



INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA SENSIBILIDADE TÉRMICA LOCOMOTORA E FISIOLÓGICA - UMA REVISÃO FOCADA EM LAGARTOS *TROPIDURUS*

FABRÍCIO ALVES RODRIGUES; ANDRÉ ALVES SANTANA; TARICK GABRIEL
ALMEIDA DE MORAIS; ANA VITÓRIA ALVES-SOBRINHO

RESUMO

Este estudo fez uma revisão de trabalhos relacionados a sensibilidade térmica em lagartos do gênero *Tropidurus*, considerando suas atividades fisiológicas e motoras, além de compreender quais as metodologias utilizadas nos estudos. Foi visto que os artigos utilizaram os métodos de gradiente térmico para avaliar as preferências térmicas dos animais e câmaras térmicas determinar suas temperaturas críticas mínimas e máximas para atividade locomotora. Os resultados revelaram uma ampla faixa de tolerância térmica nos lagartos estudados, com variação nas preferências térmicas entre espécies e populações. Além disso, observou-se que os lagartos são capazes de suportar uma ampla gama de temperaturas antes de perderem completamente sua capacidade de locomoção. Esses achados destacam a importância da termorregulação para a sobrevivência desses animais em ambientes sujeitos a variações climáticas. Concluímos que os lagartos do gênero *Tropidurus* demonstram uma notável adaptabilidade à variabilidade térmica, o que pode ser crucial para sua sobrevivência. Sugerimos que futuras pesquisas explorem as estratégias comportamentais e fisiológicas utilizadas pelos lagartos para lidar com variações na temperatura, bem como os efeitos das mudanças climáticas sobre sua distribuição geográfica e diversidade. Fazer uma investigação mais ampla dentro do gênero para obter insights sobre preferência térmica e capacidade máxima e mínima de temperatura para sua locomoção correlacionando ao ecossistema que vive.

Palavras-chave: desempenho locomotor, sensibilidade térmica, *tropiduridae*, desempenho metabólico, fisiologia térmica.

1 INTRODUÇÃO

No cenário contemporâneo, observam-se mudanças significativas no clima global, caracterizadas pelo aumento das temperaturas médias, modificações nos padrões de precipitação e diminuição dos níveis de umidade. Tais alterações climáticas são atribuídas em grande parte às atividades humanas, que exercem influência direta sobre o sistema climático terrestre (HILAMATU, 2024).

É notório que a temperatura do ambiente tem influência sobre os animais, sejam eles ectotérmicos ou endotérmicos, uma vez que a bioquímica e fisiologia animal são muito dependentes de elementos abióticos com pH e temperatura, fazendo com que as proteínas possam ser desnaturadas, impedindo suas funções (BOVO; KOHLSDORF; DE ANDRADE, 2020; DE BARROS *et al.*, 2020). A influência dos variados gradientes ambientais e climáticos na distribuição geográfica e na diversidade de répteis têm sido objetos de análises em várias pesquisas científicas (HILAMATU, 2024).

Considerando essa influência, os animais endotérmicos, mamífero e aves, possuem uma vantagem em relação à temperatura ambiente, uma vez que são capazes de regular ativamente

sua temperatura corporal, resultando em menor susceptibilidade de desnaturação de suas proteínas e enzimas às variações térmicas externas. Por outro lado, os ectotérmicos como peixes, anfíbios e répteis não aviários dependem da temperatura ambiente para regular sua temperatura interna, o que os torna mais vulneráveis às flutuações térmicas externas em comparação aos animais endotérmicos, podendo assim ter suas atividades limitadas dependendo do local, sazonalidade e dependendo de nichos térmicos adequados para realizar suas atividades fisiológicas e metabólicas (BOVO; KOHLSDORF; DE ANDRADE, 2020; DE BARROS *et al.*, 2020).

A análise da taxa metabólica revela-se como uma dimensão de desempenho de grande relevância, em parte devido às teorias como a Teoria Metabólica da Ecologia (MTE). Esta teoria postula a importância da taxa metabólica como um componente essencial de um arcabouço teórico capaz de explicar diversos padrões ecológicos e padrões de comportamento, incluindo as respostas dos organismos às mudanças climáticas (SCHULTE; HEALY; FANGUE, 2011). Os diversos aspectos da biologia animal dos ectotérmicos, como locomoção, crescimento, taxa metabólica, fecundidade e sobrevivência, são sensíveis à temperatura, o que resulta em implicações significativas para a adaptação ecológica dos organismos. Nesse contexto, o desenvolvimento de mecanismos termorregulatórios, sejam eles de natureza fisiológica ou comportamental, desempenha um papel fundamental na manutenção das condições térmicas adequadas para uma variedade de processos diante das variações naturais do ambiente (ANGILLETTA, 2009).

Sob uma abordagem mecanicista, como no caso da locomoção de animais ectotérmicos, o ambiente engloba uma série de dimensões variáveis, tais como temperatura, umidade, salinidade, produtividade e presença de competidores, as quais podem influenciar a eficácia do deslocamento locomotor desses animais de várias maneiras (ALRUIZ *et al.*, 2024; ANGILLETTA, 2009).

Com relação aos lagartos, destaca-se o gênero *Tropidurus*, endêmico da América do Sul e com uma distribuição predominante no Brasil, como ilustrado na Figura 1. Este gênero é amplamente distribuído em diversos biomas, incluindo a Mata Atlântica, o Pantanal, o Cerrado e a Caatinga (BIODIVERSITY4ALL, 2024). Entre esses biomas, o Cerrado e a Caatinga são particularmente afetados pelo aquecimento global, com tendência de redução da precipitação pluviométrica e aumento da incidência solar, tornando os lagartos deste gênero alvos de estudos sobre sensibilidade térmica (ARTAXO, 2023; BETTIOL *et al.*, 2023).

Figura 1: Distribuição do gênero *Tropidurus* na América do sul (BIODIVERSITY4ALL, 2024)



O presente estudo propõe-se a realizar uma revisão abrangente da literatura científica atual sobre a sensibilidade térmica com relação as atividades fisiológicas e a perda da locomotor em lagartos e sua preferência térmica para manter suas atividades fisiológicas. O objetivo é destacar e analisar as metodologias e resultados presentes nos estudos selecionados, visando proporcionar uma compreensão mais aprofundada das abordagens adotadas neste campo de pesquisa.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para conduzir o levantamento bibliográfico científico, utilizaremos plataformas de indexação de artigos científicos, como Google Scholar, Springer, Science Direct e Wiley. Em cada uma dessas plataformas, empregaremos a seguinte chave de busca: “Thermal Performance Curves” and “thermal sensitivity” and “*Tropidurus*”, a partir do ano de 2015. Inicialmente, realizaremos uma seleção preliminar dos artigos com base nos resumos disponíveis. Posteriormente, os artigos selecionados serão lidos na íntegra. Durante essa fase, alguns artigos podem ser descartados caso não estejam alinhados com os objetivos delineados neste estudo expandido.

Após a seleção final dos artigos, adotaremos o método de fichamento científico. Para cada artigo lido, será elaborado um resumo que incluirá uma síntese do conteúdo e das metodologias utilizadas, bem como dos resultados obtidos. Com base nos fichamentos elaborados, será conduzida uma revisão abrangente dos métodos e resultados empregados para investigar o desempenho locomotor dos tropidurídeos em relação à sua termorregulação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação aos artigos selecionados, foram identificados quatro estudos que abordam a sensibilidade térmica e sua influência na atividade fisiológica e locomotora de lagartos. Destes, quatro estão relacionados especificamente ao gênero *Tropidurus*, enquanto um se refere aos lagartos da Amazônia, mas que tem um exemplar da ordem.

3.1 Temperatura Preferencial

No artigo *Vulnerability to climate warming of four genera of New World iguanians based on their thermal ecology* os autores propuseram investigar se a susceptibilidade ao aquecimento global em lagartos apresentava uma relação inversa com a latitude e altitude. Comparou-se dados de quatro populações de três espécies do gênero *Tropidurus* do Cerrado brasileiro com populações de três outros gêneros (*Anolis*, *Liolaemus* e *Sceloporus*) distribuídos desde o sul da Patagônia até o México e Caribe. Os *Tropidurus catalanensis* foram coletados nas regiões de Piracicaba, SP; *Tropidurus torquatus* na região de Arinos, MG e Formoso do Araguaia, TO; e, por fim, *Tropidurus oreadicus* em Formoso do Araguaia, TO (PIANTONI; NAVAS; IBARGUENGOYTÍA, 2015).

Os pesquisadores empregaram a metodologia do gradiente térmico para determinar a temperatura preferencial dos animais. Foi construída uma trilha de gradiente térmico com 1 metro e 40 centímetros de comprimento e 16 centímetros de largura, onde a temperatura variava de 23°C em uma extremidade a 45°C na outra. Os animais foram então colocados nesta trilha, onde podiam se locomover e escolher uma temperatura dentro deste gradiente térmico. Os registros da temperatura corporal foram realizados por meio de um termopar, registrando a cada 2 minutos, durante um período de 2 horas de permanência dos animais na trilha (PIANTONI; NAVAS; IBARGUENGOYTÍA, 2015).

A Temperatura Preferencial (TP) foi calculada como a média das temperaturas registradas, enquanto a Temperatura Voluntária Mínima (TVMin) correspondeu ao 1º quartil e a Temperatura Voluntária Máxima (TVMax) ao 3º quartil. Os resultados deste experimento revelaram que para o *T. catalanensis*, a TP foi de 34,4°C, a TVMin foi de 33,6°C e a TVMax

foi de 35,2°C. Para o *T. torquatus* de TO, a TP foi de 33,9°C, a TVMin foi de 33,1°C e a TVMax foi de 34,7°C. Para o *T. torquatus* de MG, a TP foi de 34,6°C, a TVMin foi de 34,1°C e a TVMax foi de 35,3°C. Por fim, para o *T. oreadicus*, a TP foi de 35,3°C, a TVMin foi de 34,8°C e a TVMax foi de 36°C (PIANTONI; NAVAS; IBARGUENGOYTÍA, 2015).

O artigo intitulado *Thermal physiology of Amazonian lizards (Reptilia: Squamata)* teve como objetivo principal caracterizar os padrões de variação na temperatura basal, a qual representa a temperatura necessária para que os animais ectotérmicos mantenham suas atividades fisiológicas normais, em lagartos provenientes da Amazônia e do Cerrado, sendo que o lagarto *Tropidurus hispidus* foi coletado no Cerrado. Para alcançar este propósito, foi conduzido um teste de gradiente térmico, utilizando uma trilha com dimensões de 1 metro por 40 centímetros, na qual uma extremidade apresentava temperatura de 15°C e a outra extremidade, 40°C. A cada intervalo de 3 a 5 minutos, a temperatura corporal dos lagartos era registrada, a temperatura preferencial do animal era estimada pela média das medições de temperatura basal, sendo que o período total de permanência na trilha era de 2 horas (DIELE-VIEGAS et al., 2018).

Foram coletadas um total de 26 espécies, dentre as quais uma pertencia ao gênero *Tropidurus*. Os resultados obtidos em relação à TP dos lagartos do gênero *T. hispidus* indicaram uma média de 29,1°C durante a manhã e uma faixa entre 27,8°C e 30,3°C durante a tarde. Esses dados evidenciam que, independentemente do período do dia, os *T. hispidus* demonstram preferência por temperaturas na faixa de 27,8°C a 30,3°C para a realização de suas atividades fisiológicas basais (DIELE-VIEGAS et al., 2018).

A análise do artigo *Ecological constraints to match field and preferred temperatures in lizards Tropidurus catalanensis (Squamata; Tropiduridae)* teve como objetivo principal examinar a relação entre o ambiente térmico natural e as temperaturas corporais preferidas em *T. catalanensis* (Squamata; Tropiduridae), além de investigar se as condições térmicas do micro-habitat no campo são congruentes com as preferências térmicas observadas em condições de laboratório. Para alcançar este propósito, utilizou-se o teste de gradiente térmico, no qual uma trilha de 1 metro de comprimento e 10 centímetros de largura foi montada, com variação de temperatura de aproximadamente 25°C em uma extremidade a 50°C na outra, durante o período das 09:00 às 18:00 horas. A temperatura corporal dos animais foi registrada utilizando-se data loggers HOBO, e os primeiros 60 minutos de registros foram descartados para permitir a aclimação dos lagartos ao ambiente (MAIA-CARNEIRO; NAVAS, 2021).

Assim como descrito no estudo de Diele-Viegas et al. (2018), a TP do animal foi determinada com base na média das medições de temperatura basal. Os resultados indicaram que a temperatura preferencial do animal estudado foi de 36,51°C. Além disso, os autores realizaram medições da temperatura dos microambientes dos animais e observaram que a temperatura preferencial coincidia com a temperatura do microambiente. Entretanto, notaram que, nos microambientes em que *T. catalanensis* estava presente no campo, as temperaturas corporais tendiam a ser mais baixas do que as preferências térmicas, sugerindo uma restrição ao aquecimento na natureza (MAIA-CARNEIRO; NAVAS, 2021).

3.2 Testes de temperatura Crítica Mínima e Máxima para atividade locomotora

O estudo conduzido por Diele-Viegas et al. (2018), mencionado na seção anterior, também incluiu testes para determinar as temperaturas máxima e mínima suportadas pelos animais antes de perderem completamente sua atividade locomotora. Para isso, a temperatura corporal de cada indivíduo foi controlada por meio de uma câmara térmica, utilizando-se bolsas de gelo para resfriamento ou água quente para aquecimento, até que o animal apresentasse uma ausência de resposta ao endireitamento. Este teste de decúbito dorsal consistia em virar o animal de barriga para cima, e caso ele não conseguisse retornar à posição natural, em decúbito ventral, isso indicava a perda do movimento locomotor.

Neste experimento, os resultados indicaram que, em média, os indivíduos de *T. hispidus* apresentaram uma temperatura crítica mínima de 13,2°C e uma temperatura crítica máxima de 43,1°C (DIELE-VIEGAS et al., 2018). Estas temperaturas críticas representam os limites nos quais o animal perde completamente a capacidade de se movimentar, tornando-se mais vulnerável à predação.

Outro estudo que empregou a metodologia de teste para determinar a temperatura crítica máxima e mínima, correlacionando-a com a perda da função motora, foi realizado por Souza (2023), conforme descrito em sua monografia. Neste trabalho, foram coletadas duas populações de *T. hispidus* e duas populações de *Tropidurus itambere* da região de Alfenas, MG. Uma população de cada espécie foi capturada durante a estação chuvosa, enquanto a outra foi capturada durante a estação seca, com o intuito de investigar se existe uma diferença significativa na sensibilidade térmica locomotora dessas espécies em relação à sazonalidade.

Os procedimentos experimentais de Souza (2023) foram iniciados quando os animais atingiram a temperatura corporal de 25°C e consistiram em diminuir a temperatura a uma taxa de 1°C por minuto, ou aumentá-la na mesma taxa, até que as temperaturas críticas mínimas e máximas fossem alcançadas. As temperaturas foram registradas no início do teste, bem como nos minutos 5, 10, 15 e 20. Quando as temperaturas se aproximaram de 15°C e 40°C, a condição corporal dos animais foi verificada virando-os de barriga para cima. Se o animal demonstrasse reatividade, conseguindo virar-se por conta própria, o teste prosseguia. Os limites críticos máximos e mínimos foram determinados quando os animais ficavam parcialmente imóveis, apresentando uma redução significativa na capacidade de resposta locomotora.

Ao término da análise, a pesquisadora obteve os seguintes resultados: durante a estação chuvosa, as temperaturas críticas mínimas encontradas foram de 12,20°C para *T. hispidus* e de 11,47°C para *T. itambere*, enquanto as temperaturas críticas máximas foram de 42,78°C para *T. hispidus* e de 43,14°C para *T. itambere*. Na estação seca, os dados obtidos foram os seguintes: para *T. hispidus*, as temperaturas críticas mínimas foram de 13,69°C e as máximas de 41,90°C, enquanto para *T. itambere* foram de 14,73°C e 41,86°C, respectivamente. A análise estatística realizada pela autora concluiu que não há diferença significativa entre as estações, sugerindo que o padrão de sensibilidade térmica para perda da locomoção é independente da sazonalidade (SOUZA, 2023).

3.3 Discussão

Os estudos analisados revelam padrões interessantes de sensibilidade térmica nos lagartos do gênero *Tropidurus*. Observamos que a temperatura preferencial (TP) varia entre as diferentes espécies e populações estudadas. Por exemplo, para o *T. catalanensis*, a TP foi encontrada em torno de 34,4°C a 35,3°C, enquanto para o *T. hispidus*, variou de aproximadamente 27,8°C a 30,3°C. Essa variação pode refletir adaptações específicas das espécies aos diferentes ambientes em que habitam, com influência de fatores como latitude, altitude e sazonalidade, sendo assim uma possível hipótese para estudos futuros.

Os resultados dos testes de temperatura crítica mínima e máxima também são reveladores. Os lagartos do gênero *Tropidurus* demonstraram uma ampla faixa de tolerância térmica, com temperaturas críticas mínimas variando de aproximadamente 12°C a 14,73°C e temperaturas críticas máximas variando de cerca de 41,86°C a 43,14°C. Esses valores indicam a capacidade dos lagartos de suportar uma ampla gama de temperaturas antes de perderem completamente sua capacidade de locomoção. Sendo assim pode-se deduzir que caso o aquecimento global continue esses animais tenderiam a migrar para lugares onde suportariam o seu crítico máximo e teriam sua temperatura preferencial para as atividades fisiológicas basais. Além disso, a ampla faixa de tolerância térmica observada sugere uma alta capacidade de resistência aos extremos de temperatura, o que pode ser crucial para a sobrevivência desses lagartos em ambientes sujeitos a variações climáticas.

Sobre as metodologias utilizadas, é importante destacar a eficácia dos métodos empregados para investigar a sensibilidade térmica e as temperaturas críticas dos lagartos do gênero *Tropidurus*. O uso de testes de gradiente térmico e câmaras térmicas, foram utilizadas em todos os trabalhos o que permitiu a avaliação das preferências térmicas dos animais, bem como a determinação das temperaturas críticas mínimas e máximas para a atividade locomotora.

Essas abordagens experimentais proporcionaram uma compreensão mais detalhada das respostas dos lagartos às variações de temperatura e contribuíram significativamente para o avanço do conhecimento sobre a fisiologia térmica desses animais. No entanto, é importante ressaltar que cada método possui suas limitações e considerações específicas, como a influência do tempo de exposição e a variação na resposta individual dos animais, que podem afetar a interpretação dos resultados.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos e nas discussões realizadas, podemos concluir que os lagartos do gênero *Tropidurus* demonstram uma notável adaptabilidade à variabilidade térmica em seus ambientes naturais. A ampla faixa de tolerância térmica observada, bem como as diferenças nas preferências térmicas entre as espécies e populações estudadas, refletem a complexidade das interações entre esses animais e o ambiente em que vivem.

Os resultados dos testes de temperatura crítica mínima e máxima indicam uma capacidade dos lagartos de suportar uma ampla gama de temperaturas antes de perderem completamente sua capacidade de locomoção. Essa capacidade de resistência aos extremos de temperatura pode ser crucial para a sobrevivência desses animais em face das mudanças climáticas globais.

4.1 Trabalhos Futuros

Considerando o impacto potencial das mudanças climáticas sobre a sensibilidade térmica dos lagartos do gênero *Tropidurus*, é importante direcionar futuras pesquisas para investigar como esses animais podem responder a alterações nas condições ambientais. Estudos adicionais poderiam explorar, por exemplo, as estratégias comportamentais e fisiológicas utilizadas pelos lagartos para lidar com variações na temperatura, bem como os efeitos das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica e a diversidade desses animais.

Outra investigação que se mostra viável é a aplicação dessas mesmas metodologias a outras espécies do gênero *Tropidurus* e de outros ecossistemas. Dessa forma, poderemos obter uma visão abrangente dos padrões de preferência térmica para atividade fisiológica basal, bem como dos limites térmicos máximos e mínimos suportados antes da perda de locomoção, desse gênero, e relacioná-los com os diferentes ambientes em que essas espécies habitam.

REFERÊNCIAS

ALRUIZ, J. M.; PERALTA-MARAVÉ, I.; CAVIERES, G.; BOZINOVIC, F.; REZENDE, E. L. Fitness surfaces and local thermal adaptation in *Drosophila* along a latitudinal gradient. **Ecology Letters**, v. 27, n. 4, 1 abr. 2024.

ANGILLET, M. J. Thermoregulation. *Thermal Adaptation*, p. 88–125, 29 jan. 2009.

ARTAXO, Paulo. Biomas brasileiros e as mudanças climáticas: Políticas de adaptação ao novo clima, consequentes e baseadas em ciência, são necessárias e urgentes. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 75, n. 4, p. 01-08, Dec. 2023.

BETTIOL, G. M.; MOTTA, L. P.; FERREIRA, M. E.; SANO, E. E. Tendências espaço-temporais de precipitação e suas relações com uso e cobertura da terra do bioma cerrado no período 2000-2019. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2023, Florianópolis. **Anais [...]** São José dos Campos, INPE, 2023. p. 2943 – 2946.

BIODIVERSITY4ALL. Calangos (género *Tropidurus*). **BioDiversity4All**, 2024 Disponível em: <https://www.biodiversity4all.org/taxa/38957-Tropidurus>. Acesso em: 28 abril 2024.

BOVO, R. P.; KOHLSDORF, T.; DE ANDRADE, D. O. V. Fisiologia térmica em anfíbios. Em: **Fisiologia Térmica de Vertebrados**. 1. ed. São Paulo, SP: Cultura Acadêmica, 2020.

DE BARROS, F. C.; DE SOUZA, C. N.; BRANDT, R.; DE ANDRADE, D. O. V.; KOHLSDORF, T. Fisiologia térmica em répteis não-avianos. Em: **Fisiologia Térmica de Vertebrados**. 1. ed. São Paulo, SP: Cultura Acadêmica, 2020.

DIELE-VIEGAS, L. M.; VITT, L. J.; SINERVO, B.; COLLI, G. R.; WERNECK, F. P.; MILES, D. B.; MAGNUSSON, W. E.; SANTOS, J. C.; SETTE, C. M.; CAETANO, G. H. O.; PONTES, E.; ÁVILA-PIRES, T. C. S. Thermal physiology of Amazonian lizards (Reptilia: Squamata). **PLOS ONE**, v. 13, n. 3, p. e0192834, 1 jul. 2018.

HILAMATU, H. Y. **Padrões de diversidade beta de serpentes no bioma do Cerrado**. 2024. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Jataí, Jataí, GO, 2024.

MAIA-CARNEIRO, T.; NAVAS, C. A. Ecological constraints to match field and preferred temperatures in lizards *Tropidurus catalanensis* (Squamata; Tropiduridae). **Journal of Thermal Biology**, v. 98, p. 102903, 2021.

PIANTONI, Carla; NAVAS, Carlos Arturo; IBARGÜENGOYTÍA, Nora R. Vulnerability to climate warming of four genera of New World iguanians based on their thermal ecology. **Animal Conservation**, v. 19, n. 4, p. 391-400, 2016.

SCHULTE, P. M.; HEALY, T. M.; FANGUE, N. A. Thermal Performance Curves, Phenotypic Plasticity, and the Time Scales of Temperature Exposure. **Integrative and Comparative Biology**, v. 51, n. 5, p. 691–702, 2011.

SOUZA, L. O. A. **Os Críticos Térmicos Para O Desempenho Locomotor Variam Em Função Da Sazonalidade Do Clima Em Lagartos Do Gênero *Tropidurus***. 2023. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Do Estado De Minas Gerais, Passos, MG, 2023.