/2021
31	Caititu	-04.979751	-43.060439	Caxias	MA	11/09/2021
32	Seixos	-04.89483	-43.33678	Caxias	MA	12/09/2021
33	Lamego	-04.81764	-43.34323	Caxias	MA	15/09/2021
34	Primavera	-04.84236	-43.49147	Caxias	MA	15/09/2021
35	Pratinha	-04.58298	-43.86430	Codó	MA	19/09/2021
36	Bacabinha	-04.56064	-43.83158	Codó	MA	19/09/2021
37	Roncador	-04.51909	-43.81866	Codó	MA	18/09/2021
38	Sucuri	-04.49852	-43.85013	Codó	MA	18/09/2021
39	São José 2	-04.47954	-43.87477	Codó	MA	18/09/2021
40	Ponte	-04.88202	-43.37305	Caxias	MA	04/11/2021
41	Planalçucar	-04.90666	-43.36250	Caxias	MA	02/11/2021
42	Itapecuruzinho	-04.89681	-43.34917	Caxias	MA	03/11/2021
43	Barragem	-04.91611	-43.13459	Caxias	MA	03/11/2021
44	Vila Arias	-04.84525	-43.35923	Caxias	MA	15/12/2021
45	Correntinho	-04.82666	-43.3694	Caxias	MA	15/12/2021
46	Buriti do Meio	-04.90948	-43.11671	Caxias	MA	16/12/2021
47	Pedras	-04.98263	-43.61303	São João do Sóter	MA	23/01/2022
48	Batalha	-04.78644	-43.12486	Caxias	MA	04/09/2021
49	BR	-04.78717	-43.58360	Caxias	MA	29/05/2021
50	Cajazeiras	-05.1757	-43.43078	Caxias	MA	02/12/2021

Apêndice B

Fig. S1 – Permutações do modelo 2 (permutação de amostras) e modelo 4 (permutação de espécies), que juntas correspondem ao modelo 6 (conforme Dray et al 2014).



Comentários à coordenação do PPGBEES:

A Dissertação apresenta alta qualidade, demonstra amadurecimento da discente, e certamente vai gerar um produto publicável em uma boa revista científica.

Pontos positivos:

- Tema de interesse amplo.
- Texto muito bem escrito em termos de gramática e linguagem em geral.
- Dissertação muito caprichada de forma geral, incluindo as figuras (que estão muito boas).
- Dados robustos e de grande qualidade.

Pontos negativos:

- A Introdução Geral apresenta vários pontos importantes e relacionados ao estudo. Entretanto, particularmente a parte mais metodológica está muito superficial, carecendo detalhamento. Esse detalhamento aparece depois, no capítulo. Então, pergunto se é necessário incluir esses pontos metodológicos na Introdução Geral. Não me parece a melhor estratégia.
- É importante melhorar o encadeamento lógico das ideias na Introdução. É desejável trabalhar melhor na estrutura geral da Introdução, buscando ir de temas mais amplos para mais específicos (estrutura de triângulo invertido), além de fazer ligações mais precisas entre os parágrafos (eles estão soando muito "independentes" um em relação ao outro). Além disso, alguns pontos precisam ser melhor contextualizados para que o leitor compreenda como chegou aos objetivos e hipóteses.
- Falta detalhamento e justificativas metodológicas em alguns pontos. Isso vai se refletir em algumas dúvidas do leitor quanto à interpretação dos resultados.

Deixei uma série de comentários específicos diretamente no texto da dissertação (anexo).

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado**I - Aprovada (X)**

Aprovada: indica que o revisor aprova a dissertação sem ou com correções. Na existência de correções, estas devem ser indicadas nos comentários à coordenação e/ou no próprio documento da dissertação.

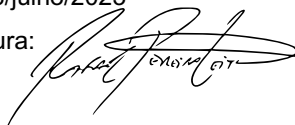
IV - Reprovada ()

Reprovada: indica que a dissertação não é adequada.

Nome do membro da banca: RAFAEL PEREIRA LEITÃO

Data: 18/julho/2023

Assinatura:



Art. 65. Após a apresentação da dissertação em sessão pública, o discente terá até 60 dias corridos para entregar a versão final da dissertação, contendo a ficha catalográfica, conforme artigo 60 deste regimento, sob pena de não diplomação até que a versão final seja devidamente submetida no Sistema de Gestão de Atividades Acadêmicas.

Comentários à coordenação do PPGBEES:

A dissertação tem um bom potencial de gerar artigo publicável em boa revista. Deixei no texto algumas sugestões, mas coisas bem pontuais, o que não gera a necessidade de releitura após as correções.

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado

I - Aprovada (x)

Aprovada: indica que o revisor aprova a dissertação sem ou com correções. Na existência de correções, estas devem ser indicadas nos comentários à coordenação e/ou no próprio documento da dissertação.

IV - Reprovada ()

Reprovada: indica que a dissertação não é adequada.

Nome do membro da banca: Karina Dias da Silva

Data: 22/06/2023

Assinatura:



Art. 65. Após a apresentação da dissertação em sessão pública, o discente terá até 60 dias corridos para entregar a versão final da dissertação, contendo a ficha catalográfica, conforme artigo 60 deste regimento, sob pena de não diplomação até que a versão final seja devidamente submetida no Sistema de Gestão de Atividades Acadêmicas.

Comentários à coordenação do PPGBEES:

A dissertação está bem escrita e apresenta todos os atributos para aprovação. Encaminho junto com este formulário a tese com comentários e sugestões que podem ser aproveitados pela estudante. Minha intenção com esta avaliação é na perspectiva de contribuir na publicação da estudante em uma revista de bom impacto, o qual considero muito plausível pela qualidade do trabalho realizado. Aproveito para deixar os parabéns para estudante e sua orientadora pelo nível do trabalho apresentado.

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado

I - Aprovada (X)

Aprovada: indica que o revisor aprova a dissertação sem ou com correções. Na existência de correções, estas devem ser indicadas nos comentários à coordenação e/ou no próprio documento da dissertação.

IV - Reprovada ()

Reprovada: indica que a dissertação não é adequada.

Nome do membro da banca: José Francisco Gonçalves Júnior

Data: 21/06/2023

Assinatura:



Comentários à coordenação do PPGBEES:

A dissertação em referência possui 52 páginas e encontra-se organizada em introdução geral e capítulo único (este com introdução, material e métodos, resultados, discussão, conclusões, referências e apêndices), através do qual a mestranda apresenta, com clareza e rigor acadêmico, relação entre um gradiente de variação ambiental e a estrutura funcional das assembleias de Odonata adultos em zonas ripárias no Cerrado.

No geral, o esforço despendido na dissertação da mestranda Carolina Gomes Viana é de grande relevância para entender os padrões de distribuição de Odonata, sob influência de variação ambiental e, provavelmente, com qualidade suficiente para se configurar como dissertação de potencial para publicação. A introdução é clara, no qual a revisão da literatura ajuda a preparar o terreno para o resto do artigo. Os métodos são completos e bem documentados. Os resultados foram apresentados de forma clara e bem documentado. A discussão mescla a pesquisa com o corpo da literatura aspectos ecológicos/biológicos de Odonata e variações ambientais. Em todo o conteúdo a argumentação da mestranda revela experiência com estrutura funcional da ordem estudada.

Desta forma, sou de parecer favorável à aprovação da dissertação de mestrado de Carolina Gomes Viana, "Atributos funcionais de Odonata adultos associados a mudanças na vegetação ripária de riachos de cerrado".

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado**I - Aprovada (x)**

Aprovada: indica que o revisor aprova a dissertação sem ou com correções. Na existência de correções, estas devem ser indicadas nos comentários à coordenação e/ou no próprio documento da dissertação.

IV - Reprovada ()

Reprovada: indica que a dissertação não é adequada.

Nome do membro da banca: José Max Barbosa de Oliveira Junior

Data: 30/06/2023

Assinatura:



Documento assinado digitalmente
JOSE MAX BARBOSA DE OLIVEIRA JUNIOR
Data: 04/07/2023 17:20:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>