



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
NÚCLEO DE ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA

**SUELLEN FURTADO VINAGRE**

**SELEÇÃO DE MICRO-HABITAT E PADRÕES DE TERMORREGULAÇÃO DE  
LIBÉLULAS (INSECTA: ODONATA) EM IGARAPÉS AMAZÔNICOS**

BELÉM-PA

2023

SUELLEN FURTADO VINAGRE

**SELEÇÃO DE MICRO-HABITAT E PADRÕES DE TERMORREGULAÇÃO DE  
LIBÉLULAS (INSECTA: ODONATA) EM IGARAPÉS AMAZÔNICOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Ecologia Aquática e Pesca.

**Orientador:** Prof. Dr. Leandro Juen

**Co-orientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dra. Lenize Batista  
Calvão Santos

BELÉM-PA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBDSistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- 
- V766s Vinagre, Suellen Furtado.  
Seleção de microhabitat e padrões de termorregulação de libélulas (Insecta: Odonata) em igarapés amazônicos / Suellen Furtado Vinagre. — 2023.  
64 f. : il. color.
- Orientador (a): Prof. Dr. Leandro Juen  
Coorientação: Profª. Dra. Lenize Batista Calvão Santos  
(Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca, Belém, 2023.
1. Ecofisiologia. 2. Conservação. 3. Anisoptera. 4. Zygoptera. 5. Termorregulação. I. Título.

CDD 577.609811

---

SUELLEN URTADO VINAGRE

**SELEÇÃO DE MICRO-HABITAT E PADRÕES DE TERMORREGULAÇÃO DE  
LIBÉLULAS (INSECTA: ODONATA) EM IGARAPÉS AMAZÔNICOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca da  
Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Ecologia  
Aquática e Pesca, pela comissão julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO EXAMINADORA

---

**Dr. Leandro Juen**

Instituto de Ciências Biológicas, ICB/UFPA (Presidente/Orientador)

---

**Dr. Rhainer Guillermo Nascimento Ferreira**

Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação, ICENE/UFTM (Titular/Membro Externo)

---

**Dr. Leandro Schlemmer Brasil**

Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, ICS/UFMG (Titular/Membro Interno)

---

**Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior**

Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, ICTA/UFOPA (Titular/Membro Externo)

---

**Dr. Luciano Fogaça de Assis Montag**

Instituto de Ciências Biológicas, ICB/UFPA (Suplente/ Membro Interno)

---

**Dr. Fernando Geraldo de Carvalho**

Instituto de Ciências Biológicas, ICB/UFPA (Suplente/ Membro Externo)

BELÉM-PA

2023

## APOIO LOGÍSTICO E FINANCEIRO



## DEDICATÓRIA

Dedico esta pesquisa aos meus pais, meus maiores e melhores orientadores na vida. Aos meus avós Sebastião, Domingas e Orlando e Veriana (in memoriam), minhas grandes inspirações. Aos meus irmãos (Swany e Saymo) pelo incondicional apoio. E ao grande amigo Edson Khawage (in memoriam).

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a várias pessoas que foram de suma importância nessa jornada acadêmica:

Primeiramente aos meus maiores e melhores orientadores da vida: meus pais, que apesar de todas as dificuldades foram fundamentais em minha trajetória acadêmica. Recordo-me das palavras repletas de sabedoria que o meu pai, **Benedito**, ribeirinho e de ensino fundamental incompleto, disse durante minha infância: “Minha filha, podem tirar tudo de você, mas o conhecimento ninguém tira. Nem eu”. E minha mãe, **Ana Maria**, que mostrou o valor da busca pelo conhecimento: dividindo o mesmo uniforme com a irmã, para concluir o ensino médio. E com esta mesma disposição investiu em nossa educação.

Aos meus avós paternos, **Sebastião** e **Domingas** e aos maternos **Orlando** e **Maria Veriana** (In Memoriam), meus exemplos de superação. A vivacidade, a coragem e a fé para suplantar as mais difíceis adversidades da vida com alegria, constituem a minha inesgotável e eterna fonte de inspiração. Embora tenham sido privados do direito a educação, por diversas razões, o desejo imortal pelo conhecimento acadêmico se estendeu por gerações e se materializa em seus netos.

Aos meus irmãos, **Swany** e **Saymo**, pelo incondicional apoio e incentivo nas horas difíceis e de desânimo. A disposição em prestar assistência mesmo ao custo de uma noite mal dormida é sem medida.

E a todos os demais familiares pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida, transmitindo a tranquilidade e a paz necessárias durante os impasses.

Agradeço especialmente ao meu Mestre da vida, Dr. **Daisaku Ikeda**, presidente da Soka Gakkai Internacional (Sociedade de Criação de Valores Humanos). Seus incentivos repletos de compaixão e sabedoria, alimentados pela sua crença no infinito potencial humano, me ajudaram a jamais desistir dos meus objetivos.

À **Universidade Federal do Pará** e ao **Programa de Pós Graduação em Ecologia Aquática e Pesca**, pela oportunidade de fazer o curso. A **CAPES** pela bolsa concedida. Ao **BRC Consortium - Hydro** pelo apoio financeiro e logístico. E a todos os professores pela elevada qualidade do ensino oferecido.

Meus agradecimentos aos professores **Leandro Juen** e **Lenize Batista Calvão Santos** por me iniciarem no caminho da Ecologia. E pela orientação, apoio, confiança e tempo dedicados, além de serem as pessoas primordiais na construção dessa pesquisa.

Ao Dr. **Alex Córdoba-Aguilar** pelas sugestões de melhoria na redação do projeto, pelo acolhimento, pelas conversas e pela sabedoria repassada.

Aos avaliadores desse trabalho pelas contribuições: Dr. **Nelson Pinto**, Dr. **Leandro Brasil**, Dr. **José Max Barbosa de Oliveira Junior**, Dr. **Rhainer Guillermo Nascimento Ferreira**.

Também agradeço aos colegas do Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO) por todo apoio, paciência e tempo dedicados a este projeto. Pois sempre me ajudaram com suas vastas experiências desde o início desta pesquisa. Em especial a **Erival Prata**, que nos momentos cruciais auxiliou-me a despertar as habilidades necessárias para a elaboração do projeto. Além de contribuir com vários aspectos do trabalho, desde a escrita até a confecção das ilustrações e apresentação oral. A **Gabriel Martins** a quem sou imensamente grata pelas dúvidas esclarecidas e por subsidiar na elaboração gráfica. Ao **Joás Brito** que ofereceu dicas e soluções valiosas de estatística. À **Emmy Medina Espinoza**, pelas ricas discussões sobre os mais variados assuntos dentro e fora do campo de pesquisa, e pela amizade. A **Cristian Camilo Mendoza** pela ajuda na formulação desta dissertação e parcerias afins. E a **Ana Victória**, que me instruiu sobre a arte computacional e a importância de produzir um conhecimento acessível a todas as pessoas.

Ao **Jair**, parceiro de laboratório e projetos afins, obrigada por todo apoio ao longo destes dois anos, pelo companheirismo, conversas depois do almoço e por ter me alegrado inúmeras vezes.

Aos meus colegas da universidade que nos momentos de desespero nos incentivávamos mutuamente, **Izabela**, **Hana** e **Jacy**, obrigada pela compreensão, por terem sempre escutado os meus lamentos e pelas risadas, as quais foram fundamentais para tornar tudo mais leve.

A todos aqueles que não foram mencionados aqui, mas que direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho fosse realizado, o meu muito obrigada!

“Há um ditado havaiano que diz: ‘Sem chuva, não há arco-íris’, Arco-íris é sinal de esperança, pois representa a esperança de não ser derrotado pela chuva ou tempestade.”

Daisaku Ikeda

**Sumário**

Resumo .....	13
Abstract.....	14
1. Introdução.....	16
2. Material e Métodos.....	20
2.1. Área de estudo .....	20
2.2. Amostragem biológica.....	21
2.3. Registro da temperatura do tórax e da temperatura do ar .....	23
2.4. Registro de dados ambientais.....	23
2.5. Coleta de dados morfológicos .....	24
2.6. Análise de dados .....	26
3. Resultados .....	27
3.1. Descrição da comunidade e classificação das categorias de termorregulação .....	27
3.2. Temperatura do tórax versus categorias de termorregulação.....	32
3.3. Regulação térmica versus Fatores ambientais.....	34
3.4. Regulação térmica versus Fatores morfológicos .....	35
4. Discussão.....	42
5. Referências .....	48
Material suplementar .....	56

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Ilustração das hipóteses.....	20
<b>Figura 2.</b> Rede de drenagem e distribuição dos 18 igarapés (trechos de 150 m) amostrados na Amazônia Oriental, Paragominas, PA, Brasil, 2017..	21
<b>Figura 3.</b> Representação do protocolo de varredura em áreas fixas. ....	22
<b>Figura 4.</b> Medidas de cobertura de dossel da vegetação: na margem direita (MD), margem esquerda (ME), centro direita (CD), centro montante (CM), centro esquerda (CE) e centro jusante (CJ).....	24
<b>Figura 5.</b> Métricas morfológicas mensuradas em laboratório: comprimento do tórax (CT); altura do tórax (AT); largura do tórax (LT), comprimento total do corpo (CTC) e comprimento do abdômen (CA).....	25
<b>Figura 6.</b> Resultados do Modelo Misto Linear Geral (GLMM), descrevendo a relação das categorias de termorregulação (heliotérmicos e termoconformadores) com a média de temperatura do tórax de 20 espécies da ordem Odonata coletadas em 18 igarapés no município de Paragominas-Pa, Brasil, na Amzônia Oriental. ....	33
<b>Figura 7.</b> Resultados do Modelo Linear Geral (GLM) da relação entre a Cobertura do dossel e a Temperatura do ar com a Temperatura do tórax ( $T_{to}$ ) e a diferença entre a temperatura do tórax e a Temperatura do ar ( $T_{to}-T_a$ ) da ordem Odonata. ....	35
<b>Figura 8.</b> Representação do espaço morfológico da Análise de Componentes Principais de nove dimensões - AT: Altura do tórax; LT: Largura do tórax, CT: Comprimento do tórax, CTC: Comprimento total do corpo; CRT: Comprimento relativo do tórax, VT: Volume do tórax, VRT: Volume relativo do tórax; CA: Comprimento do abdômen; CRA: Comprimento relativo do abdômen - de 20 espécies de Odonata projetadas no plano medido por seus dois componentes principais. ....	36
<b>Figura 9.</b> Resultados do Modelo Linear Geral (GLM) mostrando a relação entre: (a) e (b) o Volume relativo do tórax ( $VRT= \text{Volume do tórax}/\text{Comprimento total do corpo}$ ), (c) e (d) o Volume do tórax ( $VT= \text{Altura do tórax} \times \text{Largura do tórax} \times \text{Comprimento do tórax}$ ), (e) e (f) o Comprimento relativo do tórax ( $CRT= \text{Comprimento do tórax}/\text{Comprimento total do corpo}$ ), (g) e (h) o Comprimento relativo do abdômen ( $CRA= \text{Comprimento do abdômen}/\text{Comprimento total do corpo}$ ) da ordem Odotana com a temperatura do tórax ( $T_{to}$ ) e a diferença entre a temperatura do tórax e a temperatura do ar ( $T_{to}-T_a$ ).....	39
<b>Figura 10.</b> Resultados do Modelo Linear Geral (GLM) mostrando a relação entre o Volume relativo do tórax ( $VRT= \text{Volume do tórax}/\text{Comprimento total do corpo}$ ), o Volume do tórax	

( $VT = \text{Altura do tórax} \times \text{Largura do tórax} \times \text{Comprimento do tórax}$ ), o Comprimento do tórax (CRT), o Comprimento relativo do abdômen (CRA) e o Comprimento relativo do abdômen ( $\text{CRA} = \text{Comprimento do abdômen} / \text{Comprimento total do corpo}$ ) da ordem Odonata com a temperatura do tórax ( $T_{to}$ ) e a diferença entre a temperatura do tórax e a temperatura do ar ( $T_{to} - T_a$ ).....41

### Lista de tabelas

<b>Tabela 1.</b> Lista de espécies de Odonata capturadas em 18 igarapés no município de Paragominas-Pará, Amazônia Oriental, em julho de 2017. Suas respectivas abundâncias, código, pontos de coleta, luminosidade em que se encontravam e suas respectivas classificações dentro das categorias de termorregulação existentes para as subordens e as referências especializadas utilizadas para a classificação além da literatura base de adaptações dos gêneros as características ambientais (Garrison et al. 2006; Garrison et al. 2010; Dalzochio et al., 2018). As espécies incluídas nas análises estão marcadas com um asterisco (*). .....	27
<b>Tabela 2.</b> Médias da temperatura do tórax e do calor excedente (diferença entre a temperatura do tórax e a temperatura do ar) da ordem Odonata e das subordens Anisoptera e Zygoptera (média±desvio padrão). .....	34
<b>Tabela 3.</b> Correlações das nove métricas morfológicas de 20 espécies da ordem Odonata com os dois primeiros eixos da Análise de Componentes Principais (PCA).....	37

### **Apresentação da Revista a ser publicado o manuscrito**

O manuscrito intitulado “**Seleção de micro-habitat e padrões de termorregulação de libélulas (Insecta: Odonata) em igarapés amazônicos**”, será enviado à revista **Journal of Thermal Biology**, Qualis A1 de acordo com a área de Biodiversidade da CAPES, fator de impacto: 3,189. Essa revista publica artigos relacionados aos mecanismos e adaptações da biologia térmica dos organismos, desde o nível celular até o nível do organismo. A formatação do manuscrito segue o guia dos autores do periódico e pode ser acessado através do link: <https://www.elsevier.com/journals/journal-of-thermal-biology/0306-4565/guide-for-authors>.

## Seleção de micro-habitat e padrões de termorregulação de libélulas em igarapés amazônicos

Suellen Furtado Vinagre<sup>a, b</sup>, Lenize Batista Calvão<sup>b, c</sup>, e Leandro Juen<sup>b, c \*</sup>

<sup>a</sup>Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca (PPGEAP), Núcleo de Ecologia Aquática e Pesca da Amazônia (NEAP), Universidade Federal do Pará (UFPA), Rua Augusto Correia, N°1, Bairro Guamá, Belém 66075-110, Pará, Brasil.

<sup>b</sup>Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO), Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Universidade Federal do Pará (UFPA), Rua Augusto Correia, N°1, Bairro Guamá, Belém 66075-110, Pará, Brasil.

<sup>c</sup>Programa de Pós-Graduação em Ecologia (PPGECO), Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Universidade Federal do Pará (UFPA), Rua Augusto Correia, N°1, Bairro Guamá, Belém 66075-110, Pará, Brasil.

\* Autor correspondente: leandrojuen@gmail.com

### Resumo

As características ecofisiológicas dos insetos são importantes para entender sua distribuição e seleção de habitat, possibilitando elaborar planos eficazes de conservação diante das constantes mudanças no uso da terra. Estimamos a temperatura média da superfície torácica de 20 espécies de insetos da ordem Odonata e as classificamos dentro das categorias de termorregulação existentes para esta ordem, para avaliar a variação de temperatura entre elas. Testamos a influência de duas variáveis ambientais (temperatura do ar e de cobertura de dossel) e seis métricas morfológicas relacionadas ao tamanho do tórax e do abdômen, para averiguar quais destes parâmetros tem efeito sobre a temperatura destes insetos, com as hipóteses: (i) Espécies heliotérmicas, por serem mais robustas, apresentariam temperatura do tórax mais elevada em relação às espécies termoconformadores; (ii) em virtude das diferenças ecofisiológicas existentes entre as subordens (Anisoptera e Zygoptera), as respostas termorregulatórias seriam distintas em relação aos fatores ambientais: Anisoptera seria mais influenciada pelo gradiente de cobertura vegetal correlacionado com a incidência da radiação solar no ambiente e Zygoptera pela temperatura do ar; (iii) quanto aos preditores morfológicos, esperamos que o volume do tórax influencie no aumento da temperatura do tórax de Odonata e o comprimento do abdômen na diminuição. O estudo foi realizado em 18 igarapés, na Amazônia Oriental. Como previsto na primeira hipótese, houve diferença de temperatura do tórax entre as categorias, de aproximadamente um grau das espécies heliotérmicas acima das termoconformadores. Também observamos respostas distintas das subordens aos mesmos fatores. A média da temperatura das espécies de Zygoptera oscilou próxima e abaixo da temperatura ar, enquanto a temperatura de Anisoptera se manteve acima. Nossos resultados também sustentaram a segunda hipótese, a temperatura do ar influenciou apenas no aumento da temperatura do tórax de Zygoptera e a de Anisoptera foi mais afetada pela cobertura de dossel, em que o aumento do percentual de cobertura foi correlacionado com a diminuição da sua temperatura. No entanto, a terceira hipótese foi sustentada para a ordem, mas parcialmente para as subordens. A temperatura do tórax de Zygoptera teve relação apenas com comprimento do abdômen, que foi proporcional a diminuição da sua temperatura. E a temperatura de Anisoptera mostrou relação apenas com as métricas

torácicas, correlacionadas com o aumento a sua temperatura, nas quais o volume do tórax mostrou expressiva contribuição. As subordens utilizam parâmetros morfológicos e ambientais distintos para o controle da sua temperatura que variam conforme o tamanho. No entanto, também observamos ressalvas entre as características térmicas de algumas espécies, que escapam a esta previsão. Desta forma, é importante avaliar a influência da interação de outros aspectos morfológicos e comportamentais na regulação da temperatura das libélulas.

Palavras chave: ecofisiologia, conservação, Anisoptera, Zygoptera, termorregulação, temperatura torácica.

### **Abstract**

The ecophysiological characteristics of insects are important to understand their distribution and habitat selection, enabling the development of effective conservation plans in the face of constant changes in land use. We estimated the average temperature of the thoracic surface of 20 species of insects from the Odonata order and classified them into existing thermoregulation categories for this order to assess the temperature variation among them. We tested the influence of two environmental variables (air temperature and canopy cover) and six morphological metrics related to the size of the thorax and abdomen, to investigate which of these parameters have an effect on the temperature of these insects, with the following hypotheses: (i) Heliothermic species, due to being more robust, would present higher body temperature compared to thermoconforming species; (ii) Due to the existing ecophysiological differences between the suborders (Anisoptera and Zygoptera), the thermoregulatory responses would be different in relation to environmental factors: Anisoptera would be more influenced by the gradient of vegetation cover correlated with solar radiation incidence in the environment, while Zygoptera would be more influenced by air temperature; (iii) As for the morphological predictors, we expect that thorax volume will influence the increase of Odonata thorax temperature and abdomen length in the decrease. The study was carried out in 18 streams, in Eastern Amazonia. As predicted in the first hypothesis, there was a difference in thorax temperature between the categories, of approximately one degree with heliothermic species having higher temperatures than thermoconforming ones. We also observed different responses from the suborders to the same factors. The mean temperature of Zygoptera species fluctuated close to and below air temperature, while the temperature of Anisoptera remained above it. Our results also supported the second hypothesis, air temperature influenced only the increase of Zygoptera thorax temperature, while Anisoptera was more affected by canopy cover, where the increase in the percentage of cover was correlated with the decrease in its temperature. However, the third hypothesis was supported for the order but partially for the suborders. Zygoptera thorax temperature was related only to abdomen length, which was proportional to the decrease in its temperature. And Anisoptera temperature showed a relationship only with thoracic metrics, correlated with the increase in its temperature, in which thorax volume showed significant contribution. The suborders use different morphological and environmental parameters to control their temperature, which vary according to size. However, we also observed reservations among the thermal characteristics

of some species, which escape this prediction. Therefore, it is important to evaluate the influence of the interaction of other morphological and behavioral aspects in the regulation of dragonfly temperature.

Keywords: ecophysiology, conservation, Anisoptera, Zygoptera, thermoregulation, thoracic temperature.

## 1. Introdução

A distribuição e sobrevivência dos insetos na natureza relacionam-se a vários fatores, dentre os quais se destaca sua eficiência térmica. Pois sendo ectotérmicos, devido às dimensões corpóreas reduzidas, dependem das condições ambientais externas para a manutenção da temperatura corporal. As diferentes estratégias que eles adotam para atenuar as oscilações microclimáticas passam por várias limitações fisiológicas, comportamentais e ecológicas (May, 1979; Willmer, 1982). Alguns mudam o padrão de atividade e as expansões de alcance e de distribuição em busca de ambientes térmicos mais adequados (Chapman et al., 2015), outros, com habilidades termorregulatórias mais restritas, utilizam um diversificado microambiente térmico disponível em florestas (Willmer, 1982). Há ainda os que são capazes de realizar um relativo controle da temperatura do tórax através de atividades metabólicas durante o voo, como ocorre com as espécies grandes de libélulas (Heinrich, 1974). Neste sentido, entender a ecofisiologia destes animais, é essencial para aumentar a compreensão sobre os padrões de distribuição local e regional, bem como, possibilitar a elaboração de medidas eficazes de conservação. Pois, nos últimos anos, o efeito combinado do aquecimento global com a fragmentação das florestas, tem causado a extinção de espécies em todo o mundo (Forister et al., 2019; Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019; Wagner, 2020).

Vários fatores atuam no controle da temperatura dos insetos, no entanto, o tamanho corporal é um aspecto importante, pois influencia nas taxas de troca de calor com o ambiente, que são inversamente proporcionais as dimensões corporais (Willmer, 1982). Devido a isto, indivíduos menores como um mosquito (amplamente distribuído) podem passar por um rápido aquecimento ou resfriamento, sem superaquecer (Heinrich, 1995). As trocas de calor dos insetos com o meio externo ocorrem por condução, convecção, evaporação ou por irradiação (Casey, 1988). Algumas espécies de abelhas, gafanhotos, cigarras e moscas possuem mecanismos de troca de calor por evaporação (Edney & Barrass, 1962; Hadley et al., 1991; Prange & Pinshow, 1994; Roberts & Harrison, 1998). No entanto, para muitos insetos esta habilidade pode ser bastante custosa em termos energéticos, ao mesmo tempo em que o tamanho corporal atua como um fator limitante (Prange, 1996). A estratégia mais utilizada é a troca de calor convectivo através de ajustes posturais ou do controle fisiológico, bombeando calor para o abdômen, que o dissipa para o ambiente (Corbet & May, 2008). Os insetos ectotérmicos, mais dependentes de fontes externas de calor (como temperatura e radiação solar), comumente utilizam microambientes termicamente favoráveis, ensolarados ou

sombreados (May, 1979; Heinrich, 1995). A endotermia nos insetos geralmente é empregada conforme as necessidades do animal viabilizando ocupar ambientes com temperaturas extremas (Heinrich, 1974; Casey, 1988). Alguns dos mecanismos utilizados é o isolamento térmico por cerdas ou escamas, no caso dos lepidópteros, ou sacos aéreos localizados entre o tórax e o abdômen em grandes voadores como algumas libélulas (Church, 1960; Heinrich, 1974).

A distribuição geográfica dos insetos é influenciada por aspectos ecofisiológicos que estão conectados a fatores abióticos como temperatura do ar, radiação solar, cobertura vegetal e a fatores bióticos como, tamanho, morfologia e coloração (May, 1979; Willmer, 1982; Savopoulou-Soultani et al., 2012). O aquecimento global e a fragmentação de habitat causada pela intensa conversão no uso da terra têm contribuído para uma redução na biodiversidade em todo o planeta (Deutsch et al., 2008; Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019; Wagner, 2020), especialmente na Amazônia (Davidson et al., 2012). Essa floresta, importante para o equilíbrio ambiental e climático no mundo (Gedney & Valdes, 2000; Werth, 2002), serve como proteção para reservatórios estratégicos ambientais de água e de biodiversidade (Dirzo et al., 2003; Malhi et al., 2008). A vegetação ripária, localizada ao longo das margens dos cursos d'água, importante para a proteção e manutenção de ecossistemas aquáticos e terrestres (Gregory et al., 1991), vem sendo diretamente afetada por estas ações antrópicas (Fearnside, 2005; Foley et al., 2007). A cobertura do dossel contínua contribui para a interceptação da radiação solar no ambiente (Lüttge, 1997). Um dos efeitos imediatos da sua fragmentação é o aumento da radiação solar, resultando em microclimas mais quentes e variados ao longo do dia (Tuff et al., 2016). Quando tais condições ecológicas são modificadas, espécies que possuem habitats restritos são excluídas localmente (Hutchinson & MacArthur, 1959). Mas várias desenvolvem um conjunto de requisitos e tolerância frente a estas mudanças. Os insetos da ordem Odonata, predadores desde a fase larval até a idade adulta, são bastante utilizados como bioindicadores da saúde ambiental e são amplamente distribuídas nos diferentes ecossistemas aquáticos ducícolas (Córdoba-Aguilar, 2008; Miguel et al. 2017).

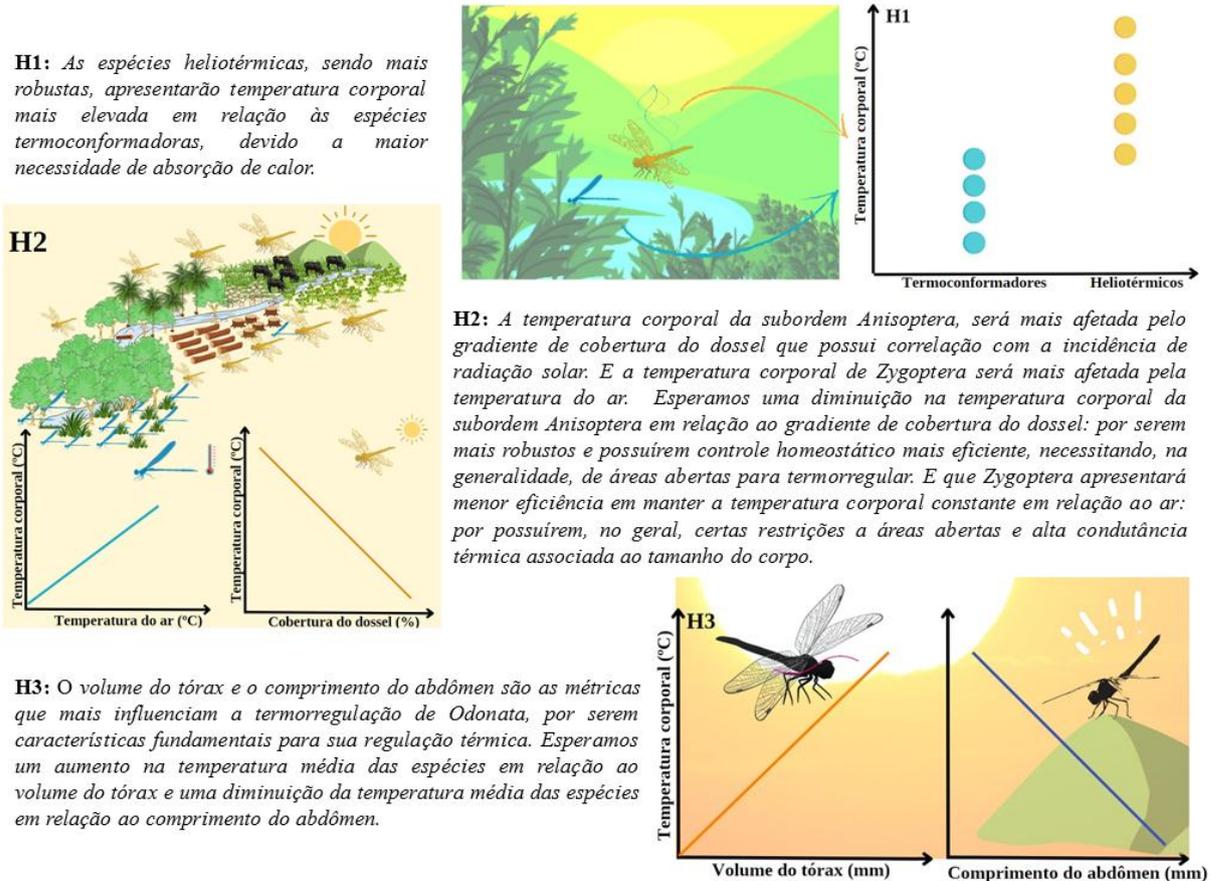
Em virtude das diferenças ecofisiológicas existentes entre as duas subordens Anisoptera e Zygoptera (Oliveira-Junior & Juen, 2019), o padrão de distribuição das espécies ao longo dos igarapés é distinta (De Marco et al., 2015; Hilfert-Ruppell, 1998). Os anisopteros são encontrados em todos os tipos de ambiente por possuírem mecanismos homeostáticos mais eficientes em virtude do seu tamanho corporal superior (Corbet, 1999). O tórax é mais volumoso em relação aos zygopteros e o abdômen é longo e cilíndrico em várias

espécies, mas curto e largo em muitas pertencentes à família Libellulidae (From Suhling et al., 2015). Portanto, em razão da menor relação área da superfície/volume corporal ganham ou perdem calor com menor agilidade que as espécies de Zygoptera. As espécies de Anisoptera geralmente são heliotérmicas, necessitando de áreas abertas para iniciar suas atividades de forrageio e reprodução (May, 1991; Corbet, 1999), mas com algumas termoconformadores e endotérmicas (Corbet, 1999; De Marco & Resende, 2002; Corbet & May, 2008). Por outro lado, os indivíduos da subordem Zygoptera possuem o abdômen alongado e esguio e o tórax mais estreito. Por serem menores, possuem menos controle sobre sua temperatura corpórea, e certas restrições a áreas abertas, ganhando ou perdendo calor de acordo com a variação da temperatura do ambiente (May, 1991; Corbet, 1999). Geralmente, habitam igarapés com cobertura vegetal densa, devido a pouca entrada de luz e calor (Carvalho et al., 2013; Juen et al., 2013), e podem ser classificados em termoconformadores ou heliotérmicos.

As diferentes estratégias fisiológicas e comportamentais adotadas para diminuir os efeitos das variações ambientais estão relacionadas principalmente a capacidade de voo. Quanto a estas habilidades são classificados em dois grupos: voadores e pousadores (Corbet, 1962). Os voadores são endotérmicos intermitentes. O grau de endotermia está relacionado à redução do custo energético e o tempo de duração do voo. Os indivíduos de grande porte possuem sacos aéreos que circundam os músculos de voo e permitem a manutenção do calor no tórax em temperaturas baixas. Em temperaturas elevadas, evitam o superaquecimento desviando calor através da hemolinfa para o abdômen que por ser longo e estreito, facilita a dissipação do excesso de calor para o ambiente durante o voo. Tal artifício possibilitou mais independência da temperatura ambiente para realizar suas atividades. Os pousadores de menor tamanho corporal modulam as fontes externas de calor através de escolha de micro-habitat e de ajustes da postura em relação ao sol: direcionando o corpo em ângulos retos em relação à radiação solar, em combinação com a posição do abdômen e asas, abaixados ou levantados para regular a temperatura do tórax. Grandes pousadores elevam a temperatura torácica de forma mais eficiente e a radiação solar compõe a maior proporção de sua entrada de calor (Heinrich, 1974; May, 1976; Corbet & May, 2008). Alguns pousadores podem ser endotérmicos ocasionais por agitação das asas. Mas aparentemente não controlam a taxa de transferência de calor entre o tórax e o abdômen, e são mal isolados por sacos aéreos subcuticulares (Heinrich & Casey 1978), são conformadores térmicos ou heliotérmicos.

Há pouca informação disponível na literatura em relação à termorregulação das libélulas da Amazônia. Apesar de ser uma das regiões mais biodiversas do mundo e abrigar

cerca de 640 espécies (ao longo da extensão da Amazônia brasileira), equivalente a 69% da odonatofauna do Brasil (Garcia Junior et al., 2022). Desta forma, o objetivo deste estudo foi estimar a temperatura da superfície corpórea de espécies de Odonata em ambiente natural, sob intensas atividades antrópicas de usos do solo; classificá-las dentro das principais categorias de termorregulação existentes para a ordem e avaliar a diferença de temperatura entre estes grupos. Também buscamos testar a relação entre a regulação térmica da ordem com os caracteres ecofisiológicos (morfológicos e microclimáticos). As nossas hipóteses são que: i) as espécies heliotérmicas, sendo mais robustas, apresentarão temperatura do tórax mais elevada em relação às espécies termoconformadores, devido a maior necessidade de absorção de calor; (ii) A temperatura corporal da subordem Anisoptera, será mais afetada pelo gradiente de cobertura do dossel que possui correlação com a incidência de radiação solar. E a temperatura corporal de Zygoptera será mais afetada pela temperatura do ar. Esperamos uma diminuição na temperatura corporal da subordem Anisoptera em relação ao gradiente de cobertura do dossel: por serem mais robustos e possuírem controle homeostático mais eficiente, necessitando, na generalidade, de áreas abertas para termorregular. E que Zygoptera apresentará menor eficiência em manter a temperatura corporal constante em relação ao ar: por possuírem, no geral, certas restrições a áreas abertas e alta condutância térmica associada ao tamanho do corpo; iii) o volume do tórax e o comprimento do abdômen são as métricas que mais influenciam a termorregulação de Odonata, por serem características fundamentais para sua regulação térmica. Esperamos um aumento na temperatura média das espécies em relação ao volume do tórax e uma diminuição da temperatura média das espécies em relação ao comprimento do abdômen (Figura 1).



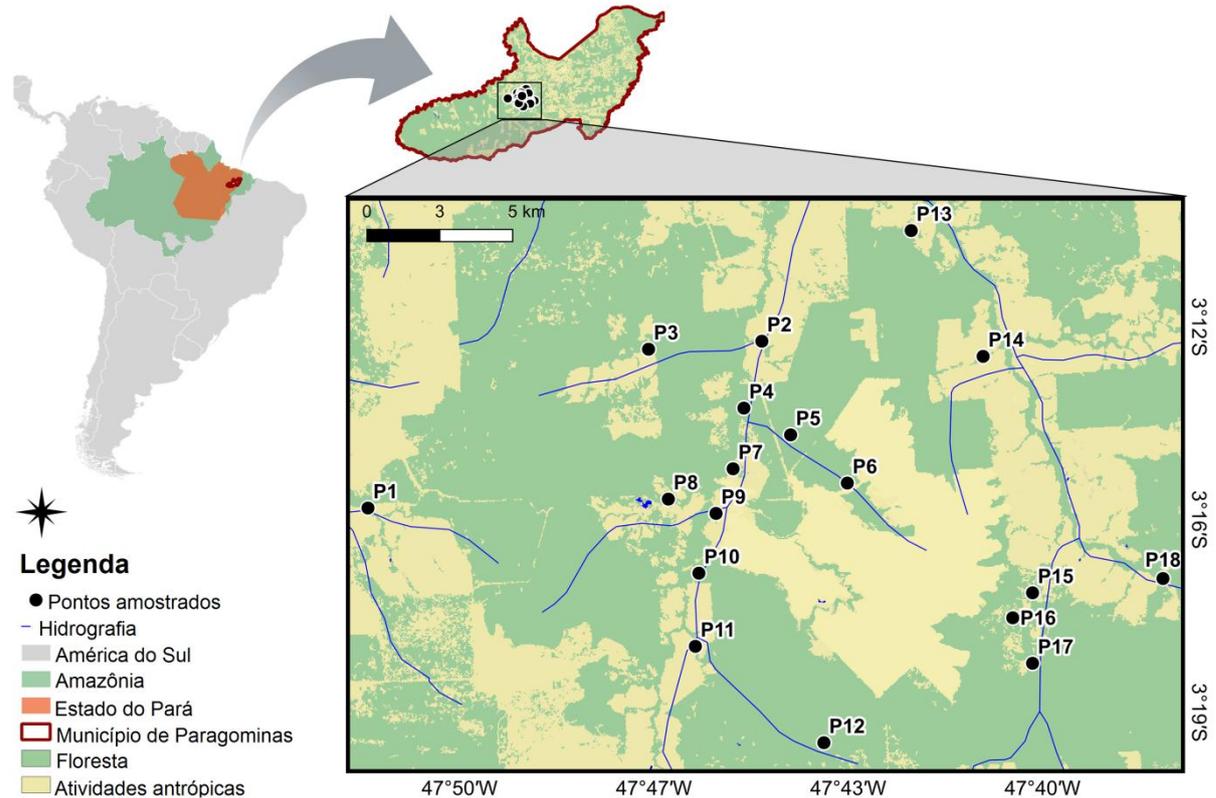
**Figura 1.** Ilustração das hipóteses.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Área de estudo

Foram amostrados 18 igarapés durante o mês de julho do ano de 2017, no município de Paragominas, região nordeste do estado do Pará, Brasil (02°59'45" S; 47°21'10" W) (Figura 2). A vegetação da região é composta por Formações de Savana, Campestre e Floresta Ombrófila de Terra Firme, que já se encontra bastante modificada pelas ações antrópicas, pois em seus arredores concentram-se a maior parte das atividades industriais, de mineração, extrativistas e agropecuárias (Souza et al., 2020). As alterações da paisagem vêm ocorrendo com maior intensidade desde a década de 1960, tornando a região um mosaico com distintas atividades antrópicas, como agricultura, silvicultura (ex. *Eucalyptus* spp.), agropecuária, exploração de madeira e extração mineral de bauxita e caulim (Francez et al., 2009; Gardner et al., 2013; Oliveira-Junior et al., 2017). O clima predominante é do subtipo “Aw” que é caracterizado como quente e úmido, segundo a classificação de Köppen (Peel et al., 2007);

com temperatura média anual de 27,2 °C, umidade relativa do ar de 81%, pluviosidade média de 1,800 mm, com período chuvoso entre os meses de dezembro a maio e estiagem entre junho e novembro (Veloso et al., 1991).

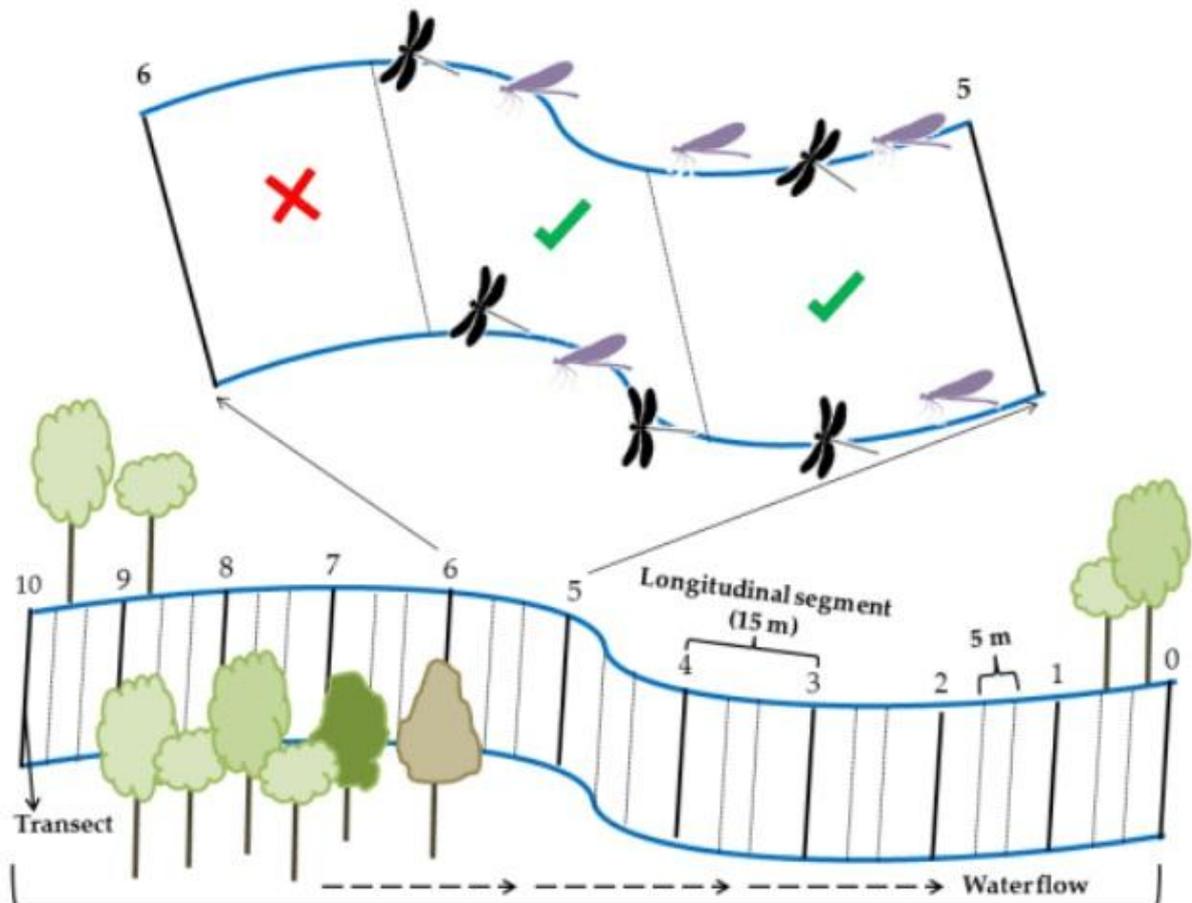


**Figura 2.** Rede de drenagem e distribuição dos 18 igarapés (trechos de 150 m) amostrados na Amazônia Oriental, Paragominas, PA, Brasil, 2017. Sistema de coordenadas: SIRGAS 2000 (EPSG 4674), Base de dados: Harvard dataverse (2017); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2021); Mapbiomas: Uso e cobertura do solo (2017); Agência Nacional de Águas - ANA (2017).

## 2.2. Amostragem biológica

Capturamos os adultos de Odonata com o auxílio de rede entomológica (40 cm de diâmetro, com 65 cm de rede e cabo de alumínio com 90 cm de comprimento). Padronizamos as amostragens utilizando o método de varredura em áreas fixas, no qual foi demarcado em

cada igarapé um transecto de 150 metros de comprimento ao longo das margens, subdivididos em 10 trechos de 15 metros, e cada seção foi dividida em segmentos de 5 metros. Sendo apenas os dois primeiros amostrados (totalizando 20 segmentos de 5 m para cada córrego) (Figura 3). Esse protocolo é utilizado como padrão na Amazônia e em outros biomas brasileiros (Calvão et al., 2018; Oliveira-Junior et al., 2019; Cezário et al., 2020).



**Figura 3.** Representação do protocolo de varredura em áreas fixas.

Fonte: Oliveira-Junior et al., (2019).

Realizamos as coletas entre as 10 h e 14 h, período de maior atividade de voo destes insetos e sempre em momentos ensolarados, para que todos os grupos ecofisiológicos estivessem ativos nos locais de coleta (Oliveira-Junior et al., 2019). Preparamos os indivíduos em campo de acordo com o protocolo descrito por Lencioni (2006): envolvendo-os em envelopes de papel e depois sendo imersos em acetona pura (P.A.) (durante 12 horas para Zygoptera e 48 horas para Anisoptera). Identificamos os espécimes utilizando chaves taxonômicas especializadas (Borror, 1942; Belle, 1996; Garrison, 1990; Lencioni, 2005, 2006; Garrison et al., 2006, 2010) e comparamos com o material testemunho da coleção.

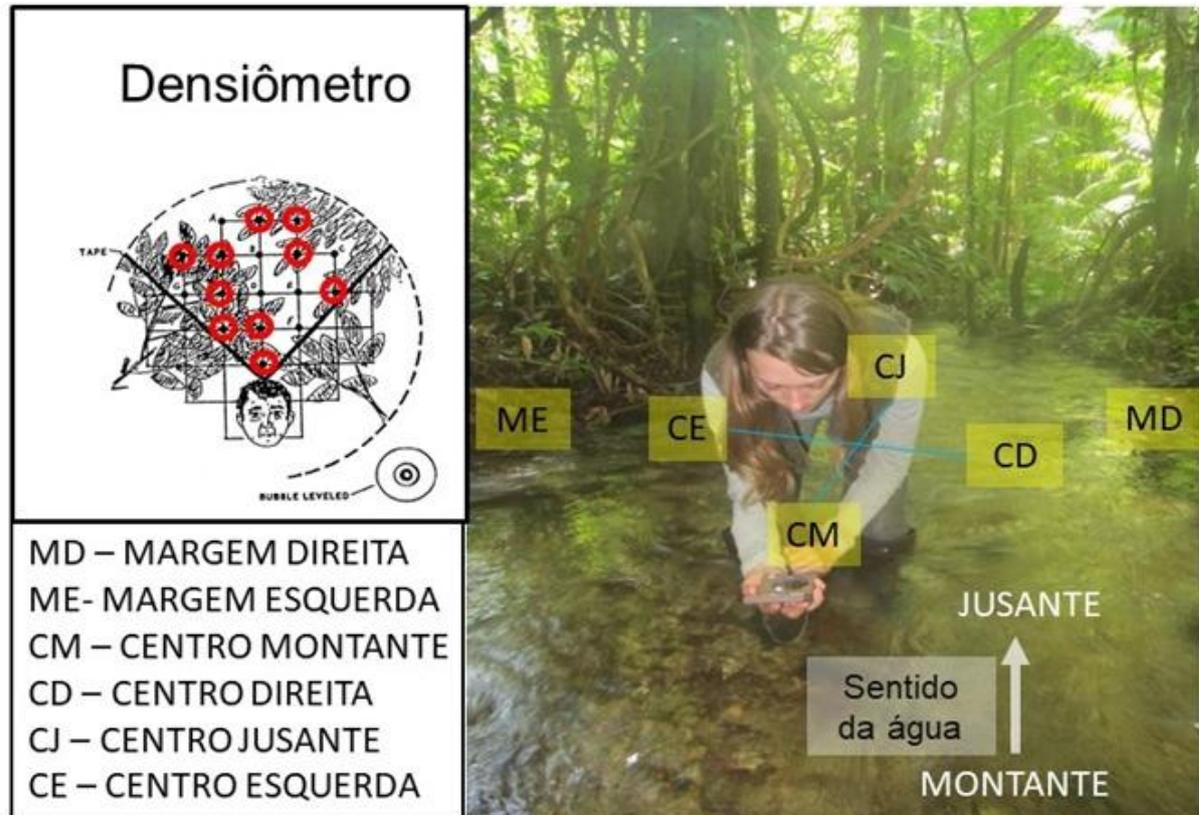
Após a identificação, os exemplares foram depositados como material testemunho na Coleção do Museu de Zoologia da Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil.

### 2.3. Registro da temperatura do tórax e da temperatura do ar

Mensuramos a temperatura do tórax -  $T_{to}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) de todos os indivíduos de Odonata no instante da captura dos insetos com a rede entomológica, posicionando o feixe de raios de um termômetro infravermelho *Testo 805* na superfície lateral central do tórax. Sempre do lado direito do inseto, respeitando uma distância média de cinco centímetros do corpo do animal e em um tempo menor que 10 segundos. Para evitar danos físicos e mudanças na temperatura do tórax, todos os indivíduos foram manipulados com o contato físico apenas nas asas. Justifica-se o uso de tal equipamento, pois o mesmo possui uma exatidão de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  (-2 a  $+40^{\circ}\text{C}$ ), resolução:  $0,1^{\circ}\text{C}$  (-9,9 a  $+199,9^{\circ}\text{C}$ ) e com tempo de reação menor que 1s. Registramos a temperatura do ar -  $T_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) utilizando o mesmo termômetro, no momento da coleta dos espécimes e no mesmo micro-habitat em que ele se encontrava. Para as análises estatísticas utilizamos a média desses valores para cada espécie (Material Suplementar, Tabela S2).

### 2.4. Registro de dados ambientais

Utilizamos a abertura de dossel para medir a entrada de radiação solar no ambiente, uma métrica muito utilizada para explicar a distribuição de Odonata (De Marco et al., 2015; Oliveira-Junior et al., 2017; Oliveira-Junior et al., 2019). Mensuramos a cobertura de dossel da vegetação de acordo com o protocolo de Peck et al. (2006), adaptado por Callisto et al. (2014) para os igarapés tropicais. Para a estimativa, utilizamos um densiômetro florestal convexo (modelo CROWN) posicionado a 0,30 m de distância da superfície da água, onde mensuramos seis medidas realizadas: na margem direita (MD), margem esquerda (ME), centro direita (CD), centro montante (CM), centro esquerda (CE) e centro jusante (CJ) (Figura 4). As medidas foram realizadas três vezes ao longo do trecho de 150 metros, no início (marcação 0 m – jusante), no meio (marcação 75 m) e no final do transecto (marcação 150 m – montante). Posteriormente calculamos a média dessas variáveis de acordo com Kaufmann et al. (1999) (Material Suplementar, Tabela S1).



**Figura 4.** Medidas de cobertura de dossel da vegetação: na margem direita (MD), margem esquerda (ME), centro direita (CD), centro montante (CM), centro esquerda (CE) e centro jusante (CJ).

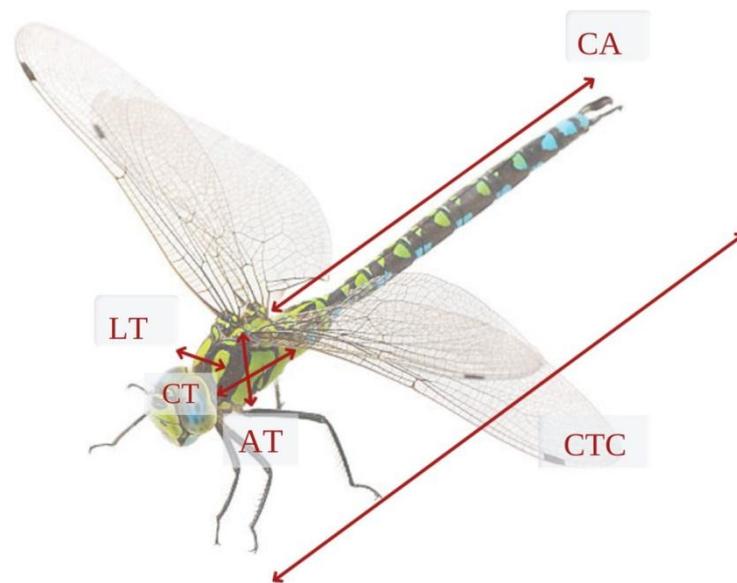
Fonte: Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

### 2.5. Coleta de dados morfológicos

Em laboratório aferimos cinco medidas morfológicas com o uso de um paquímetro digital, largura do tórax (LT), altura do tórax (AT), comprimento do tórax (CT), comprimento total do corpo (CTC) e comprimento do abdômen (CA) (Figura 5). Levando em consideração as variações naturais nas mensurações, cada medida corporal foi repetida três vezes e retirada às médias para evitar possíveis vieses de amostragem. Adotamos como padrão o lado esquerdo dos espécimes para a medição das métricas.

Adicionalmente, com as mesmas medidas mencionadas anteriormente, calculamos mais quatro métricas, todas relacionadas com aspectos ecofisiológicos das libélulas: o volume do tórax (VT) (medido pela multiplicação  $CT \times LT \times AT$ ) (Stille, 1996) como um índice dos músculos de voo. O comprimento relativo do tórax (CRT), calculado pela divisão entre o

comprimento do tórax e o comprimento total do corpo (CT/CTC). O volume relativo do tórax (VRT) avaliado pela divisão entre o volume torácico e o comprimento total do corpo (VT/CTC). E o comprimento relativo do abdômen (CRA), calculado pela divisão entre o comprimento do abdômen e comprimento total do corpo (CA/CTC) (Material Suplementar, Tabela S2). Tomamos estas quatro métricas como base para estimar a alometria (relação entre medidas de diferentes partes do corpo) do indivíduo e reduzir as distâncias de tamanho corporal interespecífica.



**Figura 5.** Métricas morfológicas mensuradas em laboratório: comprimento do tórax (CT); altura do tórax (AT); largura do tórax (LT), comprimento total do corpo (CTC) e comprimento do abdômen (CA).

#### 2.6. *Classificação das espécies dentro das categorias termorregulatórias*

Para classificar as espécies dentro das categorias de termorregulação existentes para a ordem Odonata (termoconformador, heliotérmico e endotérmico) utilizamos consulta na literatura, que descreve com base no tamanho corporal (Dalzochio et al., 2018) e nas preferências por ambientes ensolarados ou sombreados, as possíveis adaptações dos gêneros às características ambientais de seus habitats (Garrison et al., 2006; Garrison et al., 2010). Bem como em observações em campo.

## 2.6. Análise de dados

Utilizamos as espécies como unidade amostral nas análises. Empregamos em todas as análises como variáveis respostas, a temperatura do tórax ( $T_{to}$ ) e o calor excedente, medido pela diferença entre a temperatura do tórax e a temperatura do ar ( $T_{to}-T_a$ ) (um método aplicado em nosso estudo como controle, para diminuir os efeitos da variação de temperatura do tórax entre os insetos e a temperatura do ambiente).

Para testar a primeira hipótese de que a regulação térmica dos heliotérmicos fosse superior a dos termoconformadores, utilizamos um Modelo Linear Generalizado Misto (GLMM), Nas análises, usamos a distribuição de resíduos gaussian e a função *glmer*. Para tanto, empregamos como variáveis explicativas as categorias de termorregulação e como variáveis de efeito aleatório as subordens.

Na avaliação da segunda e terceira hipóteses, utilizamos um Modelo Linear Generalizado (GLM), usando a Ligação log (pra garantir a normalidade dos dados); a distribuição de resíduos gaussian; função *glm* e o cálculo do Pseudo R-quadrado de Efron (Efron, 1978). E Em virtude das diferenças ecofisiológicas existentes entre as subordens, realizamos as análises para ordem e depois separadamente para cada uma das duas principais subordens.

Para testar a segunda hipótese: de que a temperatura corporal da subordem Anisoptera, seria mais afetada pelo gradiente de cobertura do dossel que possui correlação com a incidência de radiação solar. E a temperatura corporal de Zygoptera seria mais afetada pela temperatura do ar. Em que esperávamos uma diminuição na temperatura corporal da subordem Anisoptera em relação ao gradiente de cobertura do dossel: por serem mais robustas e possuírem controle homeostático mais eficiente, necessitando, na generalidade, de áreas abertas para termorregular. E que Zygoptera apresentaria menor eficiência em manter a temperatura corporal constante em relação ao ar: por possuírem, no geral, certas restrições a áreas abertas e alta condutância térmica associada ao tamanho do corpo. Tomamos como predictoras a temperatura do ar e a média da cobertura do dossel dos pontos de ocorrência de cada espécie (Material Suplementar, Tabela S2).

Para avaliar a terceira hipótese: de que o volume do tórax e o comprimento do abdômen possuiriam mais influência na termorregulação de Odonata, por serem características fundamentais para sua regulação térmica. Utilizamos como variáveis explanatórias os traços morfológicos selecionados por uma análise de Componentes Principais (PCA). A PCA foi usada para reduzir o espaço morfológico de nove dimensões (CTC, AT, LT, CT, VT, VRT,

CRT, CA e CRA) e diminuir a multicolinearidade entre os dados (Legendre & Legendre, 2012). Os dados morfológicos (medidos em milímetros) foram submetidos a uma transformação escalonada para tentar diminuir problemas de *outlayers* (as distâncias de tamanho entre as espécies). Os eixos da PCA foram selecionados cujo número de componentes contemplasse ao menos 95% da variação total dos dados (De Marco & Nóbrega, 2018). Para interpretação dos eixos, e consequentemente escolha das variáveis que melhor representassem o espaço morfológico, foram selecionadas apenas aquelas com maior representatividade aos componentes da ordenação, com *loadings* superior a |0,7| e baixa correlação entre si. Cada preditora foi testada separadamente.

Todas as análises foram executadas no programa R Studio versão 0,99,903 (2009-2016 RStudio, Inc.), utilizando os pacotes *lme4* (Bates et al., 2015), *vegan* (Oksanen et al., 2020), *permute* (Simpson et al., 2019), *lattice* (Sarkar, 2008), *MASS* (Ripley et al., 2002), *DescTools* (Signorell et al., 2021) e *ggplot2* (Wickham, 2016).

### 3. Resultados

#### 3.1. Descrição da comunidade e classificação das categorias de termorregulação

Registramos 362 indivíduos adultos de Odonata, distribuídos em cinco famílias, 23 gêneros e 37 espécies (sendo 25 da subordem Zygoptera e 12 da subordem Anisoptera). As famílias com maior riqueza de espécies foram Coenagrionidae (n = 15 spp.), Libellulidae (n = 12 spp.) e Megapodagrionidae (n = 4 spp.). As espécies mais abundantes foram *Epipleoneura metallica* Rácenis, 1955 (n = 51), *Neoneura luzmarina* De Marmels, 1989 (n = 31) e *Oligoclada abbreviata* (Rambur, 1842) (n = 28). Das espécies capturadas, 17 tiveram uma baixa ocorrência (menor que três indivíduos) e foram retiradas das análises (para diminuir erros de estimativa) resultando em 20 espécies da ordem, sendo 13 da subordem Zygoptera e sete da subordem Anisoptera. Classificamos as 20 espécies analisadas neste estudo com dados de literatura e observações de campo, segundo seus tamanhos e preferência por habitat ensolarados ou sombreados (ou ambos). Destas, 12 foram classificadas como heliotérmicas e oito como termoconformadores (Tabela 1).

**Tabela 1.** Lista de espécies de Odonata capturadas em 18 igarapés no município de Paragominas-Pará, Amazônia Oriental, em julho de 2017. Suas respectivas abundâncias, código, pontos de coleta, luminosidade em que se encontravam e suas respectivas

classificações dentro das categorias de termorregulação existentes para as subordens e as referências especializadas utilizadas para a classificação além da literatura base de adaptações dos gêneros as características ambientais (Garrison et al. 2006; Garrison et al. 2010; Dalzochio et al., 2018). As espécies incluídas nas análises estão marcadas com um asterisco (\*).

Subordem/Família/Espécies	Abundância relativa	Código	Pontos	Microhabitat	Termorregulação	Referência
<b>ANISOPTERA</b>	<b>134</b>					
<b>Gomphidae</b>	<b>1</b>					
<i>Zonophora batesi</i> Selys, 1869	1			Ensolarado	Endotérmico	Esse estudo
<b>Libellulidae</b>	<b>133</b>					
<i>Erythrodiplax basalis</i> (Kirby, 1897)*	22	Ery_bas	P2, P6, P11, P14	Ensolarado	Heliotérmico	Esse estudo
<i>Erythrodiplax fusca</i> (Rambur, 1842)*	10	Ery_fus	P2, P6, P11	Ensolarado/ Sombreado	Heliotérmico	De marco & Resende, 2002
<i>Fylgia amazonica</i> Kirby, 1889*	37	Fyl_ama	P7, P9, P12, P13, P17, P18	Ensolarado/ Sombreado	Heliotérmico	Esse estudo
<i>Micrathyria pseudeximia</i> Westfall, 1992	1			Ensolarado	Heliotérmico	May, 1977; May, 1979; Westfall, 1992
<i>Nephepeltia phryne</i> (Perty, 1833)	1			Ensolarado	Heliotérmico	Esse estudo
<i>Oligoclada abbreviata</i> (Rambur, 1842)*	28	Oli_abb	P1, P3, P4, P5, P8, P10, P11, P15	Ensolarado/ Sombreado	Heliotérmico	Borror, 1931
<i>Oligoclada walkeri</i> Geijskes, 1931*	6	Oli_wal	P2, P4, P6, P15, P17	Ensolarado	Heliotérmico	Borror, 1931
<i>Perithemis lais</i> (Perty, 1833)*	22	Per_lai	P2, P6, P9, P11	Ensolarado	Heliotérmico	Esse estudo
<i>Perithemis thais</i> Kirby, 1889*	3	Per_tha	P13, P17	Ensolarado/ Sombreado	Heliotérmico	Esse estudo
<i>Rhodopygia cardinalis</i> (Erichson in Schomburgk, 1848)	1			Ensolarado	Heliotérmico	Belle, 1998

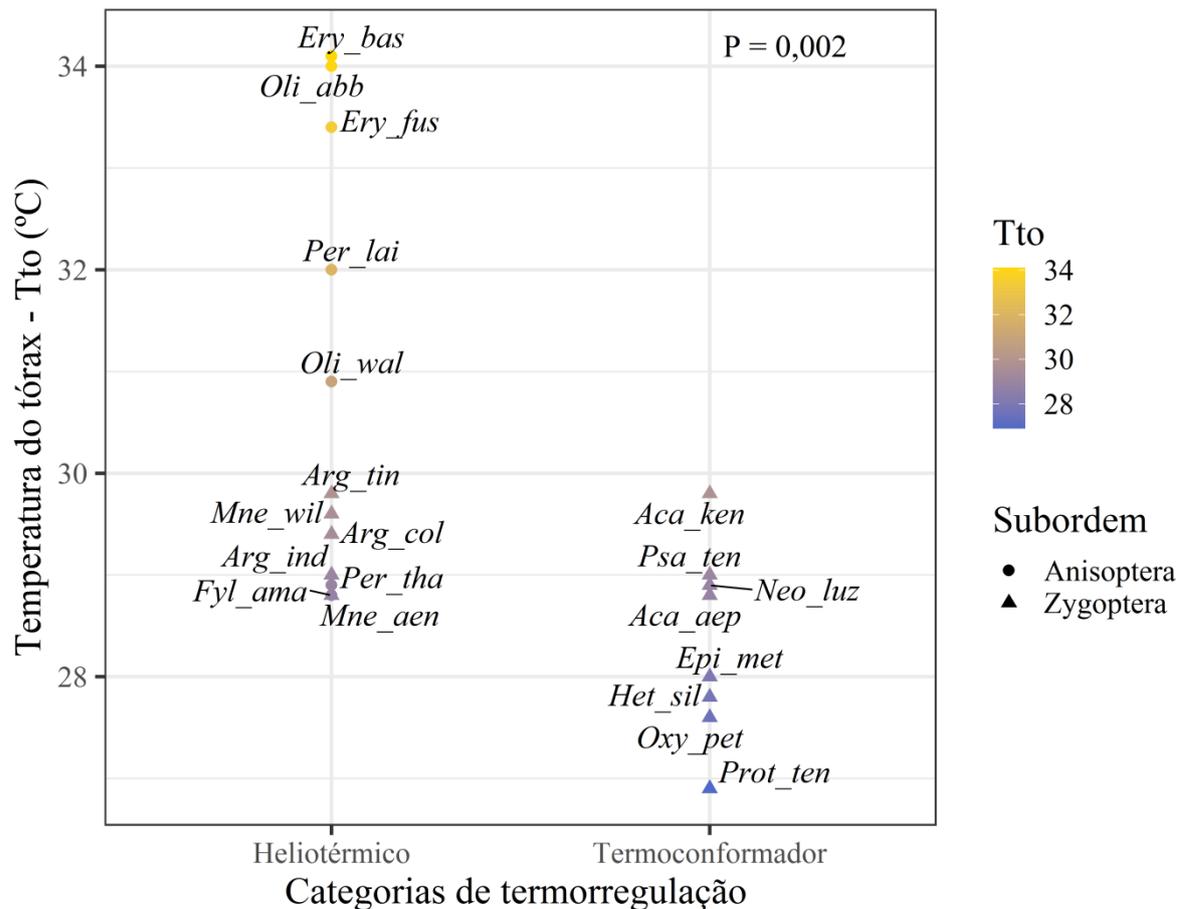
<i>Zenithoptera lanei</i> Santos, 1941	1			Ensolarado	Heliotérmico	Guillermo-Ferreira & Gorb 2021
<b>ZYGOPTERA</b>	<b>225</b>					
<b>Calopterygidae</b>	<b>18</b>					
<i>Hetaerina rosea</i> Selys, 1853	2			Ensolarado	Heliotérmico	Esse estudo
<i>Mnesarete aenea</i> (Selys, 1853)*	8	Mne_ae n	P1, P5, P15, P16, P17	Ensolarado/ Sombreado	Heliotérmico	Esse estudo
<i>Mnesarete williamsoni</i> Garrison, 2006*	8	Mne_wi l	P3, P6, P11, P16	Ensolarado/ Sombreado	Heliotérmico	Esse estudo
<b>Coenagrionidae</b>	<b>196</b>					
<i>Acanthagrion adustum</i> Williamson, 1916	1			Ensolarado	Termoconformaor	Leonard, 1977
<i>Acanthagrion aepolum</i> Tennessen, 2004*	8	Aca_aep	P2, P6, P14, P17	Ensolarado	Termoconformador	Leonard, 1977; Tennessen, 2003
<i>Acanthagrion kennedii</i> Williamson, 1916*	7	Aca_ken	P2, P11, P14	Ensolarado	Termoconformador	Leonard, 1977
<i>Acanthallagma luteum</i> Williamson & Williamson, 1924	1			Ensolarado	Termoconformador	Esse estudo
<i>Argia collata</i> Selys, 1865*	20	Arg_col	P2, P5, P7, P13, P15, P18	Ensolarado/ Sombreado	Heliotérmico	Esse estudo
<i>Argia indicatrix</i> Calvert, 1902*	22	Arg_ind	P5, P7, P12, P13, P15, P17	Ensolarado/ Sombreado	Heliotérmico	Esse estudo
<i>Argia infumata</i> Selys, 1865	2			Ensolarado	Heliotérmico	Esse estudo
<i>Argia reclusa</i> Selys, 1865	1			Ensolarado	Heliotérmico	Esse estudo
<i>Argia tinctipennis</i> Selys, 1865*	13	Arg_tin	P7, P12, P15	Ensolarado/	Heliotérmico	Esse estudo

				Sombreado		
<i>Epipleoneura cappiliformis</i> (Selys, 1886)	1			Ensolarado/ Sombreado	Termoconformador	Pessacq, 2014
<i>Epipleoneura demarmelsi</i> von Ellenrieder & Garrison, 2008	1			Ensolarado/ Sombreado	Termoconformador	Pessacq, 2014
<i>Epipleoneura kaxuriana</i> Machado, 1985	2			Ensolarado/ Sombreado	Termoconformador	Pessacq, 2014
<i>Epipleoneura metallica</i> Rácenis, 1955*	51	Epi_met	P1, P2, P3, P6, P11, P14, P15, P18	Sombreado	Termoconformador	Pessacq, 2014
<i>Neoneura luzmarina</i> De Marmels, 1989*	31	Neo_luz	P1, P3, P4, P5, P8, P11, P16, P18	Ensolarado/ Sombreado	Termoconformador	Williamson , 1917
<i>Phasmoneura exigua</i> (Selys, 1886)	2			Ensolarado	Termoconformador	Esse estudo
<i>Protoneura tenuis</i> Selys, 1860*	17	Pro_ten	P12, P13, P15, P17, P18	Sombreado	Termoconformador	Esse estudo
<i>Psaironeura tenuissima</i> (Selys, 1886)*	15	Psa_ten	P9, P12, P13, P15, P17	Ensolarado/ Sombreado	Termoconformador	Garrison, 2004
<i>Tigriagrion aurantinigrum</i> Calvert, 1909	1			Ensolarado	Termoconformador	De Marco & Vital, 2007
<b>Megapodagrionidae</b>	<b>14</b>					
<i>Heteragrion icterops</i> Selys, 1862	1			Ensolarado	Termoconformador	Vilela et al., 2019
<i>Heteragrion silvarum</i> Sjöstedt, 1918*	8	Het_sil	P4, P12, P13, P18	Sombreado	Termoconformador	Vilela et al., 2019
<i>Oxystigma petiolatum</i> (Selys, 1862)*	4	Oxy_pet	P16, P17, P18	Ensolarado /Sombreado	Termoconformador	Garrison, 2014
<i>Perilestes solutus</i> Williamson & Williamson, 1924	1			Ensolarado	Termoconformador	Esse estudo
<b>Total Geral</b>	<b>362</b>					

### 3.2. Temperatura do tórax versus categorias de termorregulação

Avaliamos a oscilação de temperatura entre as diferentes categorias de termorregulação de Odonata (heliotérmicos e termoconformadores). Os nossos resultados mostraram que a temperatura média da superfície corpórea dos heliotérmicos apresentou diferença de aproximadamente um grau acima dos termoconformadores ( $P=0,002$ ; Figura 6) (o resumo desta análise pode ser consultado no Material Suplementar, Tabelas S3).

Os anisópteros *E. basalis*, *O. abbreviata*, *E. fusca*, *P. lais* e *O. walkeri* podem ser considerados típicos heliotérmicos (com temperatura média de 2°C acima da temperatura do ar). Enquanto que *E. metallica*, *H. silvarum*, *O. petiolatum* e *P. tenuis* são animais termoconformadores peculiares (com temperatura média aproximada de 1,5°C abaixo da temperatura do ar). Mas a maioria das espécies ( $n=11$ ) tiveram suas temperaturas oscilando mais próximo a temperatura ambiente (em média 1°C abaixo da temperatura do ar), como os Zygopteros dos gêneros: *Argia*, *Acanthagrion*, *Mnesarete* e as espécies *N. luzmarina* e *P. tenuissima*, e ainda os libellulídeos – *F. amazonica* e *P. thais*.



**Figura 6.** Resultados do Modelo Misto Linear Geral (GLMM), descrevendo a relação das categorias de termorregulação (heliotérmicos e termoconformadores) com a média de temperatura do tórax de 20 espécies da ordem Odonata, coletadas em 18 igarapés no município de Paragominas-Pa, Brasil, na Amazônia Oriental. *Ery\_bas*: *Erythrodiplax basalis*; *Ery\_fus*: *Erythrodiplax fusca*; *Fyl\_ama*: *Fylgia amazônica*; *Oli\_abb*: *Oligoclada abbreviata*; *Oli\_wal*: *Oligoclada walkeri*; *Per\_lai*: *Perithemis lais*; *Per\_tha*: *Perithemis thais*; *Mne\_aen*: *Mnesarete aenea*; *Mne\_wil*: *Mnesarete williamsoni*; *Aca\_aep*: *Acanthagrion aepiolum*; *Aca\_ken*: *Acanthagrion kennedii*; *Arg\_col*: *Argia collata*; *Arg\_ind*: *Argia indicatrix*; *Arg\_tin*: *Argia tinctipennis*; *Epi\_met*: *Epipleoneura metallica*; *Neo\_luz*: *Neoneura luzmarina*; *Pro\_ten*: *Protoneura tenuis*; *Psa\_ten*: *Psaironeura tenuissima*; *Het\_sil*: *Heteragrion silvarum*; *Oxy\_pet*: *Oxystigma petiolatum*.

Observamos pouca variação da temperatura média do ar ( $30,3^{\circ}\text{C} \pm 1,3$ ) (média  $\pm$  desvio padrão). O valor de temperatura do tórax médio aproximado para a ordem Odonata foi de  $30^{\circ}\text{C}$ , oscilando bem próxima e abaixo da temperatura ambiente. A temperatura média da

subordem Anisoptera foi de 32 °C, quase 2 °C acima da temperatura ambiente, com variação de 2 °C. Já a temperatura média de Zygoptera ficou em torno de 29 °C, 1 °C abaixo da temperatura ambiente e com variação próxima de 0,5 °C (Tabela 2).

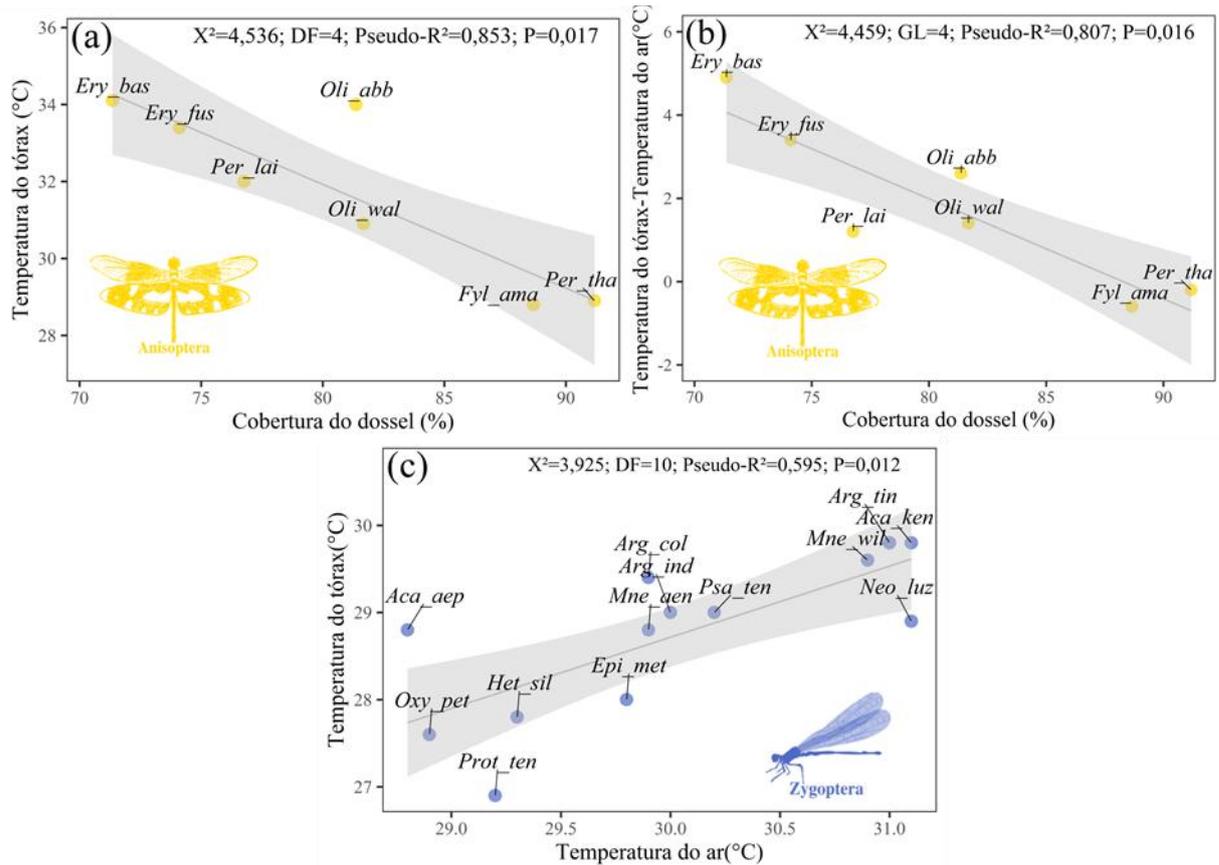
**Tabela 2.** Médias da temperatura do tórax e do calor excedente (diferença entre a temperatura do tórax e a temperatura do ar) da ordem Odonata e das subordens Anisoptera e Zygoptera (média±desvio padrão).

	Temperatura do tórax ( $T_{to}$ ) (°C)	Calor excedente ( $T_{to}-T_a$ ) (°C)
<b>Odonata</b>	29,76±2,07	-0,20 ± 1,94
<b>Anisoptera</b>	31,73 ± 2,27	1,81 ± 1,96
<b>Zygoptera</b>	28,72 ± 0,90	-1,28 ± 0,62

### 3.3. Regulação térmica versus Fatores ambientais

Estimamos duas variáveis ambientais de temperatura e de cobertura de dossel para averiguar qual destes parâmetros constitui a fonte de calor mais importante para a regulação da temperatura do tórax da ordem Odonata. A cobertura de dossel teve influência apenas na  $T_{to}$  e  $T_{to}-T_a$  da subordem Anisoptera (Figura 7a e 7b), e a temperatura do ar na  $T_{to}$  de Zygoptera (Figura 7c).

Quando analisamos as subordens separadamente observamos uma influência significativa desta variável sobre  $T_{to}$  de Anisoptera (Figura 7a) e substancialmente sobre  $T_{to}-T_a$  (Figura 7b). Detectamos que o aumento no percentual da cobertura de dossel está relacionado à diminuição da  $T_{to}$  e da  $T_{to}-T_a$  média desta subordem. E o aumento na temperatura do ar contribuiu somente com o aumento da  $T_{to}$  de Zygoptera (Figura 7c) (Material Suplementar, Tabela S4).

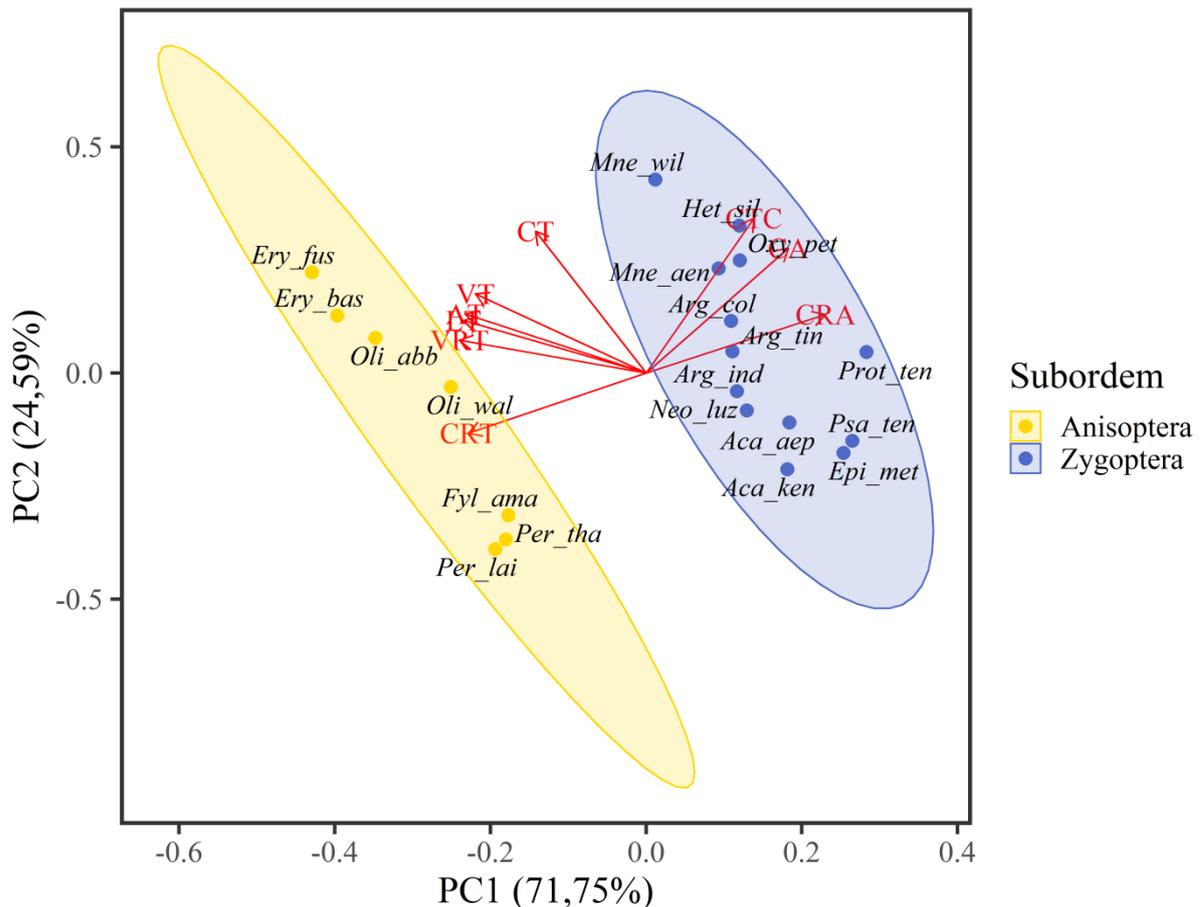


**Figura 7.** Resultados do Modelo Linear Geral (GLM) da relação entre a Cobertura do dossel e a Temperatura do ar com a Temperatura do tórax ( $T_{to}$ ) e a diferença entre a temperatura do tórax e a Temperatura do ar ( $T_{to}-T_a$ ) da ordem Odonata. **(a)** e **(b)** mostram a relação que a Cobertura do dossel teve somente com a  $T_{to}$  e  $T_{to}-T_a$  da subordem Anisoptera. E **(c)** a relação que temperatura do ar teve apenas com a  $T_{to}$  da subordem Zygoptera. *Ery\_bas*: *Erythrodiplax basalis*; *Ery\_fus*: *Erythrodiplax fusca*; *Fyl\_ama*: *Fylgia amazônica*; *Oli\_abb*: *Oligoclada abbreviata*; *Oli\_wal*: *Oligoclada walkeri*; *Per\_lai*: *Perithemis lais*; *Per\_tha*: *Perithemis thais*, *Mne\_aen*: *Mnesarete aenea*; *Mne\_wil*: *Mnesarete williamsoni*; *Aca\_aep*: *Acanthagrion aepiolum*; *Aca\_ken*: *Acanthagrion kennedii*; *Arg\_col*: *Argia collata*; *Arg\_ind*: *Argia indicatrix*; *Arg\_tin*: *Argia tinctipennis*; *Epi\_met*: *Epipleoneura metallica*; *Neo\_luz*: *Neoneura luzmarina*; *Pro\_ten*: *Protoneura tenuis*; *Psa\_ten*: *Psaironeura tenuissima*; *Het\_sil*: *Heteragrion silvarum*; *Oxy\_pet*: *Oxystigma petiolatum*.

### 3.4. Regulação térmica versus Fatores morfológicos

A PCA explicou em seus dois primeiros eixos 96,34% da variação total dos dados (PC1: 71,75% e PC2: 24,59%). O gráfico de dispersão bidimensional resume uma grande quantidade de informações morfológicas, no qual é possível observar uma clara diferenciação

entre as duas subordens (Figura 6). As amostras das duas subordens se distribuem em linhas diagonais paralelas, onde Zygoptera ficou ordenada mais ao lado direito do gráfico e Anisoptera ao lado esquerdo. As variáveis que mais contribuíram para a formação do primeiro eixo foram AT, LT, VT, VRT, CRT, CA e CRA. Para o segundo eixo, as variáveis que mais contribuíram foram CTC e CT (Tabela 3). As métricas CT e CTC apresentaram alta correlação. Optamos por CA devido à importância já bastante relatada na literatura para a regulação térmica destes insetos. AT e LT também apresentaram alta correlação com VT e VRT e também foram retiradas das análises, por estas últimas representarem um índice dos músculos de voo. As variáveis CT, CRT, VT, VRT, CA e CRA foram às selecionadas para representar o espaço morfológico em nossas análises, por terem maior contribuição para a formação dos eixos e por mostrar baixa relação entre si.



**Figura 8.** Representação do espaço morfológico da Análise de Componentes Principais de nove dimensões - AT: Altura do tórax; LT: Largura do tórax, CT: Comprimento do tórax, CTC: Comprimento total do corpo; CRT: Comprimento relativo do tórax, VT: Volume do

tórax, VRT: Volume relativo do tórax; CA: Comprimento do abdômen; CRA: Comprimento relativo do abdômen - de 20 espécies de Odonata projetadas no plano medido por seus dois componentes principais. *Ery\_bas*: *Erythrodiplax basalis*; *Ery\_fus*: *Erythrodiplax fusca*; *Fyl\_ama*: *Fylgia amazônica*; *Oli\_abb*: *Oligoclada abbreviata*; *Oli\_wal*: *Oligoclada walkeri*; *Per\_lai*: *Perithemis lais*; *Per\_tha*: *Perithemis thais*; *Mne\_aen*: *Mnesarete aenea*; *Mne\_wil*: *Mnesarete williamsoni*; *Aca\_aep*: *Acanthagrion aepiolum*; *Aca\_ken*: *Acanthagrion kennedii*; *Arg\_col*: *Argia collata*; *Arg\_ind*: *Argia indicatrix*; *Arg\_tin*: *Argia tinctipennis*; *Epi\_met*: *Epipleoneura metallica*; *Neo\_luz*: *Neoneura luzmarina*; *Pro\_ten*: *Protoneura tenuis*; *Psa\_ten*: *Psaironeura tenuissima*; *Het\_sil*: *Heteragrion silvarum*; *Oxy\_pet*: *Oxystigma petiolatum*.

**Tabela 3.** Correlações das nove métricas morfológicas de 20 espécies da ordem Odonata com os dois primeiros eixos da Análise de Componentes Principais (PCA).

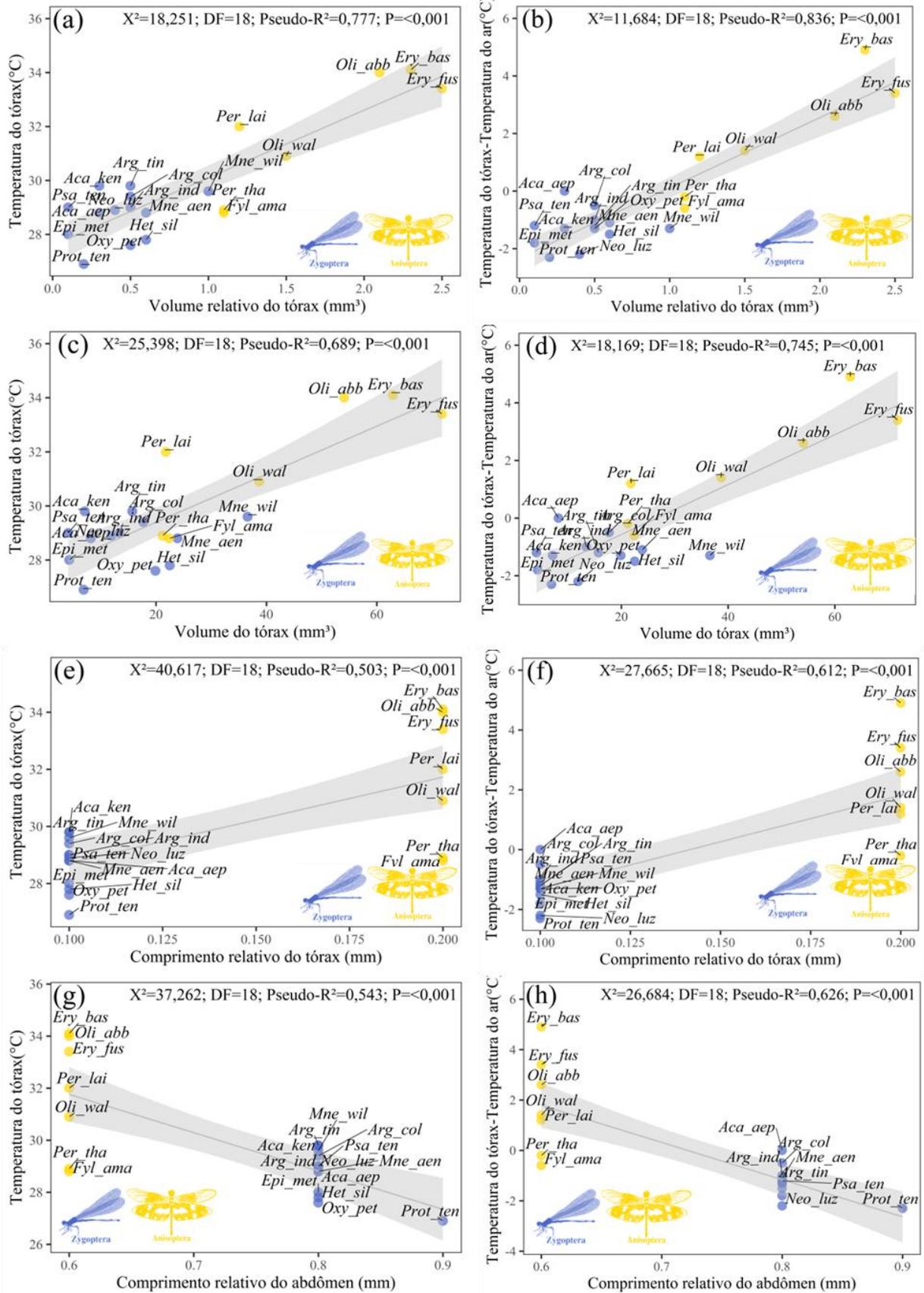
Variáveis morfológicas	Loadings	
	PC1	PC2
Comprimento total do corpo (CTC)	0,561	<b>0,813</b>
Altura do tórax (AT)	<b>-0,942</b>	-0,310
Comprimento do tórax (CT)	-0,576	<b>0,744</b>
Largura do tórax (LT)	<b>-0,952</b>	-0,276
Volume do tórax (VT)	<b>-0,889</b>	0,416
Volume relativo do tórax (VRT)	<b>-0,972</b>	-0,172
Comprimento relativo do tórax (CRT)	<b>-0,926</b>	-0,316
Comprimento do abdômen (CA)	<b>0,741</b>	0,655
Comprimento relativo do abdômen (CRA)	<b>0,934</b>	0,307
<b>Autovalor</b>	6,457	2,213
<b>%Explicação</b>	<b>71,75%</b>	<b>24,59%</b>

Avaliamos a relação entre as seis métricas selecionadas pela PCA (CT, CRT, VT, VRT, CA e CRA) com a média da temperatura do tórax e o calor excedente de 20 espécies da ordem Odonata, através do GLM. Também testamos separadamente cada uma das subordens Anisoptera e Zygoptera, devido às divergências ecofisiológicas entre elas. Todas as variáveis testadas mostraram relação com a temperatura do tórax e o calor excedente de Odonata, no qual o aumento do tamanho do tórax teve influência no aumento da temperatura do tórax e o

aumento do comprimento abdômen teve relação com a diminuição da temperatura. No entanto a  $T_{to}$  e  $T_{to}-T_a$  de Anisoptera foi afetada apenas pelas métricas torácicas e a  $T_{to}$  de Zygoptera apenas pelas métricas do abdômen (Material Suplementar, Tabela S5).

Todos os preditores morfológicos avaliados para a ordem Odonata tiveram relação significativa com a temperatura do tórax e com o calor excedente (Material Suplementar, Tabela S5). Dentre os quais o volume relativo do tórax mostrou substancial explicação tanto na  $T_{to}$  (Figura 9a) quanto na  $T_{to}-T_a$  (Figura 9b) da ordem. O volume do tórax também teve grande contribuição na  $T_{to}$  (Figura 9c) e na  $T_{to}-T_a$  (Figura 9d). O comprimento relativo do tórax ainda apresentou expressiva contribuição com a  $T_{to}$  (Figura 9e) e  $T_{to}-T_a$  (Figura 9f). É importante observar que as espécies de cada subordem são proporcionalmente iguais em relação ao comprimento do tórax. No qual notadamente as da subordem Zygoptera são proporcionalmente menores (cerca 0,1mm) em relação à Anisoptera. E estão localizadas em pontos distintos no gráfico, mostrando uma nítida diferença de temperatura entre elas (Figura 9e e Figura 9f). Dentre as métricas torácicas o comprimento do tórax foi a variável que teve menor efeito tanto na  $T_{to}-T_a$  (Material Suplementar, Figura S1b) quanto na  $T_{to}$  (Material Suplementar, Figura S1a).

Entre as métricas abdominais o acréscimo no comprimento relativo do abdômen mostrou substancial influência na diminuição da  $T_{to}$  (Figura 9g) e da  $T_{to}-T_a$  (Figura 9h). Aqui vale ressaltar que semelhante ao comprimento relativo do tórax, as espécies de cada subordem também foram proporcionalmente iguais em relação ao comprimento do abdômen, no qual as espécies de Zygoptera foram em média 0,2mm maiores do que as espécies de Anisoptera. O comprimento do abdômen apresentou menor explicação versus a  $T_{to}-T_a$  (Material Suplementar, Figura S1d) e a  $T_{to}$  (Material Suplementar, Figura S1c).

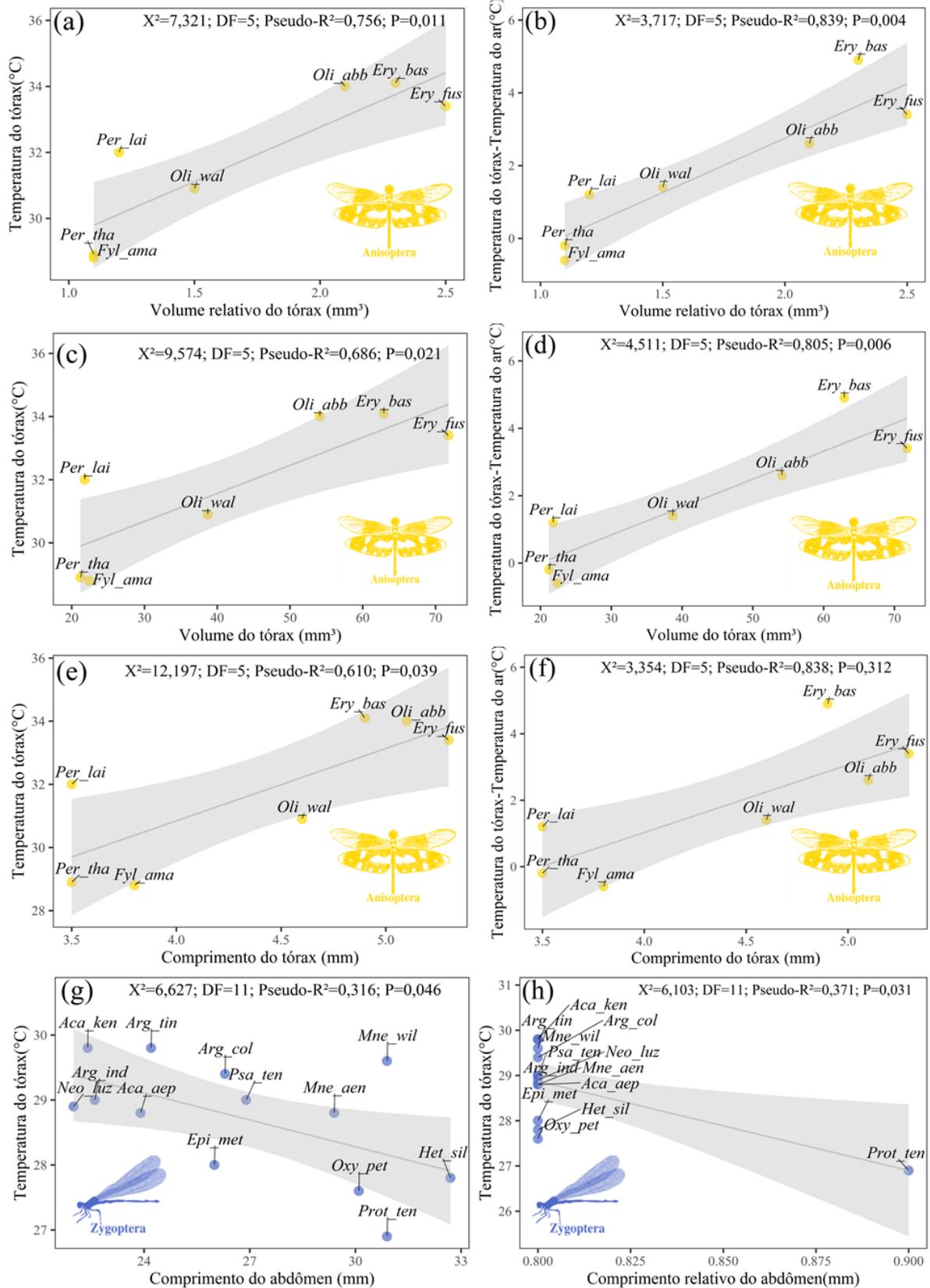


**Figura 9.** Resultados do Modelo Linear Geral (GLM) mostrando a relação entre: (a) e (b) o Volume relativo do tórax (VRT= Volume do tórax/Comprimento total do corpo), (c) e (d) o

Volume do tórax ( $VT = \text{Altura do tórax} \times \text{Largura do tórax} \times \text{Comprimento do tórax}$ ), **(e)** e **(f)** o Comprimento relativo do tórax ( $CRT = \text{Comprimento do tórax} / \text{Comprimento total do corpo}$ ), **(g)** e **(h)** o Comprimento relativo do abdômen ( $CRA = \text{Comprimento do abdômen} / \text{Comprimento total do corpo}$ ) da ordem Odonata com a temperatura do tórax ( $T_{to}$ ) e a diferença entre a temperatura do tórax e a temperatura do ar ( $T_{to} - T_a$ ). *Ery\_bas*: *Erythrodiplax basalis*; *Ery\_fus*: *Erythrodiplax fusca*; *Fyl\_ama*: *Fylgia amazônica*; *Oli\_abb*: *Oligoclada abbreviata*; *Oli\_wal*: *Oligoclada walkeri*; *Per\_lai*: *Perithemis lais*; *Per\_tha*: *Perithemis thais*; *Mne\_aen*: *Mnesarete aenea*; *Mne\_wil*: *Mnesarete williamsoni*; *Aca\_aep*: *Acanthagrion aepiolum*; *Aca\_ken*: *Acanthagrion kennedii*; *Arg\_col*: *Argia collata*; *Arg\_ind*: *Argia indicatrix*; *Arg\_tin*: *Argia tinctipennis*; *Epi\_met*: *Epipleoneura metallica*; *Neo\_luz*: *Neoneura luzmarina*; *Pro\_ten*: *Protoneura tenuis*; *Psa\_ten*: *Psaironeura tenuissima*; *Het\_sil*: *Heteragrion silvarum*; *Oxy\_pet*: *Oxystigma petiolatum*.

Cada subordem respondeu de forma diferente quanto à importância dos caracteres morfológicos para a regulação térmica. Somente as métricas torácicas exibiram efeito na  $T_{to}$  e  $T_{to} - T_a$  de Anisoptera. As maiores contribuições observadas para a regulação térmica desta subordem estão associadas à  $T_{to} - T_a$  explicada pelo: volume relativo do tórax (Figura 10b); comprimento do tórax (Figura 10f) e o volume do tórax (Figura 10d). Porém o efeito destas mesmas preditoras também foi considerável para o aumento da  $T_{to}$ : volume relativo do tórax (Figura 10a); o volume do tórax (Figura 10c) e o comprimento do tórax (Figura 10e). Não observamos o efeito do comprimento relativo do tórax devido às espécies serem proporcionalmente iguais em relação a esta métrica, como já mencionado anteriormente (Material Suplementar, Tabela S5).

Apenas a  $T_{to}$  da subordem Zygoptera foi afetada pelas métricas abdominais: o comprimento relativo do abdômen (Figura 10h) e o comprimento do abdômen (Figura 10g). Quase todas as espécies desta subordem são proporcionalmente iguais em relação ao tamanho deste tagma, a exceção de *P. tenuis* que foi a única relativamente maior (de 0,1mm) comparada às outras espécies desta subordem. Estes resultados mostram que existe uma ligeira tendência a uma diminuição da  $T_{to}$  média da subordem Zygoptera com o acréscimo no tamanho do abdômen.



**Figura 10.** Resultados do Modelo Linear Geral (GLM) mostrando a relação entre o Volume relativo do tórax (VRT= Volume do tórax/Comprimento total do corpo), o Volume do tórax (VT= Altura do tórax x Largura do tórax x Comprimento do tórax), o Comprimento do tórax

(CRT), o Comprimento relativo do abdômen (CRA) e o Comprimento relativo do abdômen (CRA= Comprimento do abdômen/Comprimento total do corpo) da ordem Odonata com a temperatura do tórax ( $T_{to}$ ) e a diferença entre a temperatura do tórax e a temperatura do ar ( $T_{to}-T_a$ ). **(a)**, **(b)**, **(c)**, **(d)**, **(e)** e **(f)** mostram a influência que as métricas do tórax tiveram apenas na  $T_{to}$  e  $T_{to}-T_a$  da subordem Anisoptera. E **(g)** e **(h)** mostram a influência que as métricas do abdômen tiveram apenas na  $T_{to}$  da subordem Zygoptera. *Ery\_bas*: *Erythrodiplax basalis*; *Ery\_fus*: *Erythrodiplax fusca*; *Fyl\_ama*: *Fylgia amazônica*; *Oli\_abb*: *Oligoclada abbreviata*; *Oli\_wal*: *Oligoclada walkeri*; *Per\_lai*: *Perithemis lais*; *Per\_tha*: *Perithemis thais*, *Mne\_aen*: *Mnesarete aenea*; *Mne\_wil*: *Mnesarete williamsoni*; *Aca\_aep*: *Acanthagrion aepiolum*; *Aca\_ken*: *Acanthagrion kennedii*; *Arg\_col*: *Argia collata*; *Arg\_ind*: *Argia indicatrix*; *Arg\_tin*: *Argia tinctipennis*; *Epi\_met*: *Epipleoneura metallica*; *Neo\_luz*: *Neoneura luzmarina*; *Pro\_ten*: *Protoneura tenuis*; *Psa\_ten*: *Psaironeura tenuissima*; *Het\_sil*: *Heteragrion silvarum*; *Oxy\_pet*: *Oxystigma petiolatum*.

#### 4. Discussão

Neste estudo, avaliamos a relação entre a regulação térmica de Odonata e as preditoras ambientais (temperatura e cobertura do dossel), e também com as variáveis morfológicas (métricas torácicas e abdominais). Além disso, buscamos classificar as espécies dentro das categorias de termorregulação e estimar a diferença de temperatura entre elas. Destacamos quatro principais resultados: primeiro, as espécies classificadas como heliotérmicas apresentam temperatura do tórax aproximadamente um grau acima das espécies termoconformadores. Segundo, observamos uma relação da temperatura do tórax de Zygoptera com a temperatura do ar e de Anisoptera com cobertura do dossel. Terceiro, indicamos a importância do tórax e do abdômen para a ordem Odonata e separação das subordens. E por último, o tórax foi importante para a subordem Anisoptera para produção de calor, assim como o abdômen foi importante para Zygoptera para dissipar calor.

Classificamos as espécies analisadas em duas categorias de termorregulação existentes para a ordem Odonata (heliotérmicos e termoconformadores). Esperávamos que a temperatura dos heliotérmicos fosse em média maior que a dos termoconformadores, devido a maior necessidade de absorção de calor para sua termorregulação, por serem mais robustos. A diferença média de temperatura do tórax entre as categorias foi de aproximadamente um grau dos heliotérmicos acima dos termoconformadores. Mas não observamos diferença no excesso de calor do tórax entre as categorias, o que nos sugere que tais espécies, típicos ectotérmicos,

são vulneráveis as oscilações microclimáticas, onde as florestas exercem um papel importante em sua termorregulação. Apesar de significativa, há pouca variação de temperatura entre as categorias, possivelmente devido a pouca variação térmica ambiental ( $30,3^{\circ}\text{C}\pm 1,3$ ). A maior diferença de temperatura interespecífica observada foi de aproximadamente  $7^{\circ}\text{C}$  (entre *E. basalis* e *P. tenuis*). Em contraste as observações de Castillo-Perez et al. (2022), que avaliou os limites térmicos de diferentes espécies de Zygoptera e Anisoptera em ambientes conservados e alterados, no México, chegaram até  $15^{\circ}\text{C}$  entre as subordens.

Os anisopteros *E. basalis*, *O. abbreviata*, *E. fusca*, *P. lais* e *O. walkeri* podem ser considerados heliotérmicos característicos, comumente vistos em ambientes ensolarados. Enquanto que os zygopteros *E. metallica*, *H. silvarum*, *O. petiolatum* e *P. tenuis* são animais termoconformadores peculiares, frequentemente encontrados em locais sombreados. Embora apresentem diferenças de temperatura, grande parte das espécies (n=11 spp.) mostram ressalvas nas características térmicas, com temperaturas mais próximas a temperatura do ar, demonstrando um continuum entre os extremos dos padrões teóricos de termorregulação. Os pequenos Anisopteros *P. thais* e *F. amazonica* e os Zygopteros *N. luzmarina*, *P. tenuissima* e os gêneros *Argia* e *Mnesarete*, foram frequentemente observados em pequenas manchas de sol ou intercalando entre manchas de sol e sombra. Por outro lado, espécies do gênero *Acanthagrion*, apesar de possuírem o tamanho do corpo relativamente pequeno foram observadas empoleiradas ao sol.

O tamanho pode ser um fator preponderante para distinguir as espécies entre os diferentes hábitos termorregulatórios, onde espécies menores podem aproveitar melhor o microambiente térmico disponível à sombra das árvores. No entanto, muitas espécies ainda escapam a essa previsão. Pois, além do tamanho outros fatores também podem afetar a absorção de calor radiante como a coloração. No trabalho de Laakso e colaboradores (2021) tanto o tamanho quanto a pigmentação das asas mostraram interação e foram importantes no aquecimento e ativação de *Calopteryx splendens* (Harris, 1780). Samejima e Tsubaki (2010) demonstraram a influência da pigmentação das asas na temperatura corpórea de Odonata, proporcionando um rápido aquecimento do corpo, e por isso sendo mais restritos a ambientes com pouca entrada de luminosidade, resultando em comportamentos mais territorialistas. Outras diversas pesquisas também relatam a associação de cores escuras, como o vermelho e o preto, a temperaturas mais baixas por influenciarem em um aquecimento mais acelerado. E cores mais claras, como o azul, a temperaturas mais elevadas em que é sugerido maior refletância de luz (Key et al., 1954; Zeus et al., 2014; Pinkert et al., 2017; Castillo-Pérez et

al., 2022), embora outros autores não tenham encontrado relação da temperatura corpórea com a pigmentação do corpo (Outomuro & Ocharan, 2011; Rivas et al., 2016). Neste sentido, é preciso investigar a interação de mais características morfológicas como coloração e tamanho e como estes fatores interagem com a temperatura corpórea das libélulas.

Nossos resultados também sustentaram a segunda hipótese de que: a temperatura corporal da subordem Anisoptera, seria mais afetada pelo gradiente de cobertura do dossel. E a temperatura corporal de Zygoptera seria mais afetada pela temperatura do ar. Em que esperávamos uma diminuição na temperatura corporal da subordem Anisoptera em relação ao gradiente de cobertura do dossel: por serem mais robustos e possuem controle homeostático mais eficiente. E que Zygoptera apresentaria menor eficiência em manter a temperatura corporal constante em relação ao ar: por possuírem, no geral alta condutância térmica associada ao tamanho do corpo. Neste estudo observamos que os Anisopteros (da família Libellulidae) possuem sua temperatura do tórax e calor excedente estreitamente relacionada ao gradiente de cobertura do dossel, que tem correlação com a incidência de radiação solar, (Vannote, 1980; Lüttge, 1997). As espécies de Anisoptera devem possuir melhores habilidades térmicas para troca de calor irradiativo devido ao tamanho corporal mais robusto (Corbet & May, 2008). A temperatura do tórax média da subordem Zygoptera, por outro lado, parece depender inteiramente da temperatura do ar e menos da exposição direta a luz solar. No trabalho de Worthen (2017) os libellulídeos: *Libellula herculea* Karsch, 1889 e *Orthemis discolor* (Burmeister, 1839), apresentaram comportamento heliotérmico típico: empoleiravam-se ao sol durante os períodos mais quentes do dia e suas atividades eram mais dependentes da radiação do que da temperatura do ar. Nossos resultados também corroboram com De Marco et al (2015) que observaram que o tamanho do tórax de espécies heliotérmicas maiores é proporcional ao aumento da largura do canal e, portanto, da incidência dos raios solares. Enquanto que espécies menores estavam mais restritas aos ambientes com densa cobertura florestal sugerindo uma dependência maior por troca de calor convectivo. Diante disso, é importante avaliar a regulação térmica, principalmente de espécies termoconformadores, como a maioria dos Zygopteros, e sua relação com a integridade física das florestas, pois parecem ser mais dependentes da sombra delas para termorregular.

Todas as métricas morfológicas foram importantes para a regulação térmica de Odonata. No entanto, na avaliação das subordens encontramos uma relação entre o aumento da temperatura torácica e do calor em excesso de Anisoptera com o aumento do tamanho do tórax, e uma diminuição da temperatura de Zygoptera com o aumento do abdômen. Apesar

das espécies da subordem Anisoptera, avaliadas neste estudo, apresentarem o comprimento corporal menor em relação às espécies de Zygoptera, o seu tórax é relativamente maior, enquanto o abdômen é mais curto. Desta forma, o tórax mais robusto poderia facilitar a produção de calor, através da contração dos músculos torácicos. Enquanto o seu abdômen mais curto e largo poderia dificultar a perda de calor para o ambiente. Heinrich & Casey (1978) avaliaram a transferência de calor entre o tórax e o abdômen de pousadores e voadores de Libellulidae. Eles observaram que os libellulídeos de menor tamanho corpóreo, como a *Libellula saturata* Uhler, 1857, exibem capacidade rara para transferir calor entre o tórax e o abdômen, e que, o calor excedente é proporcional ao aumento do tamanho corporal.

Neste sentido, o tórax menor e mais estreito das espécies de Zygoptera pode estar associado à capacidade reduzida de produzir calor. E o tamanho proporcionalmente maior do abdômen poderia facilitar a perda de calor para o ambiente e auxiliar nos ajustes posturais, modulando as fontes de calor externas. Isso sugere a importância do abdômen para o controle da temperatura dos Zygopteros, por serem menores e possuírem menos controle fisiológico. Pois o abdômen também é frequentemente utilizado por algumas espécies pequenas de Anisoptera, em atividades comportamentais empregadas para diminuir a temperatura do tórax como a postura do obelisco (De Marco & Resende 2002; May, 2017; Castillo-Perez ET al., 2022). No entanto, outros fatores, além do tamanho, também podem afetar a relação destes indivíduos com as variações microclimáticas e influenciar em suas respostas termorregulatórias, como já mencionado anteriormente. Um estudo conduzido na Ucrânia, por exemplo, com a libelinha *Sympecma paedisca* demonstrou que além do sol, ela usa a musculatura torácica para aquecer o corpo (Gorb, 2019). Apesar de notadamente dependentes das condições ambientais, as espécies apresentam plasticidade fenotípica e devem possuir diversificadas habilidades térmicas que ainda não foram investigadas. Neste sentido, é importante a realização de pesquisas que investiguem o controle fisiológico e as trocas de calor entre os diferentes tagmas; estratégias de controles posturais e seleção de microambiente térmico.

Nossos resultados apontam que as subordens Anisoptera e Zygoptera apresentaram respostas distintas aos mesmos fatores: a média da temperatura do tórax das espécies da subordem Zygoptera oscilou próxima e abaixo da temperatura ambiente e o tamanho do abdômen foi contrariamente proporcional à temperatura do corpo. O pequeno tamanho do tórax de Zygoptera poderia estar associado a um controle fisiológico restrito e tornar estas espécies mais dependentes da temperatura ambiental e influenciar em sua limitada capacidade

de voo e dispersão. E o tamanho proporcionalmente maior do abdômen poderia facilitar a perda de calor para o ambiente auxiliando nos ajustes posturais para modular as fontes de calor. Isto sugere a importância deste tagma para que os *Zygopteros* regulem a temperatura do tórax. Em contrapartida, notamos que temperatura média de *Anisoptera* prevaleceu acima da temperatura ambiente, e a temperatura do tórax mostrou estreita relação com a cobertura vegetal e ainda foi proporcional ao tamanho do tórax. É sugestivo que além destes indivíduos possuírem uma inclinação maior a radiação solar devido ao tamanho corporal maior, o tórax mais robusto também poderia facilitar a produção de calor, através da contração dos músculos torácicos durante o voo. Embora estas subordens possuam características ecofisiológicas diferenciadas, proporcionando respostas distintas às mesmas condições ambientais, são muito dependentes das suas oscilações e poderão ser bastante afetadas por alterações em seus habitats.

A perda de cobertura vegetal causada pela intensa conversão do uso do solo na Amazônia e a fragmentação de habitat (Skole & Tucker, 1993; Foley et al., 2007), além de oferecer condições térmicas que não atendem as exigências de algumas espécies, podem trazer grandes consequências para a biodiversidade local. Tais alterações também contribuem para as mudanças climáticas do planeta (Fearnside, 2020), onde o aumento da temperatura poderia gerar graves ameaças, principalmente às espécies menores. Espécies mais dependentes da radiação, no entanto, poderiam ser favorecidas pela perda da cobertura vegetal (De Marco et al., 2015; Calvão et al., 2018; Pereira et al., 2019; Resende et al., 2021) e o aumento da temperatura nestes habitats, expandindo seu alcance geográfico. E, é provável que conquistem o lugar das espécies mais dependentes da sombra das florestas e do microambiente térmico disponível nelas para termorregular. Neste contexto, nossos resultados mostram que tanto espécies heliotérmicas quanto termoconformadores podem ser afetadas pela perda da cobertura vegetal e pelos efeitos do aumento da temperatura global até o final do século. Mudando os seus modos de distribuição (Ott, 2001), tanto local quanto regionalmente, o que poderia resultar em graves consequências para os ecossistemas. Portanto, é importante que futuros estudos possam auxiliar na compreensão da distribuição destes insetos para elaboração de medidas eficazes de conservação como: a regulação da temperatura corporal associada ao tempo de duração de voo; capacidade de dispersão e padrões de atividades em ambientes com maiores amplitudes térmicas.

Embora o tamanho tenha sido importante nas respostas termorregulatórias, há ressalvas entre as características térmicas de muitas espécies. Sendo importante avaliar a

influência da interação de outros aspectos ecofisiológicos na regulação da temperatura. As subordens utilizam parâmetros morfológicos e ambientais distintos para o controle da sua temperatura que variam conforme o tamanho. Sugerimos ainda a importância do abdômen para que os Zygopteros regulem a temperatura corporal, dependente das oscilações da temperatura do ar. E que a regulação térmica de Anisoptera estaria mais associada à incidência da radiação solar (correlacionada ao gradiente de cobertura vegetal), devido ao tamanho corporal maior. E o tórax mais robusto também poderia influenciar na produção de calor. Este trabalho gera novas ferramentas que poderão ser eficazes na avaliação de impacto ambiental. Assim como, auxiliar no entendimento da distribuição destas espécies e também oferece suporte para trabalhos que visam prever cenários futuros.

### **Agradecimentos**

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa concedida durante o mestrado, para a primeira autora. A Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Programa de Pós-graduação em Ecologia (PPGEAP) e o Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO) pela sua estrutura e suporte financeiro. Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), responsáveis pelo processo de licenciamento ambiental e emissão de autorizações de pesquisa para este estudo. Agradecemos também ao BRC consortium-Hydro pelo suporte do projeto “Monitoring the Aquatic Biota of Streams in Areas of Paragominas Mining SA, Pará, Brasil”. Somos imensamente gratos a Ana Luiza Andrade, Ana Luísa Fares Biondi Lima, Gilberto Nepomuceno Salvador, Naiara Raiol Torres, Thaísa Sala Michelan, and Thiago Augusto Pedroso Barbosa pela ajuda na coleta de dados em campo e a Rodrigo A. Barbosa Oliveira, Rute Souza, Jorge Luiz da Silva Pereira e Cleide Bahia pelo auxílio na mensuração das medidas morfológicas. Ao Erival Prata, Joás Brito e Gabriel Martins que forneceram assistência na redação do artigo.

## 5. Referências

- Andri *et mult. al.* S., 2022. DescTools: Tools for Descriptive Statistics. R package version 0.99.47, <https://cran.r-project.org/package=DescTools>.
- Belle, J., 1996. Higher classification of the South-American Gomphidae (Odonata). *Zoologische Mededeelingen*, 70, 297-324.
- Belle, J., 1998. Synopsis of the Neotropical genus *Rhodygygia* Kirby, 1889 (Odonata: Libellulidae). *Zool. Med. Leiden* 72, 11.xii: 1-13, figs 1-33.— ISSN 0024-0672.
- Borror, D. J., 1931. The Genus *Oligoclada* (Odonata): By Donald J. Borror. (No. 22). The University.
- Borror, D. J., 1942. A revision of Libelluline genus *Erythrodiplax* (Odonata). Ohio State University Graduate Studies. Contributions in Zoology and Entomology, 4, 193-206.
- Callisto, M.C.B.M. Alves, J.M. Lopes, & M.A. Castro, 2014. (Org.) Condições ecológicas em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos 1ed. Companhia Energética de Minas Gerais. Belo Horizonte. 264p.
- Calvão, L. B., Juen, L., de Oliveira Junior, J. M. B., Batista, J. D., & de Marco Júnior, P., 2018. Land use modifies Odonata diversity in streams of the Brazilian Cerrado. *Journal of Insect Conservation*, 22, 675–685. <https://doi.org/10.1007/s10841-018-0093-5>
- Carvalho, F.G.D., Pinto, N.S., Oliveira Júnior, J.M.B.D., & Juen, L., 2013. Effects of marginal vegetation removal on Odonata communities. *Acta Limnol. Bras.*, 25, 10-18.
- Casey, T. M., 1988. Thermoregulation and Heat Exchange (pp. 119–146). [https://doi.org/10.1016/S0065-2806\(08\)60024-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2806(08)60024-7)
- Castillo-Pérez, E. U., Suárez-Tovar, C. M., González-Tokman, D., Schondube, J. E., & Córdoba-Aguilar, A., 2022. Insect thermal limits in warm and perturbed habitats: Dragonflies and damselflies as study cases. *Journal of Thermal Biology*, 103, 103164. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.103164>
- Cezário, R.R., Firme, P.P., Pestana, G.C., Vilela, D.S., Juen, L., Santos, J.C., & Fernandes, G.W. 2020. Measuring Arthropod Biodiversity.
- Chapman, J. W., Reynolds, D. R., & Wilson, K., 2015. Long-range seasonal migration in insects: mechanisms, evolutionary drivers and ecological consequences. *Ecology Letters*, 18, 287–302. <https://doi.org/10.1111/ele.12407>
- Church, N. S., 1960. Heat Loss and the Body Temperatures of Flying Insects. *Journal of Experimental Biology*, 37, 186–212. <https://doi.org/10.1242/jeb.37.1.186>
- Corbet, P.S., 1962. A biology of dragonflies. Witherby, London.
- 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.
- Cordoba-Aguilar A. 2008. *Dragonflies and Damselflies: Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research*. Oxford, UK: Oxford Univ. Press. 290 pp.
- Dalzochio, M. S., Périco, E., Renner, S., & Sahlén, G., 2018. Effect of tree plantations on the functional composition of Odonata species in the highlands of southern Brazil. *Hydrobiologia*, 808, 283–300. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3431-9>
- Davidson, E. A., de Araújo, A. C., Artaxo, P., Balch, J. K., Brown, I. F., C. Bustamante, M. M., Coe, M. T., DeFries, R. S., Keller, M., Longo, M., Munger, J. W., Schroeder, W., Soares-Filho, B. S., Souza, C. M., & Wofsy, S. C., 2012. The Amazon basin in transition. *Nature*, 481, 321–328. <https://doi.org/10.1038/nature10717>
- De Marco Jr, P., Latini, A. O., & Resende, D. C., 2005. Thermoregulatory constraints on behavior: patterns in a neotropical dragonfly assemblage. *Neotropical Entomology*, 34, 155–162. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000200002>
- De Marco Jr.P., & Resende, D.C., 2002. Activity patterns and thermoregulation in a tropical dragonfly assemblage. *Odonatologica*, 31, 129-138.
- De Marco Jr. & M.V.C. Vital., 2008. Ecology of *Tigriagrion aurantinigrum* Calvert in response to variations in environmental conditions (Zygoptera: Coenagrionidae). *Odonatologica*, 37, 1–11.
- De Marco Jr.P., Batista, J.D., & Cabette, H.S.R., 2015. Community assembly of adult odonates in tropical streams: an ecophysiological hypothesis. *PLoS One*, 10: e0123023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123023>.
- De Marco, P., & Nóbrega, C. C., 2018. Evaluating collinearity effects on species distribution models: An approach based on virtual species simulation. *PLOS ONE*, 13, e0202403. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202403>
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C., & Martin, P. R., 2008. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 6668–6672. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709472105>
- Dirzo, R., & Raven, P. H., 2003. Global state of biodiversity and loss. *Annual review of Environment and Resources*, 28, 137-167. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105532>
- Douglas Bates, Martin Maechler, Ben Bolker, Steve Walker. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67, 1-48. [doi:10.18637/jss.v067.i01](https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01).

Edney, E. B., & Barrass, R., 1962. The body temperature of the tsetse fly, *Glossina morsitans* Westwood (Diptera, Muscidae). *Journal of Insect Physiology*, 8, 469–481. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(62\)90079-3](https://doi.org/10.1016/0022-1910(62)90079-3)

Efron, B., 1978. Regression and ANOVA with zero-one data: Measures of residual variation. *Journal of the American Statistical Association*, 73, 113-121.

Fearnside, P. M., 2005. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates, and Consequences. *Conservation Biology*, 19, 680–688. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x>

Fearnside, P.M. 2020. Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e consequências. p. 7-19. In: Fearnside, P.M. (ed.) *Destrução e Conservação da Floresta Amazônica*, Vol. 1. Editora do INPA, Manaus, Amazonas. 368 p. (no prelo). ISBN: 978-85-211-0193-2

Foley, JA , Asner, GP , Costa, MH, Coe, MT, DeFries, R., Gibbs, HK, Howard, EA, Olson, S., Patz, J., Ramankutty, N., & Snyder, P., 2007. Amazônia revelada: Degradação florestal e perda de bens e serviços ecossistêmicos na Bacia Amazônica *Fronteiras em Ecologia e Meio Ambiente* , 5, 25-32. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[25:ARFDAL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[25:ARFDAL]2.0.CO;2)

Forister, M. L., Pelton, E. M., & Black, S. H., 2019. Declines in insect abundance and diversity: We know enough to act now. *Conservation Science and Practice*, 1. <https://doi.org/10.1111/csp2.80>

Francez, L.M.D.B., Carvalho, J. O. P. D., Jardim, F. C. D. S., Quanz, B., & Pinheiro, K.A.O., 2009. Efeito de duas intensidades de colheita de madeira na estrutura de uma floresta natural na região de Paragominas, Pará. *Acta Amazonica*, 39, 851-863.

From Suhling, F., Sahlén, G., Gorb, S., Kalkman, V.J., Dijkstra, K-D.B., van Tol, J., 2015. Order Odonata. In: Thorp, J., Rogers, D.C. (Eds.), *Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates*, Academic Press, 893–932. ISBN: 9780123850263

Garcia Junior, M.D.N., Damasceno, M.T. dos S., Vilela, D.S., & Souto, R.N.P., 2022. The Brazilian Legal Amazon Odonatofauna: a perspective of diversity and knowledge gaps. *EntomoBrasilis*, 15, e977. <https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v15.e977>

Gardner TA, Ferreira J, Barlow J et al. 2013. A social and ecological assessment of tropical land-uses at multiple scales: the Sustainable Amazon Network. *Philosophical Transactions of the Royal Society Series B* 368 (1619), 20120166. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0166>.

Garrison, R.W., 1990. A synopsis of the genus *Hetaerina* with descriptions of four new species (Odonata: Calopterygidae). *Transactions of the American Entomological Society*, 175-259.

Garrison, R. W., 2004. An analysis of the *Psaironeura tenuissima* complex, including synonymy of *P. machadoi* De Marmels with *P. bifurcata* Sjöstedt (Zygoptera: Protoneuridae). *Odonatologica*, 33, 83-89.

Garrison, R.W., von Ellenrieder, N., & Louton, J.A., 2006. Dragonfly genera of the New World: an illustrated and annotated key to the Anisoptera. JHU Press.

Garrison, R. W., 2010. Damselfly genera of the new world an illustrated and annotated key to the zygoptera (No. 595.733097 G3).

Garrison, R. W., 2014. Review of *Oxystigma* Selys with the synonymy of & *Oxystigma williamsoni* & (Odonata: Heteragrionidae) *Zootaxa*, 3780(2), 347. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3780.2.7>

Gedney, N., & Valdes, P. J., 2000. The effect of Amazonian deforestation on the northern hemisphere circulation and climate. *Geophysical Research Letters*, 27, 3053-3056. <https://doi.org/10.1029/2000GL011794>.

Gorb, S. N., 2019. Body temperatures in *Sympetma paedisca* (Zygoptera, Lestidae) in the autumn in the Central Ukraine. *International Journal of Odonatology*, 22, 95–100. <https://doi.org/10.1080/13887890.2019.1587645>

Gregory, S. V., Swanson, F. J., McKee, W. A., & Cummins, K. W., 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience*, 41, 540-551. <https://doi.org/10.2307/1311607>.

H. Wickham. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016.

Hadley, N. F., Quinlan, M. C., & Kennedy, M. L., 1991. Evaporative Cooling in the Desert Cicada: Thermal Efficiency and Water\*sol;Metabolic Costs. *Journal of Experimental Biology*, 159, 269–283. <https://doi.org/10.1242/jeb.159.1.269>

Heinrich, B., 1974. Thermoregulation in Endothermic Insects. *Science*, 185(4153), 747–756. <https://doi.org/10.1126/science.185.4153.747>

Heinrich, B., & Casey, T. M., 1978. Heat Transfer in Dragonflies: ‘Fliers’ and ‘Perchers.’ *J. Exp. Biol.*, 74, 17–36. <https://doi.org/10.1242/jeb.74.1.17>

Heinrich, B., 1995. Insect thermoregulation. *Endeavour*, 19, 28–33. [https://doi.org/10.1016/0160-9327\(95\)98891-I](https://doi.org/10.1016/0160-9327(95)98891-I)

Hilfert-Ruppell, D., 1998. Temperature dependence of flight activity of odonata by ponds. *Odonatologica*, 27, 45–59.

Hutchinson, G. E., & MacArthur, R. H., 1959. A Theoretical Ecological Model of Size Distributions Among Species of Animals. *The American Naturalist*, 93, 117–125. <https://doi.org/10.1086/282063>

Juen, L., Oliveira-Junior, J. M. B. de, Shimano, Y., Mendes, T. P., & Cabette, H. S. R., 2013. Composição e riqueza de Odonata (Insecta) em igarapés com diferentes níveis de conservação em um ecótono Cerrado-Floresta Amazônica. *Acta Amazonica*, 44, 223–233. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672014000200008>

Kaufmann, P.R., Levine, P., Peck, D.V., Robison, E. G., & Seeliger, C., 1999. Quantifying physical habitat in wadeable streams (p. 149). USEPA [National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Western Ecology Division].

Key, K.H., & Day, M.F., 1954. A temperature-controlled physiological colour response in the grasshopper *Kosciuscola tristis* Sjost. (Orthoptera: Acrididae). *Australian Journal of Zoology*, 2, 309-339.

Laakso, L. K., Ilvonen, J. J., & Suhonen, J., 2021. Phenotypic variation in male *Calopteryx splendens* damselflies: the role of wing pigmentation and body size in thermoregulation. *Biological Journal of the Linnean Society*, 134, 685–696. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blab102>

Legendre, P., & Legendre, L., 2012. *Numerical Ecology*. Amsterdam, Elsevier Science.

Lencioni, F. A. A., 2006. *The damselflies of Brazil: an illustrated guide-Coenagrionidae*. São Paulo, All Print Editora, 430p.

Lencioni, F. A.A., 2005. *The damselflies of Brazil: an illustrated guide- The non Coenagrionidae Families*. São Paulo, All Print Editora, 332p.

Leonard, J.W., 1977. A revisionary study of the genus *Acanthagrion* (Odonata: Zygoptera).

Lüttge, U., 1997. *Physiological Ecology of Tropical Plants*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03340-1>.

Malhi, Y., Roberts, J. T., Betts, R. A., Killeen, T. J., Li, W., & Nobre, C. A., 2008. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *science*, 319, 169-172. <https://doi.org/10.1126/science.1146961>.

May, M. L., 1976. Thermoregulation and adaptation to temperature in dragonflies (Odonata: Anisoptera). *Ecological Monographs*, 46, 1–32. doi:10.2307/1942392.

May, M. L., 1977. Thermoregulation and Reproductive Activity in Tropical Dragonflies of the Genus *Micrathyria*. *Ecology*, 58, 787–798. <https://doi.org/10.2307/1936214>

May, M.L., 1979. Insect thermoregulation. *Amu*. 24, 313-349.

May, M.L., 1980. Temporal activity patterns of *Micrathyria* in Central America (Anisoptera: Libellulidae). *Odonatologica*, 9, 57–74.

May, M. L., 1991. Thermal adaptations of dragonflies, revisited. *Advances in Odonatology*, 5, 71-88.

May, M.L., 2017. Body temperature regulation in the dragonfly, *Arigomphus villosipes* (Odonata: anisoptera). *International Journal Of Odonatology*, 20, 151-163. doi: 10.1080/13887890.

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.

Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., ... & Wagner, H., 2020. Package 'vegan'. Community Ecology Package, R Package Version, 2(2).

Oliveira-Junior JMB, De Marco P, Dias-Silva K et al. 2017. Effects of human disturbance and riparian conditions on Odonata (Insecta) assemblages in eastern Amazon basin streams. *Limnologia* 66, 31–39.

Oliveira-Junior, J. M. B., & Juen, L., 2019. The Zygoptera/Anisoptera ratio (Insecta: Odonata): a new tool for habitat alterations assessment in Amazonian streams. *Neotropical entomology*, 48(4), 552-560.

Ott, J., 2001. Expansion of Mediterranean Odonata in Germany and Europe — consequences of climatic changes. In: Walther, GR., Burga, C.A., Edwards, P.J. (eds) "Fingerprints" of Climate Change. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8692-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8692-4_6).

Outomuro, D., & Ocharan, F. J., 2011. Wing pigmentation in Calopteryx damselflies: a role in thermoregulation? *Biological Journal of the Linnean Society*, 103, 36–44. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2011.01641.x>

Peck, D. V., Herlihy, A. T., Hill, B. H., Hughes, R. M., Kaufmann, P. R., Klemm, D.J., Lazorchak, J. M., McCormick, F. H., Peterson, S. A., Ringold, P. L., Magee, T. & Cappaert, M. R.. 2005. Environmental Monitoring and Assessment Program - Surface Waters Western Pilot Study: Field Operations Manual for Wadeable Streams. EPA Report EPA 600/R-05/xxx, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, DC.

Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification.

Pereira, D.F.G., de Oliveira Junior, J.M.B., & Juen, L., 2019. Environmental changes promote larger species of Odonata (Insecta) in Amazonian streams. *Ecological Indicators*, 98, 179–192. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.09.020>

Pessacq, P., 2014. Synopsis of Epipleoneura (Zygoptera, Coenagrionidae, "Protoneuridae") with emphasis on its Brazilian species *Zootaxa*, 3872, 201. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3872.3.1>

Pinkert, S., Brandl, R., & Zeuss, D., 2017. Colour lightness of dragonfly assemblages across North America and Europe. *Ecography*, 40, 1110–1117. <https://doi.org/10.1111/ecog.02578>.

Prange, H. D., & Pinshow, B., 1994. Thermoregulation of an unusual grasshopper in a desert environment: The importance of food source and body size. *Journal of Thermal Biology*, 19, 75–78. [https://doi.org/10.1016/0306-4565\(94\)90011-6](https://doi.org/10.1016/0306-4565(94)90011-6)

Prange, H. D., 1996. Evaporative cooling in insects. *Journal of Insect Physiology*, 42, 493–499. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(95\)00126-3](https://doi.org/10.1016/0022-1910(95)00126-3)

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

- K., Luiza-Andrade, A., Guillermo, R., Cordero-Rivera, A., & Juen, L., 2021. Impact of environmental changes on the behavioral diversity of the Odonata (Insecta) in the Amazon. *Scientific Reports*, 11, 9742. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88999-7>
- Ripley, B., Venables, B., Bates, D. M., Hornik, K., Gebhardt, A., Firth, D., & Ripley, M. B., 2013. Package ‘mass’. *Cran R*, 538.
- Rivas, M., Martínez-Meyer, E., Muñoz, J., & Córdoba-Aguilar, A., 2016. Body temperature regulation is associated with climatic and geographical variables but not wing pigmentation in two rubyspot damselflies (Odonata: Calopterygidae). *Physiological Entomology*, 41, 132–142. <https://doi.org/10.1111/phen.12137>
- Roberts, S. P., & Harrison, J. F., 1998. Mechanisms of Thermoregulation in Flying Bees. *American Zoologist*, 38, 492–502. <https://doi.org/10.1093/icb/38.3.492>
- Samejima, Y., & Tsubaki, Y., 2010. Body temperature and body size affect flight performance in a damselfly. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 64, 685–692. <https://doi.org/10.1007/s00265-009-0886-3>
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. G., 2019. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8–27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- Sarkar, D., Sarkar, M. D., & KernSmooth, S., 2018. Package ‘lattice’.
- Savopoulou-Soultani, M., Papadopoulos, N. T., Milonas, P., & Moyal, P., 2012. Abiotic Factors and Insect Abundance. *Psyche: A Journal of Entomology*, 2012, 1–2. <https://doi.org/10.1155/2012/167420>
- Simpson, G. L., Team, R. C., Bates, D. M., Oksanen, J., & Simpson, M. G. L., 2019. Package ‘permute’.
- Skole, D., & Tucker, C., 1993. Tropical Deforestation and Habitat Fragmentation in the Amazon: Satellite Data from 1978 to 1988. *Science*, 260, 1905–1910. <https://doi.org/10.1126/science.260.5116.1905>
- Souza, C. M., Z. Shimbo, J., Rosa, M. R., Parente, L. L., A. Alencar, A., Rudorff, B. F. T., Hasenack, H., Matsumoto, M., G. Ferreira, L., Souza-Filho, P. W. M., de Oliveira, S. W., Rocha, W. F., Fonseca, A. v., Marques, C. B., Diniz, C. G., Costa, D., Monteiro, D., Rosa, E. R., Vélez-Martin, E., ... Azevedo, T. (2020). Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(17), 2735. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>
- Stille, M., 1996. Queen/worker thorax volume ratios and nest-founding strategies in ants. *Oecologia*, 105, 87–93. <https://doi.org/10.1007/BF00328795>
- Tennessee, K. J., 2004. *Acanthagrion aepiolum* sp. nov. from South America (Odonata: Coenagrionidae). *International Journal of Odonatology*, 7, 79–86. <https://doi.org/10.1080/13887890.2004.9748197>

Tuff, K. T., Tuff, T., & Davies, K. F., 2016. A framework for integrating thermal biology into fragmentation research. *Ecology Letters*, 19, 361–374. <https://doi.org/10.1111/ele.12579>.

Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E., 1980. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 130–137. <https://doi.org/10.1139/f80-017>

Veloso, H.P., Rangel-Filho, A.L.R., & Lima, J.C.A., 1991. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. *Ibge*.

Vilela, D. S., Cordero-Rivera, A., & Guillermo-Ferreira, R., 2019. The female of *Heteragrion icterops* Selys, 1862 (Odonata: Heteragrionidae) with comments and key on the Brazilian females of *Heteragrion* group B. *Zootaxa*, 4576, 187. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4576.1.12>

Wagner, D. L., 2020. Insect Declines in the Anthropocene. *Annual Review of Entomology*, 65, 457–480. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025151>

Werth, D., 2002. The local and global effects of Amazon deforestation. *Journal of Geophysical Research*, 107, 8087. <https://doi.org/10.1029/2001JD000717>

Westfall, M.J., 1992. Notes on *Micrathyria*, with description of *M. pseudeximia* sp. n., *M. occipita* sp. n., *M. dunklei* sp. n. and *M. divergens* sp.n. (Anisoptera: Libellulidae). *Odonatologica* 21: 203-218.

Williamson, E. B., 1917. The Genus *Neoneura* (Odonata). *Transactions of the American Entomological Society* (1890-), 43, 211–246. <http://www.jstor.org/stable/25076969>

Willmer, P. G., 1982. Microclimate and the Environmental Physiology of Insects (pp. 1–57). [https://doi.org/10.1016/S0065-2806\(08\)60151-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2806(08)60151-4)

Zeuss, D., Brandl, R., Brändle, M., Rahbek, C., & Brunzel, S., 2014. Global warming favours light-coloured insects in Europe. *Nature Communications*, 5, 1-9.

Worthen, W. B., 2017. Perch selection in a guild of tropical dragonflies (Odonata: Libellulidae): relationships with body size and thermal ecology. *International Journal of Odonatology*, 20, 63–78. <https://doi.org/10.1080/13887890.2017.1330225>

## Material suplementar

**Tabela S1.** Pontos de amostragem e suas respectivas coordenadas geográficas e percentual de cobertura de dossel.

<b>Pontos</b>	<b>Coordenadas geográficas</b>	<b>Cobertura do dossel (%)</b>
P1	3° 15' 23" S e 47° 52' 06" W	91,711
P2	3° 12' 16" S e 47° 44' 48" W	70,856
P3	3° 12' 25" S e 47° 46' 54" W	75,401
P4	3° 13' 31" S e 47° 45' 08" W	80,348
P5	3° 14' 01" S e 47° 44' 16" W	70,455
P6	3° 14' 55" S e 47° 43' 13" W	73,396
P7	3° 14' 39" S e 47° 45' 20" W	87,701
P8	3° 15' 13" S e 47° 46' 32" W	69,118
P9	3° 15' 29" S e 47° 45' 39" W	84,759
P10	3° 16' 36" S e 47° 45' 58" W	93,316
P11	3° 17' 58" S e 47° 46' 02" W	78,075
P12	3° 19' 46" S e 47° 43' 39" W	90,775
P13	3° 10' 12" S e 47° 42' 02" W	91,043
P14	3° 12' 33" S e 47° 40' 42" W	63,102
P15	3° 16' 58" S e 47° 39' 47" W	92,513
P16	3° 17' 26" S e 47° 40' 09" W	91,176
P17	3° 18' 17" S e 47° 39' 47" W	91,31
P18	3° 16' 42" S e 47° 37' 22" W	86,364

**Tabela S2.** Espécies de Odonata analisadas e suas respectivas métricas morfológicas: Comprimento total do corpo (CTC), Altura do tórax (AT), Comprimento do tórax (CT), Largura do tórax (LT), Comprimento do abdômen (CA), Volume do tórax (TV), Volume relativo do tórax (VRT), Comprimento relativo do tórax (CRT) e Comprimento relativo do abdômen. E a temperatura do tórax ( $T_{to}$ ), temperatura do ar ( $T_a$ ), a diferença entre a temperatura do tórax e a temperatura do ar ( $T_{to}-T_a$ ) e Cobertura do dossel (DOS).

<b>Espécie</b>	<b>CTC</b>	<b>AT</b>	<b>CT</b>	<b>LT</b>	<b>CA</b>	<b>VT</b>	<b>VRT</b>	<b>CRT</b>	<b>CRA</b>	<b><math>T_{to}</math></b>	<b><math>T_a</math></b>	<b><math>T_{to}-T_a</math></b>	<b>DOS</b>
<i>Acanthagrion aepiolum</i> Tennessen, 2004	30,5	2,0	3,2	1,3	23,9	8,20	0,30	0,10	0,80	28,8	28,8	0,00	74,67
<i>Acanthagrion kennedii</i> Williamson, 1916	27,4	2,0	2,7	1,3	22,4	7,10	0,30	0,10	0,80	29,8	31,1	-1,30	70,68
<i>Argia collata</i> Selys, 1865	33,0	2,6	4,4	1,6	26,3	17,70	0,50	0,10	0,80	29,4	29,9	-0,50	83,16
<i>Argia indicatrix</i> Calvert, 1902	28,9	2,4	4,0	1,4	22,6	13,40	0,50	0,10	0,80	29,00	30,0	-1,00	87,30
<i>Argia tinctipennis</i> Selys, 1867	30,9	2,4	4,4	1,5	24,2	15,70	0,50	0,10	0,80	29,8	31,0	-1,20	90,33
<i>Epipleoneura metallica</i> Rácenis, 1955	31,2	1,6	2,5	1,1	26,0	4,30	0,10	0,10	0,80	28,00	29,8	-1,80	80,83
<i>Heteragrion silvarum</i> Sjöstedt, 1918	38,9	2,7	4,9	1,7	32,7	22,50	0,60	0,10	0,80	27,8	29,3	-1,50	87,13
<i>Mnesarete aenea</i> (Selys, 1853)	37,6	2,9	4,1	2,0	29,4	23,90	0,60	0,10	0,80	28,8	29,9	-1,10	87,43
<i>Mnesarete williamsoni</i> Garrison, 2006	38,5	3,3	5,4	2,1	30,9	36,60	1,00	0,10	0,80	29,6	30,9	-1,30	63,88
<i>Neoneura luzmarina</i> De Marmels, 1989	28,7	2,2	3,7	1,5	22,0	11,90	0,40	0,10	0,80	28,9	31,1	-2,20	80,33
<i>Oxystigma petiolatum</i> (Selys, 1862)	36,5	2,6	4,9	1,6	30,1	19,90	0,50	0,10	0,80	27,6	28,9	-1,30	89,62
<i>Protoneura tenuis</i> Selys, 1860	35,8	1,9	3,2	1,1	30,9	6,90	0,20	0,10	0,90	26,9	29,2	-2,30	90,40
<i>Psaironeura tenuissima</i> (Selys, 1886)	31,9	1,5	2,7	1,0	26,9	4,10	0,10	0,10	0,80	29,00	30,2	-1,20	90,08
<i>Erythrodiplax basalis</i> (Kirby, 1897)	26,9	4,6	4,9	2,8	16,8	62,90	2,30	0,20	0,60	34,1	29,2	4,90	71,36
<i>Erythrodiplax fusca</i> (Rambur, 1842)	28,5	4,5	5,3	3,0	17,6	71,80	2,50	0,20	0,60	33,4	30,0	3,40	74,11
<i>Fylgia amazonica</i> Kirby, 1889	20,4	3,0	3,8	2,0	12,9	22,40	1,10	0,20	0,60	28,8	29,4	-0,60	88,66
<i>Oligoclada abbreviata</i> (Rambur, 1842)	26,3	3,9	5,1	2,7	16,5	54,10	2,10	0,20	0,60	34,00	31,4	2,60	81,37
<i>Oligoclada walkeri</i> Geijskes, 1931	26,6	3,6	4,6	2,4	17,0	38,70	1,50	0,20	0,60	30,9	29,5	1,40	81,68
<i>Perithemis lais</i> (Perty, 1834)	18,1	3,1	3,5	2,0	10,7	21,80	1,20	0,20	0,60	32,00	30,8	1,20	76,77

---

<i>Perithemis thais</i> Kirby, 1889	18,9	3,1	3,5	2,0	12,1	21,20	1,10	0,20	0,60	28,9	29,0	-0,20	91,18
-------------------------------------	------	-----	-----	-----	------	-------	------	------	------	------	------	-------	-------

**Tabela S3.** Resultado GLMM descrevendo as diferenças de temperatura do tórax entre as categorias de termorregulação Heliotermica e termoconformador de espécies da ordem Odonata, coletadas em 18 igarapés no município de Paragominas, Pará, Amazônia Oriental, em julho de 2017.

<b>Temperatura do tórax (<math>T_{to}</math>) (°C)</b>								
	Efeito fixo				Grupos	Efeito aleatório		
	Estimativa ( $\beta$ )	Erro Padrão	Valor-t	P		Nome	Variância	Erro Padrão
Intercepto	3,425	0,016	220,548	<0,001	Subordem	(Intercepto)	0	0
Termoconformador~Heliotérmico	-0,080	0,026	-3,117	<b>0,002</b>	Resíduo		2,732	1,653
<b>Calor excedente (<math>T_{to}-T_a</math>) (°C)</b>								
	Efeito fixo				Grupos	Efeito aleatório		
	Estimativa ( $\beta$ )	Erro Padrão	Valor-t	P		Nome	Variância	Erro Padrão
Intercepto	0,4132	14,171	0,292		Subordem	(Intercepto)	3,743	1,935
Termoconformador~Heliotérmico	-0,5425	0,7109	-0,763		Resíduo		1,594	1,263

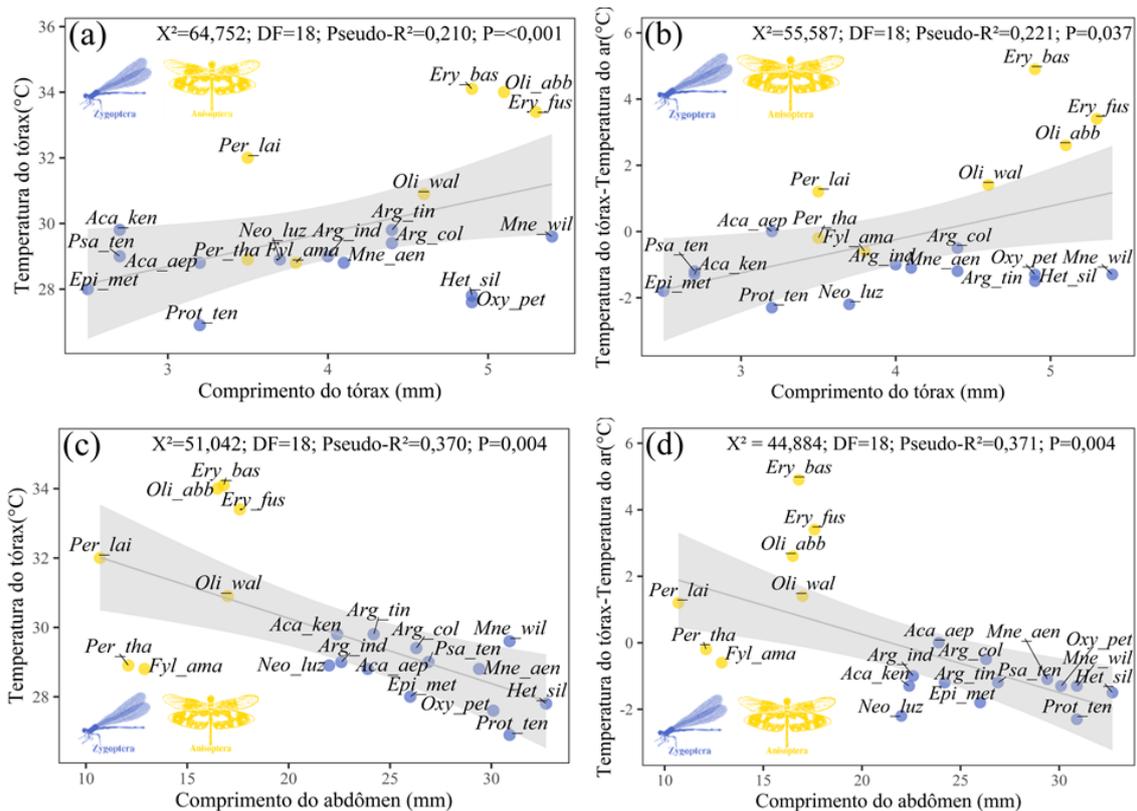
**Tabela S4.** Resultados do Modelo Misto Linear Geral (GLM), descrevendo a influência das variáveis ambientais cobertura de dossel e da temperatura do ar sobre a temperatura do tórax ( $T_{to}$ ) e a diferença entre a temperatura do tórax e a temperatura do ar ( $T_{to}-T_a$ ) da ordem Odonata, coletadas em 18 igarapés no município de Paragominas, Pará, Amazônia Oriental, em julho de 2017.

<b>Temperatura do tórax (<math>T_{to}</math>) (°C)</b>												
	Estimativa ( $\beta$ )	Odonata			Anisoptera				Zygotera			
		Erro Padrã o	Valor-t	P	Estimativa ( $\beta$ )	Erro Padrã o	Valor-t	P	Estimativa ( $\beta$ )	Erro Padrã o	Valor-t	P
Intercepto	3,163	0,613	5,162	<0,00 1	3,285	0,519	6,33	0,003	2,665	0,280	9,503	<0,00 1
<b>Temperatura do ar (°C)</b>	0,018	0,018	0,972	0,345	0,027	0,016	1,724	0,160	0,025	0,008	3,047	<b>0,012</b>
<b>Cobertura do dossel (%)</b>	-0,004	0,002	-1,949	0,068	-0,008	0,002	-3,968	<b>0,017</b>	-0,001	0,001	-0,984	0,348
<b>Calor excedente (<math>T_{to}-T_a</math>) (°C)</b>												
	Estimativa ( $\beta$ )	Odonata			Anisoptera				Zygotera			
		Erro Padrã o	Valor-t	P	Estimativa ( $\beta$ )	Erro Padrã o	Valor-t	P	Estimativa ( $\beta$ )	Erro Padrã o	Valor-t	P
Intercepto	22,526	18,246	1,235	0,234	26,364	16,989	1,552	0,196	8,926	7,989	1,117	0,29
<b>Temperatura do ar (°C)</b>	-0,448	0,541	-0,828	0,419	-0,158	0,501	-0,316	0,768	-0,275	0,236	-1,165	0,271
<b>Cobertura do dossel (%)</b>	-0,113	0,056	-2,015	0,06	-0,245	0,061	-4,012	<b>0,016</b>	-0,024	0,023	-1,033	0,326

**Tabela S5.** Resultados do Modelo Misto Linear Geral (GLM), descrevendo a influência dos valores observados das variáveis morfológicas: Comprimento do tórax (CT), Comprimento relativo do tórax (CRT), Volume do tórax (VT) Volume relativo do tórax (VRT); Comprimento do abdômen (CA); Comprimento relativo do abdômen (CRA) sobre a temperatura do tórax ( $T_{to}$ ) e a diferença entre a temperatura do tórax e a temperatura do ar ( $T_{to}-T_a$ ) da ordem Odonata.

Temperatura do tórax ( $T_{to}$ ) (°C)												
	Odonata				Anisoptera				Zygoptera			
	Estimativa ( $\beta$ )	Erro Padrão	Valor-t	P	Estimativa ( $\beta$ )	Erro Padrão	Valor-t	P	Estimativa ( $\beta$ )	Erro Padrão	Valor-t	P
Intercepto	3,249	0,068	47,74	<0,001	3,136	0,118	26,55	<0,001	3,348	0,040	84,5	<0,001
<b>CT</b>	0,036	0,016	2,19	<b>0,042</b>	0,073	0,026	2,79	<b>0,039</b>	0,003	0,010	0,25	0,807
Intercepto	3,258	0,034	95,59	<0,001	3,457	0,027	127,9	<0,001	3,358	0,009	386,7	<0,001
<b>CRT</b>	0,995	0,230	4,32	<b>0,000</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Intercepto	3,322	0,015	225,32	<0,001	3,340	0,040	82,825	<0,001	3,348	0,017	195,267	<0,001
<b>VT</b>	0,003	0,000	6,54	< <b>0,001</b>	0,003	0,001	3,305	<b>0,021</b>	0,001	0,001	0,647	0,531
Intercepto	3,320	0,012	271,292	<0,001	3,283	0,048	68,771	<0,001	3,340	0,018	184,365	<0,001
<b>VRT</b>	0,082	0,010	8,168	< <b>0,001</b>	0,102	0,026	3,939	<b>0,011</b>	0,041	0,037	1,113	0,29
Intercepto	3,533	0,044	80,132	<0,001	3,218	0,139	23,204	<0,001	3,486	0,057	60,86	<0,001
<b>CA</b>	-0,006	0,002	-3,245	<b>0,004</b>	0,016	0,009	1,766	0,138	-0,005	0,002	-2,25	<b>0,046</b>
Intercepto	3,751	0,077	48,942	<0,001	3,457	0,027	127,9	<0,001	3,930	0,231	16,981	<0,001
<b>CRA</b>	-0,488	0,105	-4,658	<b>0,000</b>	NA	NA	NA	NA	-0,709	0,287	-2,471	<b>0,031</b>

Calor excedente ( $T_{to}-T_a$ ) (°C)												
	Odonata				Anisoptera				Zygoptera			
	Estimativa ( $\beta$ )	Erro Padrão	Valor-t	P	Estimativa ( $\beta$ )	Erro Padrão	Valor-t	P	Estimativa ( $\beta$ )	Erro Padrão	Valor-t	P
Intercepto	-4,277	1,846	-2,317	0,0325	-7,098	3,040	-2,334	0,067	-1,603	0,777	-2,064	0,063
<b>CT</b>	1,009	0,447	2,26	<b>0,036</b>	2,032	0,684	2,97	<b>0,031</b>	0,083	0,196	0,421	0,682
Intercepto	-4,384	0,832	-5,268	<0,001	1,814	0,741	2,447	0,05	-1,2846	0,1713	-7,500	<0,001
<b>CRT</b>	30,989	5,812	5,332	<b>&lt;0,001</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Intercepto	-2,301	0,366	-6,28	<0,001	-1,652	0,844	-1,957	0,108	-1,402	0,342	-4,106	0,002
<b>VT</b>	0,087	0,012	7,259	<b>&lt;0,001</b>	0,083	0,018	4,538	<b>0,006</b>	0,008	0,020	0,403	0,694
Intercepto	-2,321	0,285	-8,136	<0,001	-3,224	1,039	-3,102	0,027	-1,470	0,370	-3,969	0,002
<b>VRT</b>	2,438	0,254	9,588	<b>&lt;0,001</b>	2,989	0,586	5,105	<b>0,004</b>	0,429	0,756	0,568	0,581
Intercepto	3,756	1,264	2,971	0,008	-5,567	3,289	-1,692	0,151	-0,340	1,338	-0,254	0,804
<b>CA</b>	-0,175	0,054	-3,258	<b>0,004</b>	0,499	0,219	2,278	0,072	-0,035	0,050	-0,712	0,491
Intercepto	10,637	1,993	5,338	<0,001	1,814	0,741	2,447	0,050	7,600	4,717	1,611	0,136
<b>CRA</b>	-14,745	2,686	-5,49	<b>&lt;0,001</b>	NA	NA	NA	NA	-11,000	5,837	-1,884	0,086



**Figura S1.** Resultados do Modelo Linear Geral (GLM) mostrando a relação entre a temperatura do tórax ( $T_{to}$ ) e a diferença entre a temperatura do tórax e a temperatura do ar ( $T_{to}-T_a$ ) com: (a) e (b) o Comprimento do tórax (CT) e (c) e (d) o Comprimento do abdômen (CA) da ordem Odonata: *Ery\_bas*: *Erythrodiplax basalis*; *Ery\_fus*: *Erythrodiplax fusca*; *Fyl\_ama*: *Fylgia amazônica*; *Oli\_abb*: *Oligoclada abbreviata*; *Oli\_wal*: *Oligoclada walkeri*; *Per\_lai*: *Perithemis lais*; *Per\_tha*: *Perithemis thais*; *Mne\_aen*: *Mnesarete aenea*; *Mne\_wil*: *Mnesarete williamsoni*; *Aca\_aep*: *Acanthagrion aepiolum*; *Aca\_ken*: *Acanthagrion kennedii*; *Arg\_col*: *Argia collata*; *Arg\_ind*: *Argia indicatrix*; *Arg\_tin*: *Argia tinctipennis*; *Epi\_met*: *Epipleoneura metallica*; *Neo\_luz*: *Neoneura luzmarina*; *Pro\_ten*: *Protoneura tenuis*; *Psa\_ten*: *Psaironeura tenuissima*; *Het\_sil*: *Heteragrion silvarum*; *Oxy\_pet*: *Oxystigma petiolatum*.