

José Max Barbosa Oliveira-Junior
Karina Dias Silva
Lenize Batista Calvão
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2022



ZOOLOGIA:

Organismos e suas contribuições
ao ecossistema

José Max Barbosa Oliveira-Junior
Karina Dias Silva
Lenize Batista Calvão
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2022



ZOOLOGIA:

Organismos e suas contribuições
ao ecossistema

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria



Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^o Dr^a Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^o Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^o Dr^a Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^o Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^o Dr^a Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas



Zoologia: organismos e suas contribuições ao ecossistema

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: José Max Barbosa Oliveira-Junior
Karina Dias-Silva
Lenize Batista Calvão

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Z87 Zoologia: organismos e suas contribuições ao ecossistema / Organizadores José Max Barbosa Oliveira-Junior, Karina Dias-Silva, Lenize Batista Calvão. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-0026-4
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.264223003>

1. Zoologia. 2. Animais. 3. Ecossistemas. I. Oliveira-Junior, José Max Barbosa (Organizador). II. Dias-Silva, Karina (Organizadora). III. Calvão, Lenize Batista (Organizadora). IV. Título.

CDD 590

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

O e-book “**Zoologia: Organismos e suas contribuições ao ecossistema**” é composto por seis capítulos com diferentes abordagens, relacionadas aos serviços ecossistêmicos, divulgação científica, integridade ambiental e fisiologia.

A organização desse e-book contempla temas que permitem ao leitor ampliar o seu conhecimento acerca da importância dos organismos para a manutenção da vida na terra e a necessidade da conservação do meio ambiente para mantermos os serviços ecossistêmicos e o equilíbrio ecológico no planeta. Os ecossistemas são muito diversos e podem ser terrestres, aquáticos e suas interfaces. Sendo os ecossistemas formados pela interação de fatores bióticos e abióticos, os seres humanos também fazem parte desses sistemas. Portanto, abordagens integradoras e desafiadoras são exigidas para a interface atividades antrópicas e conservação dos sistemas naturais, para que no futuro tenhamos equilíbrio entre presença da população, diferentes serviços ecossistêmicos e a diversidade da vida em conjunto. Essa abordagem complexa permeia muitas áreas do conhecimento que incluem avaliar quais são os fatores que compõem os ecossistemas, bem como fazer com que essas informações sejam disponibilizadas para todo o público.

Nesse contexto, no **capítulo I**, os autores identificam os morfotipos de sementes dispersas por morcegos, relacionando-as ao seu dispersor e ao tipo de ambiente (urbano ou rural) em municípios do estado do Pará. Com base nessa identificação, os autores (i) criam uma lista de espécies de sementes dispersas pelos morcegos (considerando apenas aquelas coletadas nas fezes dos mesmos) e (ii) identificam as espécies de morcegos mais efetivas no processo endozoocórico. No **capítulo II**, os autores objetivam apresentar aos educadores e estudantes do ensino médio que os morcegos são um dos grupos biológicos de grande importância, dotados de características únicas como o voo e a eco localização, responsáveis por dispersão de sementes, polinização de inúmeras espécies vegetais e controle de insetos praga. O **capítulo III**, teve como objetivo geral avaliar a variação espacial na diversidade da herpetofauna de uma paisagem agrícola. Desta forma, os seguintes objetivos específicos foram avaliados: (i) determinar a riqueza e abundância da herpetofauna nos diferentes componentes da paisagem agrícola (fragmentos vegetação nativa e pasto); e (ii) testar possíveis variações da riqueza e abundância da herpetofauna entre fragmentos vegetação nativa e pasto. O **capítulo IV**, analisa a composição de espécies da categoria ‘sardinha’ capturada no norte da Bahia e verifica se há alteração dessa composição ao longo do ano. No **capítulo V**, os autores investigaram o metabolismo intermediário e o balanço oxidativo de lagartas de *Heliconius ethilla narcaea* em relação à média de temperatura de ocorrência nos meses de primavera, na região metropolitana de Porto Alegre e em São Francisco de Paula. Ao mesmo tempo, foi investigado se existem diferenças nos parâmetros fisiológicos de indivíduos que ocorrem em locais diferentes do

estado e a influência de mudanças climáticas locais. Por fim, no **capítulo VI**, os autores avaliam a composição, riqueza e abundância de insetos aquáticos e a relação com os substratos de natureza orgânica ou inorgânica, em um igarapé de segunda ordem, afluente do rio Xingu, município de Altamira.

Esperamos que ao ler essa obra, você possa identificar a necessidade de conhecimento sobre a contribuição de um conjunto de fatores que compõem os ecossistemas e sua importância para manutenção das mais diversas formas de vida.

A você leitor(a), desejamos uma excelente leitura!

José Max Barbosa Oliveira-Junior

Karina Dias-Silva

Lenize Batista Calvão

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

SEMENTES DISPERSAS POR MORCEGOS EM REMANESCENTES FLORESTAIS E ÁREAS URBANAS DA AMAZÔNIA


Ayla Yanne Gomes Pinheiro
Keila Patricia Alves da Silva
Jennifer Bandeira Silva
Loyriane Moura Sousa
Leandra Rose Palheta
Letícia Lima Correia
Thiago Bernardi Vieira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2642230031>

CAPÍTULO 2..... 15

QUANDO OS MORCEGOS VÃO À ESCOLA: DESMISTIFICANDO O CONHECIMENTO SOBRE MORCEGOS E CONTRIBUINDO PARA O ENSINO DE BIOLOGIA


Midiã Cristine Silva Guará
Jakeline Arcanjo de Arcanjo
Jennifer Bandeira Silva
Keila Patricia Alves da Silva
Ayla Yanne Gomes Pinheiro
Loyriane Moura Sousa
Ana Beatriz Alencastre-Santos
Leandra Rose Palheta
Iluanay da Silva Costa
Letícia Lima Correia
Karina Dias-Silva
Thiago Bernardi Vieira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2642230032>

CAPÍTULO 3..... 22

LEVANTAMENTO DA HERPETOFAUNA DO CAMPUS CIDADE UNIVERSITÁRIA DA UNIVERSIDADE DE SOROCABA


Kelly Cristina Camboin
Jair Vaz Nogueira Junior
Nobel Penteado de Freitas
Thiago Simon Marques

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2642230033>

CAPÍTULO 4..... 37

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO ESPECÍFICA DA CATEGORIA ‘SARDINHA’ NA PESCA ARTESANAL DO NORTE DA BAHIA

Kátia de Meirelles Felizola Freire
Livia Araújo Rodrigues
Jadson Pinheiro Santos
George Olavo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2642230034>


CAPÍTULO 5..... 51

EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE O METABOLISMO INTERMEDIÁRIO E O BALANÇO OXIDATIVO EM LAGARTAS DE *Heliconius ethilla narcaea*

Tiziane Fernandes Molina

Aldo Mellender Araújo

Guendalina Turcato Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2642230035>

CAPÍTULO 6..... 73

COMPOSIÇÃO DE INSETOS AQUÁTICOS EM DIFERENTES TIPOS DE SUBSTRATOS EM UM IGARAPÉ DE SEGUNDA ORDEM

Ana Caroline Leal Nascimento

Kesley Gadelha Ferreira

Iluany da Silva Costa

Kenned da Silva Sousa

Damires Sanches Pereira


Dianini Campos da Mota

Fernanda Alexandre Silva

Emily Vieira Drosdosky

José Max Barbosa de Oliveira Junior

Karina Dias-Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2642230036>

SOBRE OS ORGANIZADORES 85

ÍNIDICE REMISSIVO 86

CAPÍTULO 5

EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE O METABOLISMO INTERMEDIÁRIO E O BALANÇO OXIDATIVO EM LAGARTAS DE *Heliconius ethilla narcaea*

Data de aceite: 01/02/2022

Data da submissão: 20/01/2022

Tiziane Fernandes Molina

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Escola de Ciências. Programa de Pós-graduação em Ecologia e Evolução da Biodiversidade
Rio Grande do Sul, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/5337873692423947>

Aldo Mellender Araújo

Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Departamento de Genética. Programa de Pós-graduação em Genética e Biologia Molecular.
Avenida Bento Gonçalves
Rio Grande do Sul, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6168559371209291>

Guendalina Turcato Oliveira

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Escola de Ciências. Programa de Pós-graduação em Ecologia e Evolução da Biodiversidade
Rio Grande do Sul, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/1189036200852586>

RESUMO: A borboleta *Heliconius ethilla narcaea* que habita o sul do Brasil, participa de diversos anéis miméticos. No sul do país, as populações da espécie são bem estabelecidas em diferentes áreas, apesar da variação de temperatura que ocorre entre elas e durante as estações do ano. Investigamos parâmetros fisiológicos de lagartas de *H. ethilla narcaea* em duas temperaturas (19 e

24°C), correspondentes aos meses de primavera características de duas localidades (São Francisco de Paula e Porto Alegre/RS), onde a espécie ocorre. As análises realizadas sobre os biomarcadores do metabolismo intermediário (proteínas totais, ácido úrico, glicogênio, lipídios e triglicerídeos) não apresentaram diferenças significativas, bem como as do balanço oxidativo. No entanto, os níveis de lactato e a massa corporal das lagartas foram maiores a 19°C, enquanto os níveis de colesterol foram maiores nas lagartas mantidas na temperatura mais alta (24°C). Os níveis mais altos de lactato nas lagartas criadas a 19°C podem estar relacionados com uma maior atividade de forrageio e/ou pelo uso de trealose estocada no corpo gorduroso a fim de manter a atividade nestas lagartas gerando possivelmente lactato. O incremento de colesterol em temperaturas mais elevadas pode estar relacionado a maior necessidade de moléculas estruturais e a síntese de ecdisona para sustentar um aumento da velocidade de desenvolvimento; o que é corroborado pela menor massa corporal atingida pelas lagartas. Em ambas as temperaturas, as reservas energéticas (glicogênio, triglicerídeos e proteínas) foram mantidas. Estes resultados sugerem que as borboletas respondem às condições quentes ajustando sua atividade metabólica e priorizando através da ingestão o acúmulo de moléculas antioxidantes oriundas do alimento; evitando assim um desequilíbrio entre a produção de ROS e as defesas antioxidantes, ou seja, uma situação de estresse oxidativo. Isto reflete uma plasticidade fisiológica dos indivíduos desta espécie o que lhes permite habitar diferentes

localidades e climas, mantendo suas populações.

PALAVRAS-CHAVE: Borboletas; Estresse oxidativo; Lagartas; Metabolismo intermediário; Variação de temperatura.

ABSTRACT: *Heliconius ethilla narcaea*, a butterfly inhabiting southern Brazil, participates in several mimetic rings. Populations of this species are well established in different areas of southern Brazil, despite geographic and seasonal temperature variations. We investigated the physiological parameters of *H. ethilla narcaea* caterpillars at two temperatures (19 and 24 °C), corresponding to the spring month characteristics of two localities (São Francisco de Paula and Porto Alegre/RS) where the species occurs. The analyses performed on the intermediary biomarkers of metabolism (total proteins, uric acid, glycogen, lipids, and triglycerides) and oxidative balance did not show substantial differences. However, lactate levels and body mass were higher in caterpillars housed at 19 °C, whereas cholesterol levels were higher in those housed at 24 °C. The higher lactate level in caterpillars reared at 19 °C may be attributable to higher foraging activity and/or utilization of trehalose stored in the fat body to maintain metabolic activity, possibly by lactate generation. The increase in cholesterol at higher temperatures may be related to a greater need for structural molecules and synthesis of ecdysone to sustain accelerated development, which is corroborated by the lower body mass of the caterpillars reared at 24 °C compared to those at 19 °C. At both temperatures, energy reserves (glycogen, triglycerides, and proteins) were maintained. These results suggest that *H. ethilla narcaea* caterpillars respond to high temperatures by modulating their metabolic activity and prioritizing the accumulation of antioxidant molecules through ingestion, thereby avoiding oxidative stress i.e., an imbalance between reactive oxygen species (ROS) production and antioxidant defenses. This reflects physiological plasticity of the individuals of this species, which allows them to inhabit different locations and climates, thereby maintaining their populations.

KEYWORDS: butterflies, oxidative stress, caterpillar, metabolismo, temperature variation.

1 | INTRODUÇÃO

A maioria das populações de borboletas apresenta flutuações de acordo com a variação de temperatura que alteram os padrões de alimentação, desenvolvimento e reprodução. As borboletas *Heliconius* (KLUK, 1780) exibem oscilações no tamanho populacional em regiões subtropicais (SOBRAL-SOUZA *et al.*, 2015). Sabe-se que nas regiões sul e sudeste do Brasil ocorrem declínios no número de indivíduos durante o inverno e o tamanho populacional se reestabelece a partir da primavera (RAMOS & FREITAS, 1999). Apesar de todas as possibilidades intrigantes que possam existir acerca da interação das espécies de *Heliconius* com a temperatura, esta temática recebeu pouca ou nenhuma atenção quanto às implicações fisiológicas. Este trabalho foi realizado com base nessa necessidade de obtenção de dados sobre a espécie *H. ethilla narcaea* e sobre a interação desta com a temperatura no sul do Brasil.

Os processos fisiológicos que explicam os caminhos que conduzem os organismos

a responderem a condições adversas ou se adaptarem as mudanças ambientais podem ser compreendidos também através do estudo do metabolismo intermediário. O metabolismo intermediário consiste em uma série de processos bioquímicos complexos, dos quais os insetos fazem uso na tentativa de manter a homeostasia (RAMZI *et al.*, 2018). O nível de nutrientes que se acumulam no corpo dos insetos é responsável por mudar vários aspectos importantes da vida do animal, como a taxa de crescimento, o tempo de metamorfose e o desenvolvimento (MIRTH & RIDDIFORD, 2007) armazenando ou liberando componentes centrais para esses eventos.

Os insetos gastam energia constantemente, e se não estão se alimentando devem ter reservas acumuladas em períodos de abundância de alimento para serem usadas na manutenção das funções essenciais a sua sobrevivência entre os ciclos alimentares. O glicogênio e os triglicerídeos são reservas de energia comumente estocadas em células animais. O glicogênio pode ser facilmente degradado sob demanda para ser usado como um combustível glicolítico (ARRESE & SOULAGES, 2010). Já os ácidos graxos armazenados como triglicerídeos podem ser utilizados para a produção de energia através da β -oxidação (ATHENSTAEDT & DAUM, 2006).

Os insetos possuem um tipo de tecido solto e geralmente disposto em lóbulos finos que são banhados por hemolinfa, o que é vital para o organismo se ajustar adequadamente às mudanças na concentração de energia dos precursores em circulação (ARRESE & SOULAGES, 2010). Este tecido está distribuído por todo o corpo, preferencialmente sob o tegumento, em torno do intestino e do órgão reprodutivo; sendo conhecido também, como corpo gorduroso. Os tipos celulares encontrados neste tecido atuam como local de reserva e síntese de proteínas, carboidratos e lipídios. Contudo, os triglicerídeos são o principal componente das gotículas lipídicas e, no período de alimentação essas gotículas ocupam a maior parte do espaço intracelular, juntamente com glicogênio e com grânulos de proteínas (DEAN *et al.*, 1985).

O armazenamento de ácidos graxos, na forma de triglicerídeos, e de glicose são as reservas mais importantes utilizadas pelos insetos em vários aspectos incluindo a síntese de quitina, que é o componente principal da cutícula (LOCKEY, 1988) e para a síntese de álcoois de açúcar, que são necessários para a adaptação ao frio (STOREY, 1997) ou à seca (WATANABE *et al.*, 2002). Os ácidos graxos servem como precursores de eicosanóides e feromônios, e são necessários em quantidades substanciais para a síntese de fosfolípidios e ceras importantes na impermeabilização da cutícula (LOCKEY, 1988).

Já os aminoácidos, constituintes das proteínas, são derivados da dieta dos insetos e têm funções importantes que incluem a síntese de proteínas estruturais do corpo e do tegumento, síntese de hormônios e de enzimas que participam de reações metabólicas, sendo que alguns aminoácidos também participam da síntese de ácidos nucleicos.

As análises realizadas neste trabalho também estão relacionadas à produção de espécies reativas de oxigênio (ERO) e em, como essa produção pode afetar o indivíduo.

Em proporções equilibradas, a natureza altamente reativa desses compostos é empregada em muitos processos celulares, principalmente como sinalizadores atuando também como uma estratégia de defesa junto ao sistema imune (HERMES-LIMA, 2004). As ERO são formadas continuamente como subprodutos da respiração mitocondrial. As temperaturas mais altas aumentam a taxa metabólica de organismos ectotérmicos, o que acarreta a geração de mais ERO do que naturalmente são produzidas. Essa produção exacerbada pode ser prejudicial ao organismo, uma vez que as ERO deixam de participar de várias vias celulares vitais e comprometem o controle e a sinalização redox, oxidando moléculas como as proteínas, lipídios, DNA e RNA, causando assim estresse oxidativo (JONES, 2006). Para balancear o aumento de produção de ERO, os organismos mantêm um sistema antioxidante constituído de um componente enzimático e um não enzimático. O gerenciamento ocorre tanto na atividade pró-oxidante quanto nas redes de sinalização mediadas por ERO (HERMES-LIMA, 2004).

Várias enzimas antioxidantes têm sido caracterizadas em insetos, como a superóxido dismutase, a catalase e a glutathione peroxidase (HERMES-LIMA, 2004; JIA *et al.*, 2011; BEAULIEU *et al.*, 2015). A Superóxido dismutase (SOD) catalisa a dismutação do radical superóxido ($O_2^{\cdot-}$) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Por sua vez a Catalase (CAT), uma peroxidase, ou seja, uma enzima do grupo das oxirredutases tem a função de degradação do peróxido de hidrogênio, molécula naturalmente formada em organismos vivos durante o metabolismo oxidativo. A catalase remove o H_2O_2 apenas em altas concentrações celulares, porque seu alto valor de K_m reduz a eficiência em baixos níveis de H_2O_2 (AHMAD, 1995); ao passo que a glutathione peroxidase (GPx), atua metabolizando peróxidos orgânicos e inorgânicos (H_2O_2) tendo um baixo K_m para este último (COSTANTINI, 2014).

O componente não enzimático do sistema antioxidante é constituído por diversas moléculas de baixo peso molecular, sendo estas endógenas (melatonina, glutathione, ácido úrico) e exógenas (diversas vitaminas e compostos presentes na dieta). Dentre os antioxidantes endógenos podemos destacar a glutathione que é um poderoso antioxidante e fonte de tióis. É também um cofator enzimático e tem uma função de desintoxicação, o que a torna um dos mais importantes antioxidantes intracelulares (Perc-Mataruga *et al.*, 2018). A maioria dos estudos sobre defesa antioxidante mede as respostas dos insetos frente à exposição a pró-oxidantes de plantas, inseticidas ou poluentes.

Dentre as enzimas de biotransformação que atuam em rotas de excreção de substâncias endo e xenobióticas e, protegem as células contra toxicidade química e estresse, mantendo a homeostase celular, pode-se destacar as glutathione S-transferases (GSTs). Esta família multifuncional de enzimas atua catalisando a conjugação da molécula de glutathione a várias outras moléculas, tendo assim um impacto no sistema antioxidante por usar a glutathione e por metabolizar produtos da lipoperoxidação. As GSTs desempenham vários papéis fisiológicos, tais como sequestro e transporte de compostos hidrofóbicos endógenos, os quais incluem hormônios esteróides, bilirubinas, ácidos da bile e seus

metabólitos (COSTANTINI 2014).

O estado do Rio Grande do Sul, na região sul do Brasil, apresenta clima oceânico (Cfa) e clima oceânico temperado (Cfb) com as quatro estações com temperaturas bem características (KÖPPEN, 1936). As temperaturas variam desde muito baixas, características do inverno rigoroso a muito altas, no verão (mais amenas nas regiões de maior altitude). A variação de precipitação no estado também ocorre de acordo com as regiões (ALVARES *et al.*, 2013). A presença de Floresta de Mata Atlântica na composição florística do RS torna a região um *hotspot* de biodiversidade, o que reforça a necessidade de conhecer a biologia de espécies que habitam o local (RIBEIRO *et al.*, 2011). Nestas condições de temperatura, do sul do Brasil, a subespécie de *H. ethilla* que ocorre é *H. ethilla narcaea* (Godart, 1819) (HOLZINGER & HOLZINGER, 1994).

Em levantamento populacional já foi registrado que a população de *H. ethilla narcaea* diminui em número até a ausência total em quase toda a segunda metade do ano na região sudeste do Brasil (ANDRADE & FREITAS, 2005). A acentuada variação no número de indivíduos nesta região, assim como no RS deve se relacionar com a variação das temperaturas ao longo do ano. Não se conhece a temperatura base para o desenvolvimento de *H. ethilla narcaea*, porém *Dione juno juno* (Cramer, 1779) outro heliconíneo que ocorre no RS tem limiar de desenvolvimento estimado de 5,3°C para o ovo, 8,4°C para o estágio de lagarta e 9 °C para o estágio de pupa (BIANCHI & MOREIRA, 2005).

Por isso, estima-se que temperaturas mais baixas, como as do inverno rigoroso do RS possam impedir o desenvolvimento de *H. ethilla narcaea*, no entanto, isso ainda não foi testado. Sabendo que esta espécie habita várias regiões do Rio Grande do Sul e que algumas destas apresentam diferenças nas médias de temperatura durante a mesma estação, o presente trabalho investigou o metabolismo intermediário e o balanço oxidativo de lagartas de *H. ethilla narcaea* em relação à média de temperatura de ocorrência nos meses de primavera na região metropolitana de Porto Alegre e em São Francisco de Paula. Por serem os meses em que a população começa a se reestabelecer no ambiente, surgiu o interesse em investigar se existem diferenças nos parâmetros fisiológicos de indivíduos que ocorrem em locais diferentes do estado e a influência de mudanças climáticas locais.

Assim, caracterizamos parâmetros fisiológicos ligados à composição bioquímica destes animais (proteínas, ácido úrico, lactato, glicogênio, lipídios, triglicerídeos e colesterol), bem como os componentes do sistema antioxidante (superóxido dismutase e catalase) e de biotransformação (glutathione S-transferase) além de um marcador de dano oxidativo, através da quantificação da lipoperoxidação, nas lagartas desta espécie. Ressalta-se ainda que nunca foram estudados estes parâmetros nas espécies de *Heliconius*, dessa forma, a abordagem feita aqui é totalmente original e relevante para o conhecimento, tanto da espécie, quanto do gênero.

2 I MATERIAL E MÉTODOS

Fêmeas de *Heliconius ethilla narcaea* foram coletadas em São Francisco de Paula/RS (29°26'32"S 50°37'16"O), transportadas e mantidas a posteriori, em viveiros medindo cerca de 2x2x3m localizados em área adjacente ao Departamento de Genética da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. No interior dos viveiros manteve-se o cultivo de diversas plantas a fim de simular as condições naturais do ambiente, bem como *Passiflora edulis*, planta hospedeira de *H.e.narcaea*. As borboletas foram alimentadas diariamente através de recipientes com mistura preparada com água, mel e pólen (NARDIN *et al.*, 2014). O mel é fonte de glicídios e é necessário para suprir a reserva energética do indivíduo, e o pólen constitui fonte de proteínas e está diretamente ligado à fecundidade e longevidade dos indivíduos deste gênero (HARPEL *et al.*, 2015).

2.1 Testes de temperatura

Os ovos foram coletados diariamente e transferidos para potes contendo *Passiflora edulis*, *ad libitum* para a alimentação das lagartas quando da sua eclosão; as plantas eram renovadas todos os dias, bem como a limpeza dos recipientes.

Os potes de criação das lagartas, foram mantidos em duas temperaturas, 19 e 24°C em incubadora BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) e sala climatizada, respectivamente, ambas com o mesmo fotoperíodo (12h de luz: 12h de escuridão) e umidade relativa do ar próxima dos 60%. Estas temperaturas foram escolhidas, pois são as que mais se aproximam das médias apresentadas, após monitoramento nos meses da primavera nos anos de 2015 e 2016, em dois municípios de ocorrência de *H. ethilla narcaea*, em São Francisco de Paula, com média de 19° C na primavera, e em Porto Alegre (30°04'13"S 51°07'10"O), cuja média de primavera é de 24° C (Tabela 1). O desenvolvimento foi acompanhado e somente indivíduos saudáveis do 5° *instar* foram analisados. Nesse *instar* as lagartas foram pesadas, criotunasiadas e utilizadas para as análises de metabolismo intermediário e do balanço oxidativo.

ANO	MÊS	São Francisco de Paula		Porto Alegre	
		Temp.máx °C	Temp.min °C	Temp.máx °C	Temp.min °C

Primavera 2015	SET	17,6	10,3	21,5	13,7
	OUT	18,1	11,1	23,2	15,1
	NOV	19,9	13,2	24,9	17,1
	DEZ	23,2	15,9	29	20,3
	média	19,7	12,6	24,6	16,5
	desv.padrão	2,19	2,16	2,78	2,47
Verão 2016	JAN	24,6	17,2	31,1	20,5
	FEV	25,2	18	31,4	21,1
	MAR	21,6	15,4	26,9	18,6
	média	23,8	16,8	29,8	20
	desv.padrão	1,57	1,08	2,05	1,06
Inverno 2016	ABR	22,7	15,7	27,1	19,1
	MAI	14,4	9	19	11,4
	JUN	13	6,1	16,3	7,7
	JUL	16	8,4	18	10,9
	AGO	17,2	9,9	20,9	11,9
	média	16,66	9,82	20,26	12,2
	desv.padrão	3,33	3,19	3,73	3,74
Primavera 2016	SET	17,6	8,8	20,2	11,4
	OUT	19,5	11,3	23,7	15,2
	NOV	21,4	12	26,2	15,8
	DEZ	23,8	15,4	29,7	19,7
	média	20,5	11,8	24,9	15,5
	desv.padrão	2,29	2,35	3,47	2,94
Verão 2017	JAN	26	18	30,5	21,4
	FEV	27	18	31,2	22,2
	MAR	27	18	28,1	19,3
	média	26,6	18	29,9	20,9
	desv.padrão	0,47	0	1,32	1,22

Tabela 1. Médias de temperaturas máximas e mínimas em São Francisco de Paula e Porto Alegre (RS), desde a primavera de 2015 ao verão de 2017. As médias e desvio padrão foram calculados sobre as temperaturas dos meses que compõem a estação.

2.2 Análises do metabolismo intermediário

Os parâmetros metabólicos e do balanço oxidativo foram realizadas com lagartas de 5^o instar de no máximo, 24h. Estas análises envolveram a avaliação dos níveis de proteínas, ácido úrico, lactato e glicogênio em quatro lagartas mantidas a 24°C e três a

19°C. Para avaliação dos lipídios, dos triglicerídeos e do colesterol foram utilizadas outras quatro lagartas para 24°C e três para 19°C. Sendo cada um dos parâmetros quantificados em quadruplicata para cada animal.

A extração do glicogênio seguiu o método de (Van Handel, 1965), sendo quantificado como glicose após hidrólise ácida (HCl) e neutralização (Na_2CO_3) utilizando-se o kit da Labtest (glicose PAP Liquiform), segundo o método da glicose oxidase. As proteínas foram quantificadas segundo método descrito por (Beyer, 1983). O ácido úrico foi determinado através do Kit da Labtest (Ácido Úrico Liquiform); para a quantificação do lactado também foi usado Kit comercial da labtest. Os lipídios, triglicerídios e colesterol teciduais foram extraídos pelo método do clorofórmio e metanol na proporção 2:1, segundo o método de (Folch & Lees, 1957). A dosagem de lipídios totais se deu conforme o método descrito por (Frings & Dunn, 1970) e a do colesterol total conforme o kit da Labtest (Colesterol Total Liquiform). Os triglicerídeos tiveram dosagem determinada através do kit da Labtest (Triglicerídeos GPO-ANA). Todos os resultados foram expressos em mg/g.

2.3 Análises do balanço oxidativo

O balanço oxidativo foi analisado através das determinações de TBARS (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico) e das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), e de biotransformação, a glutatona S-transferase (GST), em seis lagartas de 5º *instar* que foram mantidas a temperatura de 24°C e quatro lagartas mantidas a temperatura de 19°C. Todos os parâmetros foram quantificados em quadruplicata para cada animal.

As substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) foram utilizadas como medida da lipoperoxidação (LPO), sendo quantificadas através de técnica utilizada para medir o nível de dano aos lipídios principalmente aqueles das membranas, já que o ácido tiobarbitúrico reage com os produtos da LPO, entre eles o malondialdeído (MDA) e outros aldeídos. A determinação segue modificações propostas por (Buege & Aust, 1978). A concentração de TBARS está expressa em $\mu\text{moles.mg}$ de proteínas⁻¹. A atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) foi determinada segundo descrito Boveris *et al.* (1983), expressa em unidade de atividade por mg de proteína por minuto. A decomposição do peróxido de hidrogênio é proporcional a atividade da catalase. Dessa forma, a atividade da enzima catalase foi medida através da avaliação do consumo de peróxido de hidrogênio (Boveris & Chance, 1973). Os resultados estão expressos em $\mu\text{moles. minuto}^{-1}.$ mg de proteínas⁻¹ A atividade da glutatona S-transferase foi medida pelo método de Boyland & Chasseaud (1969) e expressa em $\mu\text{moles. minuto}^{-1}.$ mg de proteínas⁻¹.

2.4 Análises estatísticas

Os dados foram analisados no programa SPSS 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL,

EUA, 2008) e os resultados são apresentados como média \pm erro padrão. Para analisar a massa corporal das lagartas utilizamos Teste T, dada a normalidade dos dados (de acordo com o teste de Shapiro-Wilk). Para a análise dos metabólitos ligados ao metabolismo intermediário, dado que estes apresentavam distribuição normal, utilizamos a análise de variância multivariada (MANOVA), em que a variação da temperatura (24 e 19°C) foi a variável independente, e cada um dos sete biomarcadores de metabolismo intermediário constituíram as variáveis dependentes. A análise do balanço oxidativo também foi feita por MANOVA, onde as enzimas e o dano oxidativo foram às variáveis dependentes. O teste de Bonferroni foi utilizado para indicar as diferenças par a par, tanto em relação aos metabólitos, quanto ao balanço oxidativo.

3 | RESULTADOS

3.1 Metabolismo intermediário

A Manova realizada entre os dois tratamentos e as sete variáveis dependentes foi significativa (λ Wilks= 0,001 $p=$ 0,042 e potência observada de 0,771), indicando que existe diferença nos níveis dos biomarcadores em relação a temperatura em que o organismo foi mantido (Tabela 2). Quando comparamos os pares através do teste de Bonferroni, os níveis dos metabólitos energéticos, proteínas totais, ácido úrico, glicogênio, lipídios totais e triglicérides não diferiram entre as lagartas mantidas nas duas temperaturas (Fig. 1 e 2). No entanto, os níveis de lactato das lagartas mantidas a temperatura de 24°C foi menor do que das lagartas em 19°C ($p=$ 0,000); já para os níveis de colesterol observamos que estes foram maiores em lagartas mantidas a 24°C em relação as mantidas a 19 °C (Fig. 1 e 2). A massa corporal, nas lagartas mantidas na maior temperatura foi menor que a daquelas mantidas a 19 °C (Teste t $p=$ 0,042) (Fig. 1).

Biomarcador	Temperatura	<i>n</i>	ShapiroWilk	Levene	Manova λ Wilks	<i>p</i>	Bonferroni
Proteínas totais	19°C	3	0,465	0,359	0,001	0,002*	0,366
	24°C	4	0,188				
Ácido úrico	19°C	3	0,736	0,839			0,665
	24°C	4	0,853				
Glicogênio	19°C	3	0,157	0,119			0,193
	24°C	4	0,099				
Lactato	19°C	3	0,298	0,181			0*
	24°C	4	0,524				

Lípidios totais	19°C	3	0,967	0,222	0,061	0,025*	0,155
	24°C	4	0,872				
Colesterol	19°C	3	0,63	0,49			0,012*
	24°C	4	0,987				
Triglicerídeos	19°C	3	0,207	0,815			0,285
	24°C	4	0,755				
TBARS	19°C	4	0,524	0,222	0,525	0,437	0,55
	24°C	6	0,298				
GST	19°C	4	0,99	0,191			0,846
	24°C	6	0,004				
SOD	19°C	4	0,869	0,525			0,928
	24°C	6	0,542				
CAT	19°C	4	0,053	0,054			0,193
	24°C	6	0,03				

Tab 2. Análises estatísticas do balanço metabólico e oxidativo realizado nas lagartas lagartas de *H. ethilla narcaea* do 5º instar mantidas a temperaturas de 19°C e 24°C. *significância estatística de $p < 0,05$.

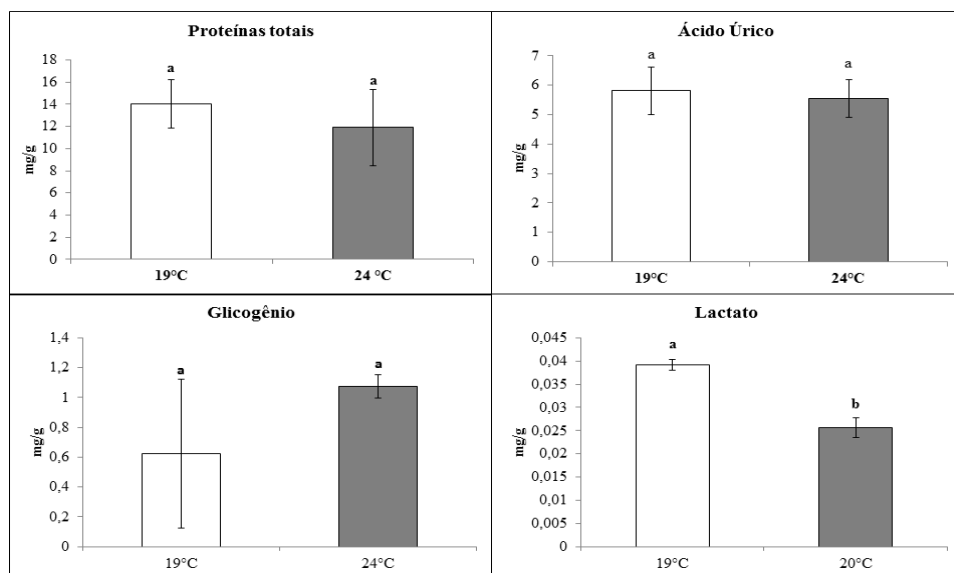


Fig. 1. Níveis de proteínas totais, ácido úrico, glicogênio e lactato em homogeneizado total de lagartas de *H. ethilla narcaea* do 5º instar mantidas a temperaturas de 24°C (barra cinza) e 19°C (barra branca). As barras representam as médias \pm desvio padrão. Letras diferentes acima das barras indicam diferença significativa entre os valores médios para um $p < 0,05$.

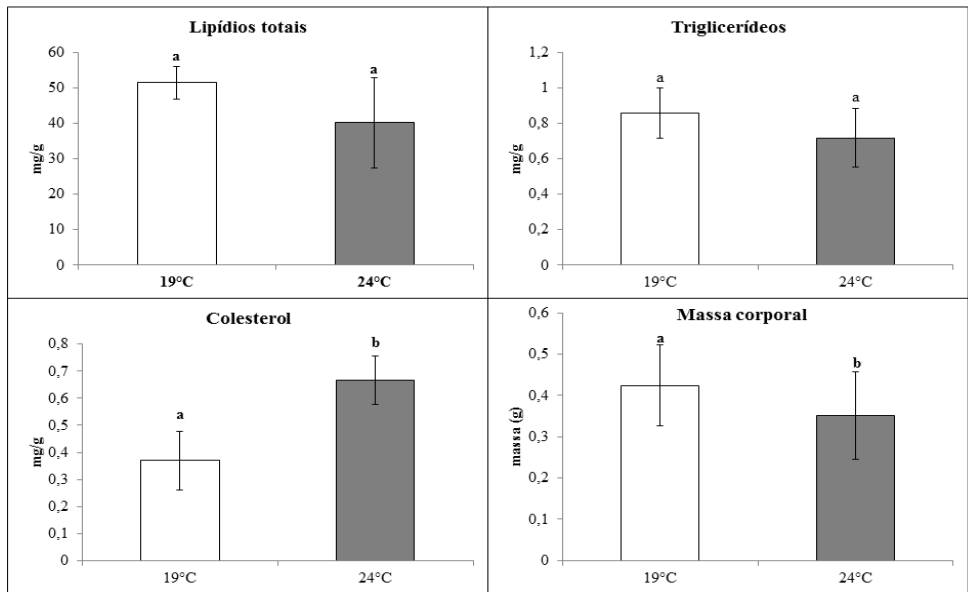


Fig. 2. Níveis de lipídios totais, triglicerídeos e colesterol em homeogeneizado total, e a massa corporal de lagartas de *H. ethilla narcaea* do 5° instar mantidas a temperaturas de 24°C (barra cinza) e 19°C (barra branca). Barras representam as médias \pm desvio padrão. Letras diferentes acima das barras indicam diferença significativa entre os valores médios.

3.2 Enzimas antioxidantes e peroxidação lipídica

Dada a normalidade dos dados obtidos das análises dos biomarcadores do balanço oxidativo, realizamos a MANOVA, sobre a qual não obtivemos significância nos dados (λ Wilks= 0,525 p = 0,437 e potência observada de 0,175). Esse resultado indica que os marcadores do balanço oxidativo dos organismos testados não foram influenciados pelas temperaturas nas quais as lagartas foram mantidas. A comparação dos pares de tratamento (19 e 24° C), para a atividade das enzimas antioxidantes e os níveis de lipoperoxidação também não apresentaram diferenças entre os grupos (Fig. 3).

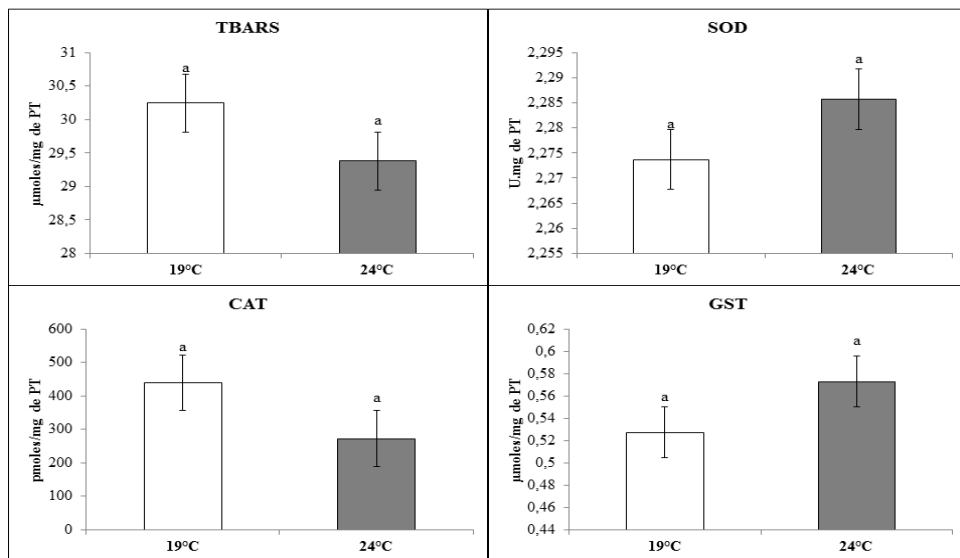


Fig. 3. Níveis de peroxidação lipídica (TBARS), Superóxido dismutase (SOD), Catalase (CAT) e Glutaciona S-transferase (GST) de lagartas de *H. ethilla narcaea* do 5º instar mantidas a temperaturas de 24°C (barra cinza) e 19°C (barra branca). Barras representam as médias ± desvio padrão. Letras diferentes acima das barras indicam diferença significativa entre os valores médios para um $p < 0,05$.

4 | DISCUSSÃO

A maioria dos organismos ocupa ambientes térmicos variáveis, experimentando desafios importantes para os principais componentes da aptidão, como a sobrevivência e a reprodução (KARL *et al.*, 2012). A temperatura funciona então como um agente seletivo (HOFFMANN & HERCUS, 2000; CLARKE, 2003) e o entendimento dos mecanismos através dos quais os organismos respondem a variação ambiental é importante. Pesquisas neste contexto têm recebido crescente atenção devido à rápida mudança climática induzida pela humanidade (DAHLHOFF & RANK, 2007). As metodologias que permitem relacionar as funções moleculares e fisiológicas cresceram nos últimos anos, no entanto, ainda existe uma quantidade muito escassa de trabalhos que analisam estes parâmetros em borboletas (BEAULIEU *et al.*, 2015) e mais escassos ainda os que investigam a fisiologia das borboletas da América Neotropical (MOREIRA & HERMES-LIMA, 2012).

Determinamos os níveis de alguns marcadores do metabolismo intermediário (proteínas, ácido úrico, glicogênio, lactato, lipídios, triglicerídeos e colesterol) em lagartas de quinto instar mantidas desde o ovo em duas temperaturas diferentes (19 e 24°C). Por conta da quase ausência de trabalhos sobre o metabolismo intermediário em borboletas do gênero *Heliconius*, não dispomos de valores de referência desta fase do desenvolvimento em diferentes espécies para uma comparação. O único estudo desenvolvido com *Heliconius* foi feito por (ARISI, 2016) que analisou os mesmos parâmetros do metabolismo

intermediário desde pupas até adultos, pós-cópula, em *Heliconius erato phyllis*. Nossos resultados diferem daqueles verificados por (ARISI, 2016) para pupas 24h, o que denota um padrão fase específico e possivelmente espécie-específico. O que talvez possa estar associado a algumas especificidades de distribuição geográfica e interações de habitat entre as espécies deste gênero (*Heliconius*), experimentos futuros devem ser realizados para aprofundar tal hipótese.

Nossos resultados revelaram diferenças significativas nos níveis de lactato e colesterol entre as duas temperaturas testadas, associado à manutenção dos níveis dos demais marcadores do metabolismo intermediário. Cabe ressaltar que as borboletas são insetos holometábolos e como tais, durante os instares larvais a principal atividade destes animais é alimentar-se e acumular reservas energéticas para realizar a metamorfose, bem como para fornecer reservas para o adulto (MIRTH & RIDDIFORD, 2007). Esta característica pode justificar o padrão aqui encontrado para lagartas que foram mantidas desde o ovo até o quinto instar. Isto evidencia uma plasticidade de adaptação na faixa de variação de temperatura testada e conduz o animal a maximizar o acúmulo de reservas endógenas a fim de garantir o sucesso no desenvolvimento. Estes resultados também reforçam a hipótese de que temperaturas mais baixas, como as do inverno rigoroso do RS possam impedir o desenvolvimento de *H. ethilla narcaea* e assim, restringir sua distribuição ou condicionar esta distribuição a ocupação de microhabitats.

Embora relatado em poucos insetos, o lactato é o principal produto do metabolismo anaeróbio. Os níveis de lactato registrados no nosso experimento foram maiores nas lagartas mantidas a temperatura de 19°C, o que nos permite sugerir que as lagartas mantenham uma atividade de forrageio mais elevada que aquelas expostas a 24°C e que este metabólito, esteja elevado em função de uma atividade digestória mais alta. (MIYAGI *et al.*, 2013) descobriu que larvas do Coloptera *Gastrophysa atrocyanea* que se alimentam de plantas ricas em oxalato, possuem um mecanismo único para acumular quantidades elevadas de lactato. No mesmo estudo os autores relatam que lagartas da borboleta *Papilio machaon* alimentada com erva-doce (*Foeniculum vulgare*) também, acumularam lactato. Não podemos descartar que o mesmo mecanismo seja o responsável pelo aumento dos níveis de lactato em *H. ethilla narcaea* mantidas em 19°C já que *Passiflora edulis* também possui oxalato (BERALDO & KATO, 2010). Isto parece ser corroborado pelos maiores valores de massa corporal encontrados em lagartas também mantidas nesta temperatura (19°C).

Dentro deste contexto, não podemos esquecer que a trealose é o mais importante açúcar presente na hemolinfa dos insetos, sendo está um dissacarídeo não redutor sintetizado pela ação combinada de duas enzimas (trealose-6-fosfato sintase e a trealose-6-fosfato fosfatase) que catalisam a síntese de trealose no corpo gorduroso a partir de dois intermediários da glicólise, a glicose-1-fosfato e a glicose-6-fosfato. Ela serve como uma fonte energética circulante, tal como a glicose o faz no sangue dos vertebrados.

Além disto, este açúcar atua como componente estrutural e de transporte, serve para a proteção de membranas e proteínas contra efeitos adversos de estresse, tais como calor, frio, dessecação, anoxia e, em alguns casos, parece ser importante na eclosão de ovos (PESSOA *et al.*, 2017). Assim, os maiores níveis de lactato verificados nos animais mantidos a 19° C podem também, ser resultado do uso de trealose para a produção de energia para sustentar o padrão de atividade e o desenvolvimento dos animais nesta fase. Qualquer uma das estratégias descritas para explicar o incremento dos níveis de lactato seria vantajosa, pois os animais conseguiriam manter suas reservas de glicogênio. Além do glicogênio, tanto os triglicerídeos como as proteínas foram mantidos constantes independente da temperatura na qual as larvas foram cultivadas; o que novamente nos permite sugerir um papel chave para a trealose como substrato energético nesta fase do desenvolvimento.

O lactato, por exemplo, acumula-se no músculo da tibia extensora de gafanhotos durante o salto (HARRISON *et al.*, 1991). Desta forma, também é possível que as lagartas tenham acionado recursos energéticos para suprir essa atividade muscular. Assim sendo, a atividade muscular das lagartas de *H. ethilla narcaea* a 19°C provavelmente tenham utilizado a produção de lactato anaeróbico em consequência da glicólise para a geração de ATP, assim como descrito para os músculos segmentais de larvas de coleópteros e também, de Lepidoptera (Gäde, 1985). A produção do lactato anaeróbico se dá através da Lactato Desidrogenase (LDH), enzima glicolítica importante em quase todos os tecidos animais e que está envolvida na produção de energia (KAPLAN & PESCE, 1996).

Sabendo que altas temperaturas aceleram o desenvolvimento e consequentemente os processos de ecdise, diminuindo os intervalos entre cada uma das ocorrências. O aumento do colesterol nos animais mantidos desde o ovo até o quinto *instar* em uma temperatura mais elevada talvez esteja associado a uma maior síntese do hormônio ecdisona para garantir os processos de crescimento e um maior aporte de colesterol para sustentar as necessidades estruturais dos animais. Ao longo do cultivo experimental, nós observamos que os animais mantidos em temperatura mais baixa (19°C) iniciaram sua eclosão cerca de três dias após observarmos a primeira eclosão entre os ovos mantidos a 24 °C, reforçando assim, nossa hipótese de desenvolvimento mais rápido para os animais mantidos em temperaturas mais elevadas (24° C).

Contudo, não podemos quantificar ou calcular a taxa de crescimento, pois os animais de cada grupo experimental foram mantidos de forma agrupada. Bavaresco *et al.* (2002) estudando as exigências térmicas da mariposa *Spodoptera cosmioides* relata que o desenvolvimento pode ser acelerado quando o animal se encontra próximo de sua temperatura ótima, apesar de poder viver em uma faixa mais ampla de variação de temperatura. Os estudos de Rawlins & Lederhouse (1981) e Zalucki (1982) mostraram que as larvas de monarcas não se desenvolvem a temperaturas abaixo de 10° C ou acima de 34° C. As monarcas geralmente desenvolvem-se mais rápido em temperaturas mais altas,

como as que experimentam em ambiente natural (27 °C), demorando aproximadamente 12 dias para passar por todos os cinco instares, e aquelas criadas em temperaturas cada vez mais baixas, levando mais tempo.

Estudos com larvas de *Drosophila melanogaster* mostraram que a presença de um gene mutante que dificultava a absorção de colesterol adquirido através da dieta resultou na morte das larvas durante os instares iniciais do desenvolvimento (VOGHT *et al.*, 2007). Da mesma forma, a redução na concentração de colesterol na hemolinfa do noctuídeo *Spodoptera litura* causou um atraso no desenvolvimento das lagartas até a formação da pupa (GUO *et al.*, 2009). Esses resultados indicam que o colesterol tem um papel importante no processo de desenvolvimento dos insetos imaturos até adultos, seja como precursor hormonal e/ou como uma molécula estrutural. O processo de desenvolvimento é essencialmente regido pelo hormônio ecdisona (20-hidroxiecdisona ou 20-HE) (SCHWEDES & CARNEY, 2012) e as sinalizações para o controle da muda são bem conhecidas em diferentes insetos (*D. melanogaster*, *A. aegypti*, *Manduca sexta*, *Blattella germânica* e *Tribolium Casteneum*) (MAJEROWICZ & GONDIM, 2014).

A temperatura também influencia na qualidade do alimento e nas taxas de consumo em insetos herbívoros. A análise dos pesos das lagartas mostra que os indivíduos mantidos em temperaturas mais baixas apresentaram maior massa corporal do que as mantidas em temperaturas maiores. De fato, durante o experimento, as lagartas não tinham risco de predação, como teriam na natureza e a alimentação foi oferecida *ad libitum*. Os dados obtidos se relacionam positivamente aos registrados por (STAMP, 1990), quando registrou menos biomassa em lagartas de *Manduca sexta* criadas em temperaturas mais quentes. Muitos estudos já relataram que em temperaturas mais quentes, geralmente as taxas de crescimento são maiores do que em temperaturas mais baixas, ou amenas (REYNOLDS & NOTTINGHAM, 1985), o que (LEVESQUE *et al.*, 2002) corrobora com seus dados, através das análises com lagartas de *Malacosoma disstria* de 4^o instar em três temperaturas (18, 24 e 30°C). Além disso, já foi também registrado que quanto maior a taxa de crescimento, menor é o tempo gasto no instar (STAMP, 1990; LEVESQUE *et al.*, 2002; ZIPKIN *et al.*, 2012). No entanto, a relação entre as taxas de crescimento, tempo no instar e massa corporal é regulada por processo neuroendócrino que define primeiramente um peso crítico para a realização do início da muda ou ecdise e posteriormente o tempo de crescimento para a obtenção do peso crítico (LEVESQUE *et al.*, 2002). Além de aumentar as taxas de crescimento e diminuir a massa corporal das lagartas, as temperaturas mais altas também reduzem a massa pupal (LEMOINE *et al.*, 2015).

Apesar da diferença de temperatura em que os animais foram cultivados (19 e 24° C), eles conseguem manter o sistema antioxidante sem variações significativas na atividade das enzimas estudadas (SOD, CAT e GST), o que se reflete na ausência de variação nos níveis de lipoperoxidação. Não podemos descartar que outras enzimas antioxidantes não quantificadas, como a glutatona peroxidase e a glutatona redutase, e/ou as defesas

antioxidantes não enzimáticas estejam intermediando esta resposta. Outra possibilidade é que esteja ocorrendo dano oxidativo sobre as proteínas e/ou outros componentes celulares não quantificados neste estudo. Contudo, ressaltamos a ausência de mortalidade ao longo do experimento.

O aumento da temperatura afeta todos os organismos vivos, estimulando todos os processos metabólicos de acordo com os princípios termodinâmicos conhecidos (LUSHCHAK, 2011). Contudo, os animais podem ser capazes de corrigir possíveis desequilíbrios como a produção de ERO, regulando positivamente suas defesas antioxidantes endógenas e/ou podem responder com mudanças comportamentais.

O ajuste comportamental mais descrito pela bibliografia é de que animais expostos a condições de calor evitam o uso fisiológico das defesas antioxidantes buscando um habitat mais favorável em relação à temperatura. No entanto, para que isso possa ocorrer o ambiente precisa fornecer refúgios, como áreas sombreadas e tocas. Isso se torna bastante problemático em locais onde a variabilidade térmica é baixa (HUEY *et al.*, 2012). Sendo adverso também, para os indivíduos imaturos, como as lagartas, que dispõem de locomoção limitada. No presente estudo, não foi ofertada a possibilidade de refúgios para as lagartas, impedindo que estas busquem um ambiente mais favorável, o que nos permite sugerir que estes animais diminuem sua atividade metabólica na temperatura mais elevada de cultivo (24° C) a fim de evitarem uma situação de estresse oxidativo. Outros autores também propuseram uma redução da atividade física diminuindo assim a produção de ERO, já que a busca por melhores condições deve aumentar ainda mais a taxa metabólica (GANNON *et al.*, 2014; BEAULIEU *et al.*, 2015). Este padrão também reflete uma plasticidade fisiológica dos indivíduos de *Heliconius ethila narcea* que habita diferentes lugares com diferentes climas e consegue manter suas populações por longos períodos do ano. Da mesma forma Beaulieu *et al.* (2015) mostrou em lagartas de *Bicyclus anynana*, mantidas a 25°C e 33°C, que o dano oxidativo (TBARS) não aumentou com o aumento da temperatura; sugerindo que além da redução da atividade nesta faixa de temperatura a espécie não apresenta danos moleculares, como já documentado também em moscas domésticas (SOHAL *et al.*, 1993).

As plantas de *Passiflora* são bem protegidas quimicamente, tendo sido descrita a presença de flavonoides, alcaloides, glicosídeos cianogênicos, assim como a presença de taninos e saponinas (CASTRO *et al.*, 2018). Visto que muitas destas moléculas são pró-oxidantes pode-se sugerir uma capacidade antioxidante e/ou do sistema de biotransformação mais eficiente nestes animais. Contudo, os mesmos autores relatam que as heliconiinas podem sintetizar os próprios glicosídeos cianogênicos, apresentando capacidade de lidar com esses compostos, o que foi provavelmente uma das adaptações mais cruciais que permitiram ao ancestral destas borboletas se alimentarem de *Passiflora*. De fato, já foi demonstrado que as larvas de *Heliconius* podem sequestrar glicosídeos cianogênicos e alcalóides de suas plantas hospedeiras e utilizá-los para seu próprio

benefício. Além disto, Rudnicki *et al.* (2007) demonstraram que extratos foliares de *P. alata* e *P. edulis* possuem potentes propriedades antioxidantes *in vitro* e *ex vivo* de mamíferos, e podem ser considerados como possíveis novas fontes de antioxidantes naturais, sendo a atividade antioxidante diretamente correlacionada com o elevado teor de polifenóis presentes nestes extratos. Assim, outra possibilidade que pode explicar nossos resultados de balanço oxidativo, seria o aumento da ingestão e/ou absorção e/ou acúmulo de moléculas antioxidantes obtidas das folhas de *Passiflora edulis* pelas lagartas de *H. ethila narcea*, a fim de obterem não só nutrientes, mas principalmente moléculas antioxidantes. Beaulieu *et al.* (2015) observaram que borboletas adultas de *Bicyclus anynana* mantidas a 25°C e 33°C quase dobraram a ingestão de polifenóis nas condições mais quentes, além de reduzirem a atividade de voo. Curiosamente, estas borboletas aumentaram a ingestão de polifenóis pela manhã, quando também consumiram recursos energéticos (açúcar). O aumento da ingestão de polifenóis nas manhãs quentes levou à diminuição da ingestão de açúcar no meio do dia, o que pode ter contribuído para reduzir a atividade de voo naquele momento. No geral, isso sugere que *B. anynana* priorizou a ingestão de polifenol sobre a ingestão de energia (e seus benefícios associados) sob condições quentes. Em nosso estudo não oferecemos outro recurso alimentar as larvas que não fossem folhas de *Passiflora edulis*. Da mesma forma que o verificado em nosso estudo com *H. ethila narcea* a temperatura não afetou as defesas antioxidantes endógenas (medidas pela atividade da superóxido dismutase) e não aumentou o dano oxidativo em *Bicyclus anynana* (BEAULIEU *et al.*, 2015). Zalucki (1982) e York & Oberhauser (2002) afirmam que ovos e lagartas de borboletas monarca são mais resistentes a altas temperaturas do que as pupas. As características encontradas para a resposta do balanço oxidativo, incluindo a atividade da GST nos permite sugerir um possível traço de processo co-evolutivo entre a planta (*Passiflora edulis*) e seu hospedeiro (*H.e.narcea*) que merece ser investigado no futuro como já sugerido por (CASTRO *et al.*, 2018) para outros aspectos desta interação.

Estes resultados sugerem que as borboletas respondem às condições quentes ajustando possivelmente seu comportamento, sua atividade metabólica e priorizando, através da ingestão e acúmulo de moléculas antioxidantes que podem ser oriundas do alimento ofertado (*Passiflora edulis*). Mantendo assim, suas reservas energéticas (glicogênio, triglicerídeos e proteínas), além de evitarem um desequilíbrio entre a produção de ERO e as defesas antioxidantes através do incremento do sistema antioxidante não enzimático. Isto reflete a plasticidade fisiológica dos indivíduos da espécie que habitam diferentes localidades com diferentes climas e conseguem manter suas populações por longos períodos do ano.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr Gianfranco Ceni pelo auxílio no trabalho de campo. Ao PPG de Genética

e Biologia Molecular da Universidade Federal do Rio Grande do Sul por disponibilizar o espaço para o cultivo dos indivíduos adultos e das lagartas. À Bióloga Gabriela Miranda pelo auxílio na manutenção das lagartas. À Bióloga Mestre Etiele Senna por ceder algumas imagens que fazem parte do Resumo gráfico. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de doutorado no PPG de Ecologia e Evolução da Biodiversidade da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa a BDC e a bolsa de produtividade a GTO (n°307071/2015-4).

REFERÊNCIAS

- AHMAD, S. **Oxidative Stress and antioxidant defenses in biology**. Springer, New York. 1995.
- ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C. *et al.* **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, 22, 711-728. 2013.
- ANDRADE, R.B. & FREITAS, A.V. **Population biology of two species of *Heliconius* (Nymphalidae : Heliconiinae) in a semi-deciduous forest in Southeastern Brazil**. Journal of the Lepidopterists' Society, 59, 223-228. 2005.
- ARISI, T.A. **Conflito sexual: por que machos e fêmeas de *Heliconius erato phyllis* apresentam assincronia no início da reprodução?** Unpublished Dissertation in Genetics and Molecular Biology, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2016.
- ARRESE, E.L. & SOULAGES, J.L. **Insect Fat Body: Energy, Metabolism, and Regulation**. Annual review of entomology, 55, 207-225. 2010.
- ATHENSTAEDT, K. & DAUM, G. **The life cycle of neutral lipids: Synthesis, storage and degradation**. Cellular and Molecular Life Sciences, 63, 1355-1369. 2006.
- BAVARESCO, A., GARCIA, M.S., GRTZMACHER, A.D. *et al.* **Biologia e exigências térmicas de *Spodoptera cosmioides* (Walk.) (Lepidoptera: Noctuidae)**. Neotropical Entomology, 31, 49-54. 2002.
- BEAULIEU, M., GILLEN, E., HAHN, S. *et al.* **Behavioural antioxidant strategies to cope with high temperatures: A study in a tropical butterfly**. Animal Behaviour, 109, 89-99. 2015.
- BERALDO, J. & KATO, E.T.M. **Morfoanatomia de folhas e caules de *Passiflora edulis* Sims, Passifloraceae**. Revista Brasileira de Farmacognosia, 20, 233-239. 2010.
- BERRYMAN, A.A. **What causes population cycles of forest Lepidoptera?** Tree, 11, 28-31. 1996.
- BEYER, R.E. **A rapid biuret assay for protein of whole fatty tissues**. Analytical biochemistry, 129, 483-485. 1983.
- BIANCHI, V. & MOREIRA, G.R.P. **Preferência alimentar, efeito da planta hospedeira e da densidade larval na sobrevivência e desenvolvimento de *Dione juno juno* (Cramer) (Lepidoptera, Nymphalidae)**. Revista Brasileira de Zoologia, 22, 43-50. 2005.

BOVERIS, A. & CHANCE, B. **The mitochondrial generation of hydrogen peroxide. General properties and effect of hyperbaric oxygen.** *Biochemical Journal*, 134, 707-716. 1973.

BOVERIS, A., FRAGA, C.G., VARSAVSKY, A.I. *et al.* **Increased chemiluminescence and superoxide production in the liver of chronically ethanol-treated rats.** *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 227, 534-541. 1983.

BOYLAND, E. & CHASSEAUD, L.F. **The role of glutathione and glutathione S-transferases in mercapturic acid biosynthesis.** *Advances in enzymology and related areas of molecular biology*, 32, 173-219. 1969.

BUEGE, J.A. & AUST, S.D. **Microsomal lipid peroxidation.** *Methods in Enzymology*, 52, 302-310. 1978.

CASTRO, É.C.P., ZAGROBELNY, M., CARDOSO, M.Z. *et al.* **The arms race between heliconiine butterflies and *Passiflora* plants – new insights on an ancient subject.** *Biological Reviews*, 93, 555-573. 2018.

CLARKE, A. **Costs and consequences of evolutionary temperature adaptation.** *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 573-581. 2003..

DAHLHOFF, E.P. & RANK, N.R. **The role of stress proteins in responses of a montane willow leaf beetle to environmental temperature variation.** *Journal of biosciences*, 32, 477-488. 2007.

DEAN, R.L., COLLINS, J.V. & LOCKE, M. **Structure of the fat body.** *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry, and Pharmacology*, 155-210. Pergamon Press, Oxford. 1985.

EHRlich, P.R. & GILBERT, L.E. **Population structure and dynamics of the tropical butterfly *Heliconius ethilla*.** *Biotropica*, 5, 69-82. 1973.

FOLCH, J. & LEES, M. **A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues.** *The Journal of biological chemistry*, 226, 497-509. 1957.

FRINGS, C. & DUNN, R. **A colorimetric method for determination of total serum lipids based on the sulfophosphovanillin reaction.** *American Journal of Clinical Pathology*, 53, 89-91. 1970.

GÄDE, G. **Anaerobic energy metabolism.** *Environmental Physiology and Biochemistry of Insects* (ed by K.H. Hoffmann), pp. 119-136. SpringerVerlag, Berlin. 1985.

GANNON, R., TAYLOR, M.D., SUTHERS, I.M. *et al.* **Thermal limitation of performance and biogeography in a free-ranging ectotherm : insights from accelerometry.** *The Journal of experimental biology*, 217, 3033-3037. 2014.

GUO, X.-R., ZHENG, S.-C., LIU, L. *et al.* **The sterol carrier protein 2/3-oxoacyl-CoA thiolase (SCPx) is involved in cholesterol uptake in the midgut of *Spodoptera litura*: gene cloning, expression, localization and functional analyses.** *BMC Molecular Biology*, 18, 1-18. 2009.

HARPEL, D., CULLEN, D.A., OTT, S.R. *et al.* **Pollen feeding proteomics: salivary proteins of the passion flower butterfly, *Heliconius melpomene*.** *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 63, 7-13. 2015.

HARRISON, J.F., PHILLIPS, J.E. & GLEESON, T.T. **Activity physiology of the two-striped grasshopper, *Melanoplus bivittatus*: gas exchange, hemolymph acid-base status, lactate production, and the effect of temperature.** *Physiological Zoology*, 64, 451-472. 1991.

HERMES-LIMA, M. **Oxygen in biology and biochemistry: role of free radicals.** *Functional metabolism: regulation and adaptation* (ed by K.B. Storey), pp. 319-368. Wiley, New York. 2004.

HOFFMANN, A.A. & HERCUS, M.J. **Environmental stress as an evolutionary force.** *BioScience*, 50, 217-226. 2000.

HOLZINGER, H. & HOLZINGER, R. ***Heliconius* and related genera.** *Sciences Nat., Venette*. 1994.

HUEY, R.B., KEARNEY, M.R., KROCKENBERGER, A. *et al.* **Predicting organismal vulnerability to climate warming: roles of behaviour , physiology and adaptation.** *Philosophical transactions of the Royal Society*, 367, 1665-1679. 2012.

JIA, A.F.-X., DOU, W., HU, F. *et al.* **Effects of thermal stress on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae).** *Florida Entomologist*, 94, 956-963. 2011.

JONES, D.P. **Redefining Oxidative Stress.** *Antioxidants and Redox Signaling*, 8, 1-16. 2006.

KAPLAN, L.A. & PESCE, A.J. **Clinical Chemistry: Theory, Analysis, Correlation.** Mosby-Year Book Inc., St. Louis. 1996.

KARL, I., MICHALOWSKY, C., SRENSSEN, J.G. *et al.* **Effects of rearing and induction temperature on the temporal dynamics of heat shock protein 70 expression in a butterfly.** *Physiological Entomology*, 37, 103-108. 2012.

KÖPPEN, G.W. **Das geographische system der klimate.** *Handbuch der klimatologie* (ed by W. Köppen and R. Geiger), pp. 1-44. Gebruder Borntraeger, Berlin. 1936.

LEMOINE, N.P., CAPDEVIELLE, J.N. & PARKER, J.D. **Effects of *in situ* climate warming on monarch caterpillar (*Danaus plexippus*) development.** *PeerJ*, 1293, 1-10. 2015.

LEVESQUE, K.R., FORTIN, M. & MAUFFETTE, Y. **Temperature and food quality effects on growth, consumption and post-ingestive utilization efficiencies of the forest tent caterpillar *Malacosoma disstria* (Lepidoptera: Lasiocampidae).** *Bulletin of Entomological Research*, 92, 127-136. 2002.

LOCKEY, K.H. **Lipids of the insect cuticle: origin, composition and function.** *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 89, 595-645. 1988.

LUSHCHAK, V.I. **Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals.** *Aquatic Toxicology*, 101, 13-30. 2011.

MAJEROWICZ, D. & GONDIM, K.C. **Insect lipid metabolism: insights into gene expression regulation.** *Recent Trends in Gene Expression* (ed by S.S. Mandal), pp. 147-190. Nova Science Publishers. 2014.

MIRTH, C.K. & RIDDIFFORD, L.M. **Size assessment and growth control: how adult size is determined in insects.** *BioEssays*, 29, 344-355. 2007.

MIYAGI, A., KAWAI-YAMADA, M., UCHIMIYA, M. *et al.* **Metabolome analysis of food-chain between plants and insects.** *Metabolomics*, 9, 1254-1261. 2013.

MOREIRA, D.C. & HERMES-LIMA, M. **Redox metabolism during tropical diapause in a Lepidoptera larva.** *Living in a seasonal world* (ed by T. Ruf, C. Bieber, W. Arnold and E. Millesi), pp. 399-409. Springer, Berlin. 2012.

NARDIN, J.D., MISSAGGIA, B.O. & ARAÚJO, A.M. **An experimental approach to test the source of information on kinship in butterfly immatures.** *Ethology, Ecology and Evolution*, 27, 294-305. 2014.

PERC-MATARUGA, V., ILIJIN, L., MRDAKOVI, M. *et al.* **Chemosphere parameters of oxidative stress, cholinesterase activity, Cd bioaccumulation in the brain and midgut of *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae) caterpillars from unpolluted and polluted forests.** *Chemosphere*, 218, 416-424. 2018.

PESSOA, M.C.F., IZUMI, É., ZANOTTO, S.P. *et al.* **Kinetic characterization and molecular modeling of trehalose-6-phosphate phosphatase from *Anopheles gambiae* and expressed in *Pichia pastoris*.** *African Journal of Biotechnology*, 16, 1366-1378. 2017.

RAMOS, R.R. & FREITAS, A.V. **Population biology, wing color variation and ecological plasticity in *Heliconius erato phyllis* (Nymphalidae).** *Journal of the Lepidopterists' Society*, 53, 11-21. 1999.

RAMZI, S., SERAJI, A., GONBAD, R.A. *et al.* **Effects of *Artemisia annua* methanolic extract on the enzymatic components of intermediary metabolism and the antioxidant system of *Pseudococcus viburni* Signoret.** *Journal of Plant Protection Research*, 58, 289-296. 2018.

RAWLINS, J.E. & LEDERHOUSE, R.C. **Developmental influences of thermal behavior on monarch caterpillars (*Danaus plexippus*): an adaptation for migration (Lepidoptera: Nymphalidae: Danaeinae).** *Journal of the Kansas Entomological Society*, 54, 387-408. 1981.

REYNOLDS, S.E. & NOTTINGHAM, S.F. **Effects of temperature on growth and efficiency of food utilization in fifth-instar caterpillars of the tobacco hornworm, *Manduca sexta*.** *Journal of Insect Physiology*, 31, 129-134. 1985.

RIBEIRO, M.C., MARTENSEN, A.C., METZGER, J.P. *et al.* **The Brazilian Atlantic Forest: a shrinking biodiversity hotspot.** *Biodiversity Hotspots* (ed by F. Zachos and J. Habel), pp. 405-434. Springer, Berlin. 2011.

RUDNICKI, M., OLIVEIRA, M.R., PEREIRA, T.V. *et al.* **Antioxidant and antiglycation properties of *Passiflora alata* and *Passiflora edulis* extracts.** *Food Chemistry*, 100, 719-724. 2007.

Schwedes, C.C. & Carney, G.E. **Ecdysone signaling in adult *Drosophila melanogaster*.** *Journal of Insect Physiology*, 58, 293-302. 2012.

SOBRAL-SOUZA, T., FRANCINI, R.B., GUIMARES, M. *et al.* **Short-term dynamics reveals seasonality in a Subtropical *Heliconius* butterfly.** *Journal of Insects*, 1-5. 2015.

SOHAL, R.S., AGARWAL, S., DUBEY, A. *et al.* **Protein oxidative damage is associated with life expectancy of houseflies.** *Biochemistry*, 90, 7255-7259. 1993.

STAMP, N.E. **Growth versus molting time of caterpillars as a function of temperature, nutrient concentration and the phenolic rutin.** *International Association for Ecology Growth*, 82, 107-113. 1990.

STOREY, K.B. **Organic solutes in freezing tolerance.** *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 117, 319-326. 1997.

VAN HANDEL, E. **Estimation of glycogen in small amounts of tissue.** *Analytical biochemistry*, 11, 256-265. 1965.

VOGHT, S.P., FLUEGEL, M.L., ANDREWS, L.A. *et al.* ***Drosophila* NPC1b promotes an early step in sterol absorption from the midgut epithelium.** *Cell Metabolism*, 5, 195-205. 2007.

WATANABE, M., KIKAWADA, T., MINAGAWA, N. *et al.* **Mechanism allowing an insect to survive complete dehydration and extreme temperatures.** *Journal of Experimental Biology*, 205, 2799-2802. 2002.

YORK, H.A. & OBERHAUSER, K.S. **Effects of duration and timing of heat stress on monarch butterfly (*Danaus plexippus*) (Lepidoptera: Nymphalidae) development.** *Journal of the Kansas Entomological Society*, 75, 290-298. 2002.

ZALUCKI, P. **Temperature and rate of development in *Danaus plexippus* and *D. chrysippus* (Lepidoptera: Nymphalidae).** *Journal of the Australian Entomological Society*, 21, 241-246. 1982.

ZIPKIN, E.F., RIES, L., REEVES, R. *et al.* **Tracking climate impacts on the migratory monarch butterfly.** *Global Change Biology*, 18, 3039-3049. 2012.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abundância 2, 3, 4, 5, 24, 25, 28, 31, 33, 53, 73, 74, 75, 79, 80, 81, 82

Amazônia 4, 1, 5, 9, 34, 82, 83

Anfíbios 22, 23, 24, 28, 31, 34, 36

Áreas rurais 10

Áreas urbanas 1, 7, 10, 19

B

Biodiversidade 3, 7, 15, 17, 22, 24, 33, 34, 36, 51, 55, 68, 73, 82, 85

Bioindicadores 85

Biomarcadores 51, 59, 61

Borboletas 51, 52, 56, 62, 63, 66, 67

C

Carollia perspicillata 1, 2, 10, 11

Ciclagem de nutrientes 74

Clupeidae 37, 38, 39, 40, 41, 43, 49

Composição 2, 3, 4, 5, 24, 37, 39, 41, 48, 55, 73, 75, 79, 80, 81, 82, 83

Comunidades 4, 22, 23, 24, 33, 74, 75, 81, 82, 85

Conservação 2, 3, 7, 13, 15, 17, 20, 22, 24, 36, 74, 85

D

Dispersão de sementes 2, 3, 9, 17

Distribuição 4, 22, 24, 28, 33, 50, 59, 63, 73, 75, 79, 83, 85

Diversidade 2, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 14, 16, 17, 22, 23, 24, 25, 27, 33, 35, 74, 75, 81, 82, 83

E

Ecologia 20, 22, 24, 37, 39, 51, 68, 78, 83, 85

Ectotérmicos 23, 54

Educação ambiental 16, 20

Engraulidae 37, 38, 39, 40, 41, 43, 45, 46, 49, 50

Ensino de biologia 4, 15

Espécies 2, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 16, 17, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 48, 52, 53, 55, 62, 63, 81, 82, 85

Estresse oxidativo 51, 52, 54, 66

F

Fatores bióticos 2, 24

Fluxo de energia 74

Funcionamento dos ecossistemas 4, 5

H

Habitat 3, 4, 10, 11, 12, 13, 23, 34, 35, 63, 66, 73, 74, 75, 81, 82

Heliconius ethilla narcaea 2, 5, 51, 52, 56

Herpetofauna 2, 4, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36

I

Igarapé 3, 5, 73, 74, 75, 76, 77, 80, 81, 82

Insetos 2, 3, 5, 1, 2, 4, 17, 19, 53, 54, 63, 65, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85

Insetos aquáticos 3, 5, 73, 74, 75, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85

L

Lagartas 2, 5, 51, 52, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68

M

Macroinvertebrados aquáticos 73

Mamíferos 2, 3, 15, 16, 17, 19, 20, 67

Massa corporal 51, 59, 61, 63, 65

Mata atlântica 24, 55

Matéria orgânica 74, 75, 82

Metabolismo intermediário 2, 5, 51, 52, 53, 55, 56, 57, 59, 62, 63

Morcegos 2, 4, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21

N

Nordeste 37, 48

P

Pesca artesanal 4, 37

Phyllostomidae 1, 2, 4, 7, 11, 13

Polinização 2, 17, 19

Q

Quiropteroecoria 2

Quirópteros 1, 7, 9, 10, 13, 16, 20, 21

R

Raiva animal 16

Remanescentes florestais 4, 1

Répteis 22, 23, 24, 28, 31, 34, 35, 36

Rio xingu 3, 75

S

Sardinha 2, 4, 37, 38, 39, 41, 43, 44, 46, 48, 50

Substratos 3, 5, 73, 74, 75, 77, 79, 80, 81, 82, 83

T

Tamanho populacional 52

V

Variação de temperatura 51, 52, 63, 64

Variação espacial 2, 25

Vegetação 2, 3, 10, 22, 25, 26, 28, 31, 81, 82, 85

🌐 www.atenaeditora.com.br
✉ contato@atenaeditora.com.br
📷 @atenaeditora
📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



ZOOLOGIA:

Organismos e suas contribuições
ao ecossistema

🌐 www.atenaeditora.com.br
✉ contato@atenaeditora.com.br
📷 @atenaeditora
📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



ZOOLOGIA:

Organismos e suas contribuições
ao ecossistema