

Universidade de São Paulo

Instituto de Biociências

Efeitos do jejum no forrageio e a importância dos tricobótrios na captura de presa do escorpião amarelo *Tityus serrulatus* (Arachnida: Buthidae)



Gabriel Pimenta Murayama

São Paulo

2016

Gabriel Pimenta Murayama

Efeitos do jejum no forrageio e a importância dos tricobótrios na captura de presa no escorpião amarelo *Tityus serrulatus* (Arachnida: Buthidae)

The effects of starvation on forage behavior and the importance of trichobothria in prey capture of the yellow scorpion *Tityus serrulatus* (Arachnida: Buthidae)

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, para obtenção de título de Mestre em Ciências, na Área de Zoologia

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Hirata Willemart

São Paulo

2016

## Ficha Catalográfica

Murayama, Gabriel Pimenta

Efeitos do jejum no forrageio e a importância dos tricobótrios na captura de presa do escorpião amarelo *Tityus serrulatus* (Arachnida: Buthidae)

viii+48 páginas

Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Zoologia

1. Jejum
2. Tricobótrios
3. Sucesso de captura
4. Scorpiones

Comissão Julgadora:

---

Prof (a). Dr (a).

---

Prof (a). Dr (a)

---

Prof. Dr. Rodrigo Hirata Willemart (orientador)

Dedico essa dissertação aos meus pais, irmãos e avós que sempre estiveram comigo, me apoiando e acreditando em mim

*“The world ain't all sunshine and rainbows. It's a very mean and nasty place and I don't care how tough you are it will beat you to your knees and keep you there permanently if you let it. You, me, or nobody is gonna hit as hard as life. But it ain't about how hard you hit. It's about how hard you can get hit and keep moving forward. How much you can take and keep moving forward. That's how winning is done! Now if you know what you're worth then go out and get what you're worth”*

Rocky Balboa (2006)

## **Agradecimentos**

- Agradeço aos meus pais (Maria e Marcos), irmãos (Má e Gú) e avós (Geralda e Sebastião, Conceição e Raul) por sempre estarem comigo, por serem a minha base, por segurarem as minhas mãos, por confiarem em mim e pelo amor de vocês desde sempre. Eu só tenho a agradecer e agradecer mais uma vez por ter vocês ao meu lado. Eu amo vocês.

- Agradeço ao Rô por estar longe de ser apenas um bom orientador. Obrigado por ser um exemplo de cientista no qual eu me espelho. Obrigado por sempre me escutar (por exemplo, em Yellowstone, lembrou? Rs), mesmo quando algo já fosse malquize desde o começo, isso sempre foi uma coisa especial pra mim. Obrigado pelo carinho em momentos difíceis do mestrado, sempre sendo gentil e tentando enxergar o melhor lado da situação. Obrigado por confiar em mim mesmo quando eu mesmo não o fazia.

- Agradeço ao Gui por ser certamente uma das pessoas mais especiais que eu conheci na vida. Obrigado pela amizade e parceria em todos os momentos da vida e trabalho. Você tem uma grande parcela de culpa por fazer com que São Paulo se tornasse uma nova casa. Valeu, Brother!

- Agradeço ao professor Ricardo Pinto-da-Rocha pela paciência em tirar dúvidas, pelas sugestões e ajudas valiosas na preparação deste trabalho. Também agradeço pela extrema gentileza em ceder um espaço em seu laboratório para eu trabalhar.

- Agradeço imensamente ao pessoal do cemitério que ajudaram muito nas coletas dos escorpiões e sempre com grande carinho e atenção. Sem vocês eu não teria feito este trabalho.

- Agradeço ao meu laboratório, LESCA: Gui Avatar, Gui Pagoti, Jé, João, Julião, Nath, Nortão e Thay pelo ombro amigo, discussões e companheirismo nos momentos bons e difíceis ao longo do mestrado. Vocês são demais!

- Agradeço ao pessoal do LAL (Má, Sassá, Britt, Lili, Jimmy, Jairo, França, Cris, Caio, Daniel e Daniel) pela amizade e ajudas ao longo dessa fase.

- Agradeço as minhas companheiras de trabalho, à Cata e à Dri que ficaram comigo todos os dias na sala de estudos da pós e que me proporcionaram bons momentos nessa reta final. Vamos dançar?
- Agradeço à Ana Machado e ao Geison Castro por se empenharem em me ajudar a encontrar as coisas pros meus experimentos e com a manutenção dos escorpiões no laboratório.
- Agradeço ao Ênio Mattos e ao Philip Lenktaits por sempre fazerem o seu melhor nas sessões de mev e em outros procedimentos no laboratório de histologia, além de serem bons companheiros.
- Agradeço à Vera da ecologia e ao Luiz da informática por terem me abrigado na sala da pós-graduação, e assim eu pude ter um lugar tranquilo para trabalhar nos últimos meses do mestrado.
- Agradeço ao Gui Pagoti e ao Gui Avatar pela super ajuda nos estudos pra prova da Zoo. De verdade, vocês foram muito mais do que essenciais.
- Agradeço ao Gui Avatar, à Má, à Niki e ao Gui Pagoti por me ajudarem muito, muito mesmo com o preparo da dissertação, além, claro, do apoio emocional. Obrigado pela extrema gentileza, carinho e atenção de todos vocês.
- Agradeço ao Gui Avatar, à Thay, à Má e ao Jimmy, pela ajuda nos procedimentos do mev.
- Agradeço à Vanessa Penna (Van) que sempre foi muito carinhosa e me socorreu em muitos momentos.
- Agradeço à Sassá que me forneceu bibliografias de outra dimensão e por ser sempre muito carinhosa.
- Agradeço à Denise Cândido que me ajudou com bibliografia inicial. Também agradeço ao professor André Morandini, ao Jorge Audino e ao Orlemir que me forneceram materiais de mev quando eu estava sem. E agradeço ao Rafa Henrique e ao Thalles Lavinsky por me socorrerem em dúvidas gerais sobre o preparo da dissertação.
- Agradeço ao professor Glauco Machado por ter aceito a minha matrícula no curso de campo. Aprendi lições de todas as naturezas as quais levarei pra vida.

- Agradeço aos meus amigos de outras cidades pela amizade ao longo dos anos: Niki, Burgo, Rafinha, Cainho, Ricardão, Caio, Alê, Bitas, Brunim, Bixão, Tom e Alan. Vocês estão no meu coração.
- Agradeço à Rep Bob Cone (Gui, Fê, Satoshi e Marx) pela amizade, parceria e bons momentos de risadas e composições musicais.
- Agradeço ao grupo do forró e da capoeira que com apenas uma hora por semana renovavam minhas energias pra semana inteira e não deixava eu surtar. Dançar forró, me gusta!
- Agradeço ao CAPES pela bolsa de pesquisa.



## Índice

<b>Resumo Geral</b> .....	1
<b>Abstract</b> .....	2
<b>Apresentação geral sobre escorpiões e a dissertação</b> .....	4
<b>Referências</b> .....	6
<b>Efeitos do jejum no comportamento de forrageio do escorpião amarelo</b> <b><i>Tityus serrulatus</i> Lutz &amp; Mello 1922 (Buthidae)</b> .....	10
<b>Resumo</b> .....	10
<b>Abstract</b> .....	11
<b>Introdução</b> .....	12
<b>Métodos</b> .....	14
<b>Análises</b> .....	16
<b>Resultados</b> .....	16
<b>Discussão</b> .....	21
<b>Referências</b> .....	24
<b>A importância dos tricobótrios no sucesso de captura do escorpião</b> <b><i>Tityus</i></b> <b><i>serrulatus</i> Lutz &amp; Mello 1922 (Buthidae)</b> .....	31
<b>Resumo</b> .....	31
<b>Abstract</b> .....	32
<b>Introdução</b> .....	33
<b>Métodos</b> .....	35
<b>Análises</b> .....	37
<b>Resultados</b> .....	37
<b>Discussão</b> .....	41
<b>Referências</b> .....	43
<b>Conclusão Geral</b> .....	48

## Resumo Geral

Sob o efeito do jejum os animais podem se comportar de várias maneiras e mudar a estratégia de forrageio, se arriscar mais ao se alimentar e responder mais rapidamente à presença da presa. Animais ectotérmicos e de metabolismo baixo são bastante afetados pelo jejum, construindo menos abrigos, se alimentando mais e se tornando mais ativos. Escorpiões são predadores predominantemente senta-e-espera mas que podem também deslocar-se em busca de suas presas, especialmente artrópodes. No forrageio, eles dependem de vibrações do substrato e de correntes de ar para localizar e capturar a presa. Esses estímulos são detectados por estruturas como os órgãos em fenda (fina região da cutícula onde ocorrem fendas que detectam vibrações do substrato) e os tricobótrios, que são longas cerdas sensíveis ao deslocamento de ar. Escorpiões são equipados com tricobótrios, mas a função comportamental destas cerdas nesse táxon nunca foi testada experimentalmente. No primeiro capítulo, testamos as hipóteses de que escorpiões em jejum se locomoveriam mais, detectariam mais rapidamente a presa e que a taxa de captura seria maior. Para medir a locomoção, nós dividimos a arena em quadrantes de 11 x 11cm e quantificamos o número de quadrantes utilizados, o número de mudanças de quadrantes e se o animal estava andando ou parado em cada observação. Para quantificar mudanças no limiar de detecção, nós medimos a distância em centímetros e a latência em segundos para detectar a presa. Para medir se houve diferenças na taxa de captura, nós contamos em ambos os grupos o número total de sujeitos experimentais que capturaram o grilo. Nós não encontramos diferenças entre os tratamentos em nenhuma das variáveis medidas. No segundo capítulo, testamos a hipótese de que os tricobótrios são importantes para captura de presas para escorpiões. Previmos que os sujeitos experimentais sem tricobótrios experimentalmente removidos teriam menor sucesso de captura do que os grupos controles (cerda controle removida/controlado do procedimento experimental/controlado sem manuseio). Previmos ainda que escorpiões sem tricobótrios teriam um maior número de tentativas de captura, que a latência para detecção e para a primeira tentativa de captura seriam maiores e que se orientariam menos vezes para a presa do que animais controle. Colocamos um

sujeito experimental e um grilo sem o par de pernas III em uma arena circular com papel sulfite como substrato e filmamos os sujeitos experimentais. Nós não encontramos diferenças nas variáveis medidas entre os grupos comparados. Concluindo, os resultados do primeiro capítulo indicam que talvez o tempo de jejum não tenha sido longo o suficiente para influenciar mudanças no comportamento de forrageio e / ou as diferenças podem aparecer em outros comportamentos não medidos, como o tempo de ingestão. No segundo capítulo, os resultados indicam que os tricobótrios não são essenciais para captura de presas. Dessa forma, outras presas e substratos que atenuam vibrações do substrato devem ser considerados em estudos futuros.

### **Abstract**

Under starvation, animals might behave in different ways and change their foraging strategy, become risk-prone while feeding and respond more quickly to the presence of prey. Ectothermic and with low metabolism animals are greatly affected by starvation, building less burrows, feeding more and becoming more active. Scorpions are predominantly sit-and-wait predators but they may also move in search for prey, especially arthropods. While foraging, they rely on substrate borne vibrations and air displacement to detect and capture prey. These stimuli are detected by sensory structures such as slit sense organs, (a thin region on the cuticle that bears slit that detect substrate borne vibration) and trichobothria, which are long setae sensitive to air displacement. Scorpions are equipped with trichobothria, however, the specific behavioral function of these sensilla on this taxa has never been experimentally tested. In the first chapter, we hypothesized that starved scorpions would become more roving, that the threshold to detection would decrease and that the capture rate would increase. To measure locomotion, we divided the arena into squares of 11 x 11 cm and quantified the number of squares used, the number of square changes and if the animal was walking or staying still in each observation. To quantify changes in the detection threshold, we measured the distance in centimeters and latency in seconds to detect the crickets. To measure if there was a difference in capture rate, we counted in both groups the total number of experimental subjects that captured the cricket. We found no differences

between treatments in any of the measured variables. In the second chapter, we tested the hypothesis that trichobothria on pedipalps are important for scorpions to capture prey. We predicted that experimental subjects without trichobothria experimentally removed would be less successful in capturing prey than the control groups (control seta removed/control of experimental procedure/no handling control). We also predicted that scorpions without trichobothria would have a higher number of capture attempts, that the latency to detect prey and to the first capture attempt would be higher and the number of times that each scorpion oriented its body towards the prey would be lower. We used an experimental subject and a cricket without the pair of legs III in a circular arena with a printer paper as substrate and then record the experimental subjects. We did not find differences in the measured variables between the two groups. In conclusion, the results of the first chapter indicate that perhaps the starvation period has not been long enough to influence changes on foraging behavior and / or the differences may appear in other behaviors, such as ingestion time. In the second chapter, the results indicate that trichobothria are not essential for capture prey. Thus, other prey and substrates that attenuate substrate borne vibrations should be considered in future studies.

## **Apresentação geral sobre escorpiões e a dissertação**

Os aracnídeos são animais do filo Arthropoda compostos de 11 ordens viventes, dentre as quais as mais popularmente conhecidas são as aranhas (Araneae), os ácaros e carrapatos (Acari) e os escorpiões (Scorpiones) (Beccaloni, 2009). Scorpiones é a 5<sup>o</sup> ordem de aracnídeos em termo de número de espécies, com 2231 espécies reconhecidas, agrupadas em 20 famílias (Santibáñez et al, 2016). Apesar de bem menos diversa do que as aranhas, a linhagem dos escorpiões se destaca, entre outros motivos, por ser umas das mais antigas dentre os aracnídeos, sendo este grupo um dos primeiros a ter conquistado o ambiente terrestre. Desde então, sua anatomia geral se manteve muito conservada (Brownell & Polis, 2001). O corpo é dividido em prossoma e opistossoma, o último dividido em mesossoma e metassoma. No prossoma, encontram-se: as quelíceras, os pedipalpos e quatro pares de pernas. No mesossoma estão: as estruturas genitais, os pentes (estrutura ventral em formato de pente) e as aberturas dos pulmões foliáceos. No metassoma, popularmente conhecido como a “cauda” do escorpião, estão o ânus e o telson (estrutura inoculadora de veneno) (Matthiesen, 1976). Esses animais possuem ampla distribuição ocorrendo em todos os lugares da Terra, com exceção dos pólos. Eles habitam desertos, florestas tropicais e temperadas (Polis, 1990) e também se adaptaram bem ao ambiente urbano, sendo considerado pragas em muitos municípios (Ministério da Saúde, 2009). São animais de hábitos noturnos, se reproduzindo e se alimentando principalmente durante a noite.

Escorpiões são animais que se alimentam de uma ampla variedade de presas, como artrópodes (insetos, miriápodos e aracnídeos) e vertebrados (roedores, lagartos e serpentes) (revisão em McCormick & Polis, 1990). A maioria das espécies adota a estratégia senta-e-espera, em que o escorpião fica parado com os dedos dos pedipalpos abertos e prontos para capturar presas que se aproximam (Bub & Bowerman, 1979; McCormick & Polis, 1990; Gaffin & Brownell, 2001). Para detectar essas presas, os escorpiões possuem diversas estruturas sensoriais, como os pentes (Wolf, 2008), as cerdas tarsais, os *basitarsal compound slit sensilla* (BCSS) (Brownell & Farley, 1979a, b) e possivelmente os tricobótrios. Os pentes (estrutura ventral em formato de um

pena duplo que só existe nos escorpiões) são capazes de detectar químicos e vibrações do substrato (Mineo & Del Claro, 2006; Wolf, 2008). As cerdas tarsais e os BCSS são órgãos que ocorrem nas pernas e permitem, através de vibrações do substrato, localizar a presa (Brownell & Farley, 1979a,b). Os tricobótrios são longas cerdas mecanorreceptoras, extremamente sensíveis a correntes de ar (Reißland & Görner, 1978) que estão presente somente nos pedipalpos (Hjelle, 1990), mas a função comportamental é desconhecida.

A maior parte dos estudos comportamentais com escorpiões envolvendo forrageio e ecologia sensorial foi produzida nos EUA, sendo os pesquisadores que mais se destacam Roger Farley, Philip Brownell, Gary Polis e Douglas Gaffin. No Brasil, mesmo com 131 espécies de escorpiões, representando aproximadamente 9% da diversidade mundial (Porto et al, 2011), os estudos comportamentais com esses animais são extremamente escassos. O foco dos estudos estão principalmente relacionado à taxonomia, filogenia (mesmo assim, ainda com pouquíssimos pesquisadores) (Lourenço, 2002) e especialmente ao veneno (Cupo & Hering, 2002; Cordeiro et al, 2006; Pinto et al, 2010). Pouquíssimos trabalhos experimentais em comportamento de escorpiões foram produzidos, sendo a maioria observações dispersas (Matthiesen, 1960, 1961, 1970, 1971, 1989). Os trabalhos experimentais abordam repertórios comportamentais (Mineo et al, 2003; Colombo & Alencar, 2014), a descrição de reprodução por partenogênese (Matthiesen, 1962), a descrição de cópula (Outeda-Jorge & Pinto-da-Rocha, 2010), a preferência por certas temperaturas (Hoshino et al, 2005) e o uso dos pentes como mecanorreceptores (Mineo & Del Claro, 2006). O estudo com escorpiões é importante uma vez que são excelentes modelos de estudo para perguntas relacionadas, por exemplo, a cuidado parental, socialidade e ecologia sensorial. Além disso, algumas espécies de escorpiões são conhecidas por serem de importância médica e estudar o seu comportamento pode ser uma forma de tomar medidas preventivas. Dessa forma, o meu projeto de mestrado abordando o forrageio e a ecologia sensorial desse fascinante grupo, vem contribuir com o aspecto comportamental infelizmente tão pouco estudado até hoje.

No primeiro capítulo (Efeitos do jejum no comportamento de forrageio do escorpião amarelo *Tityus serrulatus* Lutz & Mello 1922 (Buthidae)), testamos se a locomoção, a detecção (em centímetro e em segundos) e a taxa de captura eram influenciadas pelo jejum. No segundo capítulo (A importância dos tricobótrios no sucesso de captura do escorpião *Tityus serrulatus* Lutz & Mello 1922 (Buthidae)), testamos a função comportamental dos tricobótrios para escorpiões na captura de presas, até então testadas somente para aranhas.

## Referências

- Beccaloni, J. (2009). Arachnids. University of California Press.
- Brownell, P., & Farley, R. D. (1979a). Detection of vibrations in sand by tarsal sense organs of the nocturnal scorpion, *Paruroctonus mesaensis*. *Journal of Comparative Physiology*, 131(1), 23–30. <http://doi.org/10.1007/BF00613080>
- Brownell, P., & Farley, R. D. (1979b). Prey-localizing behaviour of the nocturnal desert scorpion, *Paruroctonus mesaensis*: orientation to substrate vibrations. *Animal Behaviour*, 27, 185–193. [http://doi.org/10.1016/0003-3472\(79\)90138-6](http://doi.org/10.1016/0003-3472(79)90138-6)
- Brownell, P., & Polis, G. (2001). Introduction. In: Brownell, P., Polis, G. (Eds.), *Scorpion Biology and Research*. Oxford University Press, pp. 3–12.
- Bub, K., & Bowerman, R. F. (1979). Prey capture by the scorpion *Hadrurus arizonensis* Ewing (Scorpiones: Vaejovidae). *The Journal of Arachnology*, 7(3), 243–253.
- Colombo, W. D., & Alencar, I. C. C. (2014). Etograma do escorpião amarelo *Tityus serrulatus* Lutz & Mello 1922 (Scorpiones: Buthidae), em cativeiro. *Bioscience Journal*, 30(2), 576–581.
- Cordeiro, F. F., Sakate, M., Fernandes, V., & Cuyumjian, P. R. (2006). Clinical and cardiovascular alterations produced by scorpion envenomation in dogs. *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases*, 12(1), 19–43. <http://doi.org/10.1590/S1678-91992006000100003>

- Cupo, P., & Hering, S. E. (2002). Cardiac troponin I release after severe scorpion envenoming by *Tityus serrulatus*. *Toxicon*, 40(6), 823–830. [http://doi.org/10.1016/S0041-0101\(02\)00080-6](http://doi.org/10.1016/S0041-0101(02)00080-6)
- Gaffin, D., & Brownell, P. (2001). Chemosensory behavior and physiology. In: Brownell, P., Polis G. (Eds.), *Scorpion biology and research*. Oxford University Press, pp. 184–203.
- Hjelle, J. T. (1990). Anatomy and Morphology. In: Polis, G. A. *The biology of scorpions*. Stanford University Press, pp. 9–63.
- Hoshino, K., Moura, A. T. V., & De Paula, H. M. G. (2006). Selection of environmental temperature by the yellow scorpion *Tityus serrulatus* Lutz & Mello, 1922 (Scorpiones, Buthidae). *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases*, 12(1), 59–66. <http://doi.org/10.1590/S1678-91992006000100005>
- Lourenço, W. R. (2002). *Scorpions of Brazil*. Les Éditions de l'If.
- Matthiesen, F. A. (1960). Sobre o acasalamento de *Tityus bahiensis* (Perty, 1834). *Revista de Agricultura*. 35, 341–346.
- Matthiesen, F. A. (1961). Notas sobre escorpiões. *Revista de Agricultura*. 36, 139–147.
- Matthiesen, F. A. (1962). Parthenogenesis in scorpions. *Evolution*. 16, 255–256.
- Matthiesen, F. A. (1970). Le développement post-embryonnaire du scorpion Buthidae: *Tityus bahiensis* (Perty, 1834). *Bulletin du Muséum National D'Histoire Naturelle*. 41, 1367–1370.
- Matthiesen, F. A. (1971). Observations on four species of brazilian scorpions in captivity. *Revista Brasileira de Pesquisas Médicas e Biológicas*. 4, 301–302.
- Matthiesen, F. A. (1976). O Escorpião (Morfologia, Biologia, Peçonha). Edart.
- Matthiesen, F. A. (1989). Sobre o comportamento de *Tityus bahienses* e *Tityus serrulatus* e o papel da peçonha no canibalismo (Scorpiones, Buthidae).



*Naturalia*, 14, 117–119.

McCormick, S. J., Polis, G. A. (1990). Prey, predators, and parasites. In: Polis G A. The biology of scorpions. Stanford University Press, pp. 294–320.

Ministério da Saúde. (2009). Manual de controle de escorpiões.

Mineo, M. F., & Del Claro, K. (2006). Mechanoreceptive function of pectines in the Brazilian yellow scorpion *Tityus serrulatus*: perception of substrate-borne vibrations and prey detection. *Acta Ethologica*, 9(2), 79–85. <http://doi.org/10.1007/s10211-006-0021-7>

Mineo, M. F., Franco-Assis, G. A., & Del-Claro, K. (2003). Repertório comportamental do escorpião amarelo, *Tityus serrulatus* Lutz & Mello em cativeiro. *Revista Brasileira de Zociências*, 5(1), 23–31.

Outeda-Jorge, S., & Pinto-da-Rocha, R. (2010). Corte e aspectos da biologia reprodutiva do escorpião brasileiro *Tityus bahiensis* (Scorpiones: Buthidae). Dissertação.

Pinto, M. C. L., Melo, M. M., Costa, M. E. R., & Labarrere, C. R. (2010). Hematological and biochemical profiles of rats submitted to experimental poisoning with *Tityus serrulatus* venom. *Anais Do Museu Paulista: História E Cultura Material*, 62(2), 350–356. <http://doi.org/10.1590/S0102-09352010000200015>

Polis, G. A. (1990). Ecology. In: Polis, G A. The biology of scorpions. Stanford University Press, pp. 247–293.

Porto, T. J., Brazil, T. K., & Souza, C. A. R. Brazil. Diversidade de Escorpiões do Brasil. In: Brazil, T. K., & Porto, T. J. Os escorpiões. Edufba, pp. 47–63.

Reißland, A., & Görner, P. (1978). Mechanics of trichobothria in orb-weaving spiders (Agelenidae, Araneae). *Journal of Comparative Physiology*, 123(1), 59–69. <http://doi.org/10.1007/BF00657344>

Santibáñez-López, C., Francke, O., Ureta, C., & Possani, L. (2016). Scorpions from Mexico: from species diversity to venom complexity. *Toxins*, 8(2), 1–18. <http://doi.org/10.3390/toxins8010002>

Wolf, H. (2008). The pectine organs of the scorpion, *Vaejovis spinigerus*: Structure and (glomerular) central projections. *Arthropod Structure & Development*, 37(1), 67–80. <http://doi.org/10.1016/j.asd.2007.05.003>

## **Efeitos do jejum no comportamento de forrageio do escorpião amarelo *Tityus serrulatus* Lutz & Mello 1922 (Buthidae)**

Gabriel Pimenta Murayama<sup>1, 2</sup> & Rodrigo Hirata Willemart<sup>1, 2, 3</sup>

1 Laboratório de Ecologia Sensorial e Comportamento de Artrópodes (LESCA), Escola de Artes Ciências e Humanidades (EACH), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil;

2 Programa de Pós Graduação em Zoologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, SP, Brasil

3 Programa de Pós Graduação em Ecologia e Evolução, Universidade Federal de São Paulo, SP, Brasil

### **Resumo**

Sob o efeito do jejum os animais podem mudar a sua estratégia de forrageio, se tornar mais generalista, se arriscar mais ao se alimentar e responder mais rapidamente à presença da presa. Em escorpiões, é sabido que o jejum afeta o estado fisiológico, mas poucos trabalhos testaram como essa condição afeta o comportamento de forrageio. Nós hipotetizamos que escorpiões em jejum mudariam sua estratégia de forrageio de senta-e-espera e se locomoveriam mais, que o limiar de detecção diminuiria e que a taxa de captura aumentaria. Para todas as variáveis, tivemos o grupo em jejum e o grupo saciado. No primeiro experimento, o tempo de jejum foi de 30 dias e no segundo e no terceiro experimentos, de 40 dias. Os sujeitos experimentais do grupo saciado foram alimentados toda semana. Para medir mudanças na estratégia de forrageio, nós dividimos a arena (45 x 33 x 13 cm) em quadrantes de 11 x 11 cm e quantificamos o número de quadrantes utilizados, o número de mudanças de quadrantes e se o animal estava andando ou parado em cada observação. Nenhuma presa foi apresentada nesse experimento. Para quantificar mudanças no limiar de detecção, nós medimos a distância em centímetros e a latência em segundos para detectar os grilos. Para medir se houve diferenças na taxa de captura, nós contamos em ambos os grupos o número total de sujeitos experimentais que capturaram o grilo. Nós também descrevemos comportamentos específicos na detecção da presa. Nós não encontramos diferenças entre os tratamentos em nenhuma das variáveis medidas. Talvez o período de jejum não tenha sido longo o suficiente e/ou as

diferenças podem aparecer em outros comportamentos que não medimos, como tempo de ingestão.

**Palavras-chave:** detecção da presa, estratégia de forrageio, estresse alimentar, taxa de captura, Scorpiones

### **Abstract**

Under starvation, animals might change their foraging strategy, become more generalist and risk-prone while feeding, and also respond more quickly to the presence of prey. In scorpions, it is known that starvation affects their physiological state, but few studies have tested how this condition affects foraging behavior. We hypothesized that starved scorpions would change their sit-and-wait foraging strategy and become more roving, that the threshold to detection would decrease and that the capture rate would increase. For all variables, we had the starved group and the satiated group. In the first experiment, the starvation period was 30 days, and in the second and third experiments was 40 days. Experimental subjects of the satiated group were fed every week. To measure changes in foraging strategy, we divided the arena (45 x 33 x 13 cm) into squares of 11 x 11 cm and quantified the number of squares used, the number of square changes and if the animal was walking or staying still in each observation. No prey was presented in this experiment. To quantify changes in the detection threshold, we measured the distance in centimeters and latency in seconds to detect the crickets. To measure if there was a difference in capture rate, we counted in both groups the total number of experimental subjects that captured the cricket. We also describe specific behaviors to detect prey. We found no differences between treatments in any of the measured variables. Perhaps the starvation period was not long enough and / or differences might have appeared in other behaviors that we did not measure, such as ingestion time.

**Key-words:** prey detection, forage strategy, hunger, capture rate, Scorpiones

## **Introdução**

Quando um animal forrageia, muitos são os fatores que influenciam na sua busca pelo alimento, como a presença de predadores (Edwards, 1983; Wignall & Taylor, 2009), a presença de parasitas (Lozano, 1991), variações espaciais na vegetação (Wells & Bekoff, 1982), a distribuição e qualidade do alimento (Charnov, 1976; Langvatn & Hanley, 1993; Gende et al, 2001) e o nível de fome do indivíduo. O nível de fome fará com que o animal mude seu comportamento em diferentes contextos. Com fome, o animal pode se tornar mais propenso e se colocar em situações de risco (Daleo et al, 2012), se tornar especialista (Molles Jr & Pietruszk, 1983), obter maior sucesso na disputa por alimento (Nosil, 2002), aumentar a frequência de ataques à presa (Perry, 1987), aumentar as chances de se alimentar e consumir mais alimento (Curtis et al, 2010). Os efeitos do jejum também influenciam de várias maneiras outros comportamentos, como a locomoção, a detecção da presa e a taxa de captura.

Animais precisam ingerir alimento para recuperar as reservas energéticas perdidas com o período de privação de alimento que pode em última instância levar à morte (Peterson, 1994; Mellor & Stafford, 2004). Mesmo um jejum de poucos dias pode diminuir moléculas relacionadas ao armazenamento energético dos animais e à atividade celular (Lodish et al, 2005) como glicogênio, aminoácidos e proteína (Sinha & Kanungo, 1967; Sinha, 1982). É esperado então que o animal se locomova mais para aumentar as chances de encontrar uma presa (Toft, 2013). Artrópodes ectotérmicos e que possuem metabolismo baixo quando em estado de jejum se locomovem rapidamente e mais do que animais saciados (Artrópodes: Usher & Bowring, 1984; Zhao et al, 2011; Larcher & Crane, 2015). No estado de jejum, o animal precisa se alimentar e na presença de uma potencial presa ele realiza comportamentos típicos (por exemplo, se direcionar em direção à presa) que podem ser usados para medir a detecção da presa. Sob a condição de jejum é esperado que o limiar de detecção (medido em distância entre o predador e a presa, tempo entre não resposta e a resposta positiva ao estímulo e tempo para a primeira resposta) diminua (ver Persons, 1999), fazendo com que o animal responda de forma rápida à presença da presa (Peixes: Croy & Hughes, 1991; Lokkeborg et al, 1995; Stoner, 2003). Quando em jejum, o animal

também não deveria perder oportunidade de se alimentar, de maneira que sob condição de stress alimentar a taxa de captura deveria aumentar (Peixes e rotíferos: Meyer, 1986; Mookerji & Rao, 1995; Nandini & Sarma, 1999; Thorington et al, 2010). No entanto, vale ressaltar que na literatura existem exemplos contrários a isso, como andar (Elliot et al, 2013) e capturar menos presas (Paul & Paul, 1980).

Persons (1999) sugeriu que aranhas, que também são ectotérmicas e de metabolismo baixo, devem passar por longos períodos de jejum antes que alguma mudança comportamental possa ser observada. De fato, o jejum afeta diversos aspectos da vida das aranhas, podendo levá-las a: se alimentar mais, construir menos abrigos, atacar mais e se tornar mais ativa (Bradley, 1996; Walker et al, 1999; Framenau et al, 2000; Bell et al, 2006; Wu et al, 2013). Como escorpiões possuem essas mesmas características, sendo ectotérmicos e de metabolismo baixo (Lighton et al, 2001), utilizamos a espécie *Tityus serrulatus* Lutz & Mello 1922 como modelo de estudo para testar as hipóteses desse trabalho.

A ordem Scorpiones é composta por 2231 espécies (Santibáñez-López et al, 2016), na qual os membros em sua maioria utilizam a estratégia senta-e-espera (McCormick & Polis, 1990). Escorpiões se alimentam principalmente de invertebrados (insetos, moluscos, anelídeos, miriápodos e aracnídeos), mas há registros de que se alimentam de vertebrados também (roedores e répteis) (revisão em McCormick & Polis, 1990). Para localizar as presas, escorpiões utilizam vibrações vindas do substrato e emitidas pelas próprias presas (Brownell & Farley, 1979b). Elas são detectadas por meio de estruturas sensoriais nas pernas, os *basitarsal compound slit sensilla* e as cerdas tarsais (Brownell & Farley, 1979a, b). O escorpião amarelo *T. serrulatus* é conhecido por ser partenogenético (Matthiesen, 1962) e por causar muitos acidentes (Ministério da Saúde, 2009). Embora esta espécie seja comum, poucos estudos comportamentais vêm sendo realizados no Brasil. Os poucos trabalhos abordam repertórios comportamentais, preferência por temperatura, o uso dos pentes como detectores de sinais mecânicos, a descrição da reprodução por partenogênese e a descrição de cópulas (Matthiesen, 1962; Mineo et al, 2003; Hoshino et al, 2005; Mineo & Del Claro, 2006; Outeda-Jorge & Pinto-da-Rocha,

2010; Colombo & Alencar, 2014), sendo que nenhum deles abordou o efeito do jejum no comportamento. Apesar de ser uma espécie senta-e-espera, *T. serrulatus* apresenta períodos de mobilidade (Mineo et al, 2003) e Skutelsky (1996) mostrou que um escorpião se torna mais ativo quando em jejum. Neste trabalho testamos três hipóteses: (a) escorpiões em jejum andam mais sob condições do jejum, (b) o limiar de detecção da presa diminui sob condições de jejum e (c) escorpiões em jejum tem a taxa de captura maior.

## **Métodos**

### Coleta e manutenção em laboratório

Coletamos os escorpiões no Cemitério Saudade de Piracicaba (22°43'52.2"S 47°38'10.5"W) e no Cemitério da Saudade de Ribeirão Preto (21°09'29.0"S 47°47'53.2"W) em outubro de 2014 e Janeiro de 2015, respectivamente. Mantivemos os escorpiões em laboratório, com temperatura ambiente, abrigo de papelão e algodão embebido em água para fornecer umidade constante. Utilizamos terrários circulares (20 diâmetro x 8 cm de altura) para manter os escorpiões. Os escorpiões do primeiro experimento foram mantidos em arenas retangulares (45 x 33 x 13 cm de altura) onde os testes para esses escorpiões ocorreram (ver abaixo). Durante todo o experimento, mantivemos a sala com iluminação constante de duas lâmpadas vermelhas (15 watts). Alimentamos os escorpiões com grilos de 1 a ~2 cm (*Gryllus* sp.) uma vez por semana ou de acordo com o experimento. Os grilos (comprados em: [www.repteisbrasil.com.br](http://www.repteisbrasil.com.br)) foram alimentados *ad libitum* com ração canina (Pedigree®).

### Preparação dos sujeitos experimentais

Para o primeiro experimento, preparamos dois grupos experimentais: em jejum e saciado. O grupo em jejum foi composto dos escorpiões que ficaram pelo menos 30 dias sem receber alimento antes do experimento e, o grupo saciado, dos escorpiões que receberam 1 grilo toda semana e até três dias antes do experimento. O segundo experimento também teve dois grupos (jejum e saciado), mas animais do grupo em jejum neste experimento ficaram 40 dias

sem comer. Nem todos os escorpiões comeram toda semana e nem todos os escorpiões se alimentavam inteiramente da presa.

## Experimentos

### Estratégia de forrageio

Para testar a hipótese de que escorpiões andariam mais sob condições de jejum, utilizamos arenas (45 x 33 x 13 cm de altura) em que os escorpiões deste experimento vinham sendo mantidos para não mudar o local em que estavam familiarizados com tamanho do local, tipo de substrato e pra não os manusearmos a fim de evitar mudanças no comportamento devido a nossa manipulação. Utilizamos como substrato papel crepom (trocado toda semana para evitar o uso de pistas químicas do grupo que estava sendo alimentado) dividido em doze quadrantes de 11 x 11 cm. Mantivemos o algodão umedecido dentro de uma tampa e um abrigo de papelão sempre no mesmo quadrante para todos os escorpiões. Os sujeitos experimentais destinados para cada tratamento foram escolhidos aleatoriamente. Utilizamos o método de registro intermitente (Martin & Bateson, 2007) fazendo observações (ver abaixo as variáveis medidas), por dois dias seguidos, a cada 30 minutos do período das 23:00 às 08:00 em ambos os grupos, jejum (n = 12) e saciado (n = 11). As previsões foram de que o número de mudanças de quadrantes, a quantidade de quadrantes frequentados e quantidade de “andando” seriam maiores no grupo em jejum.

### Limiar de detecção da presa

Aqui testamos a hipótese de que o limiar para detecção da presa diminuiria sob condição de jejum. O momento da detecção da presa pode ser observado pela mudança de postura do escorpião, como: orientar-se em direção a presa e levantar o metassoma do substrato (Bub & Bowerman, 1979; Jiao & Zhu, 2009). Para testar essa hipótese, utilizamos arenas (45 x 33 x 13 cm de altura), com substrato de papel sulfite A3 quadriculado (1 x 1 cm). Colocamos um sujeito experimental e um grilo (~ 1,5 cm) em cilindros individuais nas extremidades da arena. Os sujeitos experimentais de cada



tratamento foram escolhidos aleatoriamente. Alternamos o uso de sujeitos experimentais, utilizando ora indivíduos do grupo em jejum ( $n = 10$ ), ora do grupo saciado ( $n = 10$ ). Esperamos cinco minutos para aclimatação, iniciamos a filmagem (Sony HDXR550) e retiramos os cilindros. Filmamos por até dez minutos cada teste ou até o sujeito experimental capturar a presa. A previsão foi de que a latência em segundos e a distância em centímetros para a detecção da presa seria menor no grupo em jejum.

### Taxa de captura

Testamos a hipótese de que a taxa de captura seria maior no grupo em jejum. Para testar essa hipótese, analisamos os vídeos do experimento do segundo experimento (*limiar de detecção da presa*). Consideramos que o sujeito experimental capturou a presa se ele a segurou por mais de dois segundos. A nossa previsão foi de que o número de sujeitos experimentais que capturariam a presa oferecida seria maior no grupo em jejum do que o número de sujeitos experimentais do grupo saciado.

### **Análises**

Para o primeiro e segundo experimentos, o de estratégia de forrageio e o de limiar de resposta à presa, respectivamente, como os nossos grupos eram independentes entre si e uma vez que a distribuição dos dados não foram normais, aplicamos o teste não-paramétrico de Mann-Whitney. Para o terceiro experimento, utilizamos o teste exato de Fisher uma vez que tínhamos valores menores do que 5 e também porque a variável desse experimento era binária, possibilitando apenas dois tipos de respostas, se capturou ou não capturou a presa.

### **Resultados**

#### Hipótese 1 – Escorpiões andam mais sob condições de jejum

Não encontramos diferenças no número de mudanças de quadrantes ( $U = 55,5$ ,  $p = 0,51$ ,  $n = 12$  grupo saciado,  $n = 11$  grupo em jejum, figura 1), na

quantidade de quadrantes frequentados ( $U = 55,5$ ,  $p = 0,51$ , figura 2) e na quantidade de “andando” ( $U = 62$ ,  $p = 0,80$ , figura 3) entre os dois tratamentos.

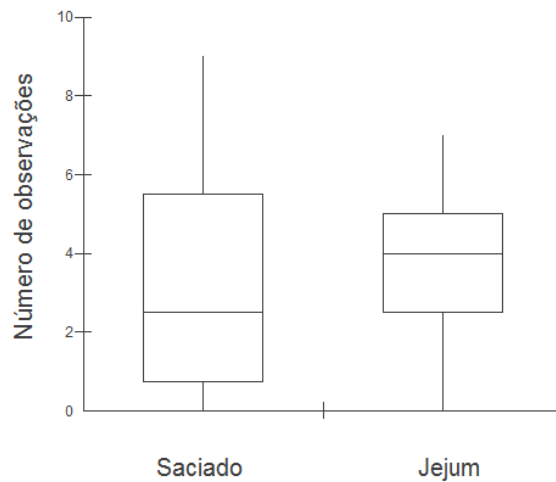


Fig 1. Número de mudanças de quadrantes pelo escorpião amarelo *Tityus serrulatus* no grupo saciado ( $n = 12$ ) e em jejum ( $n = 11$ ). As barras horizontais representam os quartis (primeiro e terceiro) e a mediana. As barras verticais representam o menor e o maior valor.

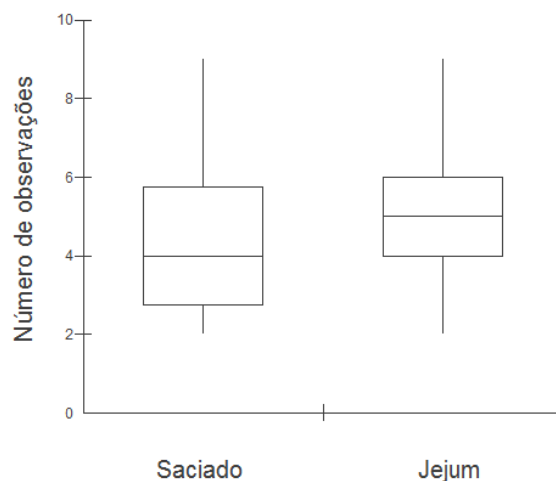


Fig 2. Quantidade de quadrantes frequentados pelo escorpião amarelo *Tityus serrulatus* no grupo saciado ( $n = 12$ ) e em jejum ( $n = 11$ ). As barras horizontais representam os quartis (primeiro e terceiro) e a mediana. As barras verticais representam o menor e o maior valor.

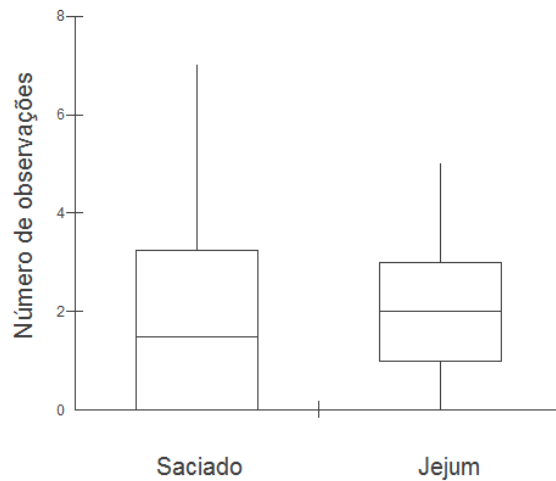


Fig 3. Quantidade de “andando” pelo escorpião amarelo *Tityus serrulatus* no grupo saciado (n = 12) e em jejum (n = 11). As barras horizontais representam os quartis (primeiro e terceiro) e a mediana. As barras verticais representam o menor e o maior valor.

Hipótese 2 – O limiar de detecção da presa diminui sob condição de jejum

Não encontramos diferenças entre os tratamentos no tempo que *T. serrulatus* leva pra detectar a presa (U= 45, p = 0,70, n = 10 grupo saciado, n = 10 grupo em jejum, figura 4, tabela 1). Também não encontramos diferenças entre a distância para detecção da presa entre os tratamentos (U = 47,5, p = 0,85, figura 5). Observamos quatro categorias comportamentais no momento da detecção da presa, são elas: ficar ativo, orientar, parar e retrair. (ver tabela 1 para definições).

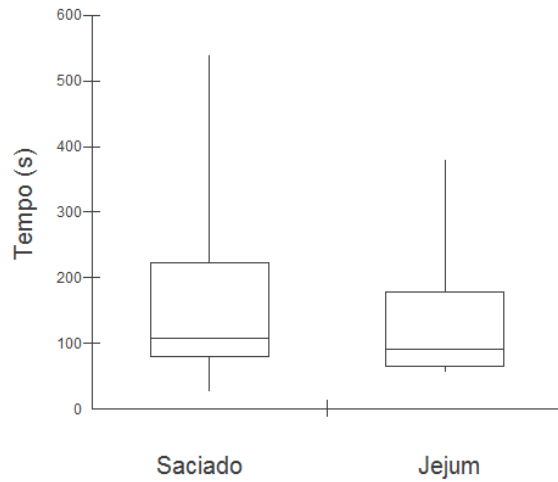


Fig 4. Latência (s) para detecção da presa *Gryllus* sp. pelo escorpião *Tityus serrulatus* do grupo saciado (n = 10) e jejum (n = 10). As barras horizontais representam os quartis (primeiro e terceiro) e a mediana. As barras verticais representam o menor e o maior valor.

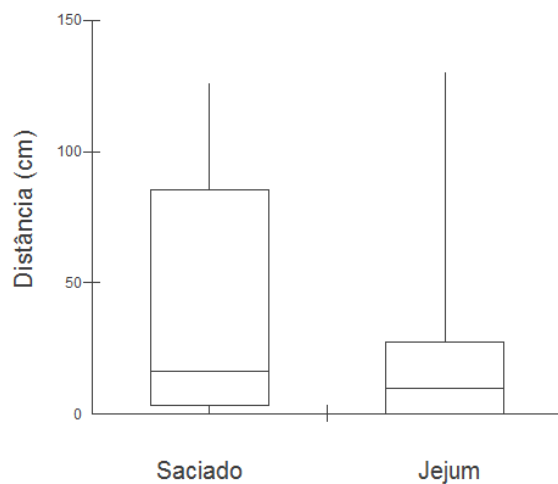


Fig 5. Distância (cm) de detecção da presa *Gryllus* sp. pelo escorpião *Tityus serrulatus* do grupo saciado (n = 10) e jejum (n = 10). As barras horizontais representam os quartis (primeiro e terceiro) e a mediana. As barras verticais representam o menor e o maior valor.

Tabela 1. Comportamentos observados durante a detecção da presa (*Gryllus* sp.) pelo escorpião amarelo *Tityus serrulatus*.

Categoria	Descrição
Ficar ativo	Levantar o mesossoma do substrato, movendo horizontalmente um pedipalpo em direção oposta ao outro pedipalpo e mover o metassoma (não ocorre em todos os casos) (modificado de Bub & Bowerman, 1979; Rein, 2003)
Orientar	Mover os pedipalpos em direção à presa, movendo ou não o corpo e movendo ou não alguma das pernas. A região anterior do escorpião pode ou não estar voltada para a presa ao final do comportamento (modificado de Bub & Bowerman, 1979; Rein, 2003; Stewart, 2006)
Parar	Cessar movimentos
Retrair (Passivo)	Estar com o corpo em contato com o substrato. Metassoma curvado ao lado do mesossoma. Pedipalpos são retraídos ficando próximos ao corpo (modificado de Bub & Bowerman, 1979; Rein, 2003)

### Hipótese 3 – A taxa de captura será maior no grupo em jejum

Embora não tenhamos encontrado diferenças significativas na taxa de captura entre os tratamentos, a diferença foi quase significativa ( $p = 0,057$ , figura 6).

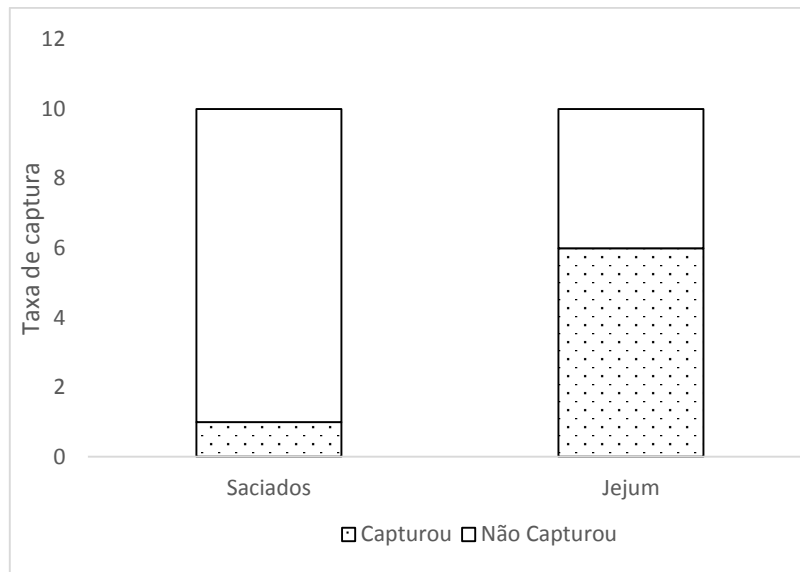


Fig 6. Taxa de captura da presa *Gryllus* sp. pelo escorpião *Tityus serrulatus* do grupo saciado (n = 10) e jejum (n = 10). A região preta das barras indica a taxa de captura de cada grupo e a região cinza os escorpiões que não capturaram a presa.

## Discussão

Não encontramos evidências de que o jejum afeta o padrão de locomoção, a detecção da presa e nem a taxa de captura de presas do escorpião *T. serrulatus*.

Uma possível explicação para o fato de não termos corroborado nenhuma das 3 hipóteses é de que talvez o tempo de jejum tenha sido insuficiente para causar diferenças nas variáveis que medimos. De fato, escorpiões aguentam jejum de até cinco meses (Cushing & Matherne, 1980). Em laboratório, observamos que escorpiões mantidos em cativeiro por volta de 4 e 5 meses sem se alimentar capturam a presa quase que no momento em que a colocávamos no terrário, o que não acontecia com escorpiões recém capturados e com apenas um mês de jejum. Dessa forma, assim como levantado por Persons (1999), talvez, aumentar o nível de fome do indivíduo pode fazer com que as diferenças entre o grupo em jejum e saciado apareça para *T. serrulatus*.

Uma outra explicação para os nossos resultados é de que talvez o efeito do jejum não influencie nas variáveis levantadas neste trabalho para *T. serrulatus*, assim como não influencia para outros grupos (locomoção: Elliot et al, 2013, taxa de captura: Wells & Bekoff, 1982). Talvez a influência do jejum apareça em outros comportamentos não testados. Por exemplo, o jejum influencia o tipo de estratégia que o animal pode adotar, se tornando generalista (Molles Jr e Pietruszka, 1987) ou especialista (Molles Jr e Pietruszka, 1983). Além disso, o jejum também influencia no aumento da taxa de ingestão de alimento (Junnian et al, 2007) e influencia na disputa por alimento, na qual animais em jejum que competem por um recurso tendem a ganhar disputas pelo alimento (Nosil, 2002). Nenhum desses exemplos foi testado para escorpiões.

Não corroboramos a nossa hipótese de que a taxa de captura aumentaria com o efeito do jejum. Uma possível explicação seja de que os escorpiões perdem a habilidade de capturar a presa com o aumento do jejum como encontrado por Paul & Paul (1980), possivelmente os escorpiões começam a perder energia e assim não são capazes de capturar a presa. Ou talvez, como encontrado por Wells & Bekoff (1982) não haja uma correlação entre nível de fome e taxa de captura. No entanto, não descartamos a possibilidade do tempo de jejum ter influenciado a taxa de captura uma vez que os nossos resultados foram quase significativos.

Não corroboramos a nossa hipótese de que a detecção da presa seria menor no grupo em jejum. Era esperado que o tempo para detecção da presa fosse menor porque predadores famintos tendem a reagir rapidamente à presença da presa (Croy & Hughes, 1991; Lokkeborg et al, 1995; Mookerji & Rao 1995; Stoner, 2003) com comportamentos típicos. Escorpiões também possuem comportamentos típicos quando detectam a presa como ficar ativo, se orientar em direção a presa e ficar imóvel (Bub & Bowerman, 1979; Jiao & Zhu, 2009; este trabalho). Ou o jejum realmente não afeta a detecção ou nossa definição operacional de detecção não incluiu todas as formas de detecção. Talvez o animal não se manifeste comportamentalmente embora tenha detectado a presa. Testes eletrofisiológicos seriam necessários para investigar essa questão.

Não corroboramos a hipótese de que a locomoção aumentaria com o efeito do jejum. Pode ser que mudar a estratégia de senta-e-espera para uma mais ativa não compense energeticamente. O custo com a procura da presa pode ser muito maior se o escorpião mudar a estratégia e se tornar mais ativo, como encontrado nesse trabalho em que não houve diferenças na locomoção. No entanto, é sabido que espécies que adotam essa estratégia mudam o local de forrageio se a disponibilidade de comida for baixa (Ford, 1978) e que a espécie de escorpião *Buthus occitanus* que também é senta-e-espera (Skutelsky, 1996) se locomove mais em jejum. Experimentos que meçam a quantidade de nutrientes perdidos por tempo de jejum são necessários para dar subsídios para estudos como este.

Os comportamentos de detecção que encontramos quando o escorpião detectou a presa foram: ficar ativo, orientar, parar e retrain. A maioria dos comportamentos já foram observados em trabalhos de captura de presas (Bub & Bowerman, 1979; Rein, 2003; Steward, 2006; Jiao & Zhu, 2009), mas neste trabalho observamos comportamentos diferentes associados a essas categorias previamente descritas. No comportamento “ficar ativo”, trabalhos prévios descrevem que os pedipalpos ficam estendidos, mas não descreveram o comportamento de afasta-los, como descrito aqui. O comportamento de “orientar”, nos repertórios comportamentais, é descrito como uma forma de detecção em que o escorpião sempre termina o comportamento com a região anterior em direção a presa. No entanto, encontramos que o comportamento de “orientar” não necessariamente implicou no escorpião terminar o comportamento totalmente de frente à presa, assim como observado por Brownell & Farley (1979b). O comportamento de “parada” em que o escorpião cessa o movimento na arena quando detecta uma presa se aproximando, pelo nosso conhecimento nunca havia sido descrito antes. O comportamento de “retração” havia sido descrito em repertórios anteriores, no entanto não como uma forma de detecção da presa. Dessa forma, esse trabalho adiciona comportamentos aos repertórios previamente descritos para escorpiões.

Os nossos resultados sugerem que o tempo de jejum utilizado parece não influenciar as variáveis testadas para *T. serrulatus*. Este trabalho também inclui novos comportamentos no repertório de *T. serrulatus*. Sugerimos que



trabalhos futuros utilizem tempos diferentes de jejum e que meça outras variáveis.

## Referências

- Bell, R. D., Rypstra, A. L., & Persons, M. H. (2006). The effect of predator hunger on chemically mediated antipredator responses and survival in the wolf spider *Pardosa milvina* (Araneae: Lycosidae). *Ethology*, 112(9), 903–910. <http://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2006.01244.x>
- Bradley, R. A. (1996). Foraging activity and burrow distribution in the Sydney brown trapdoor spider (*Misgolas rapax* Karsch: Idiopidae ). *The Journal of Arachnology*, 24(1), 58–67.
- Brownell, P., & Farley, R. D. (1979a). Detection of vibrations in sand by tarsal sense organs of the nocturnal scorpion, *Paruroctonus mesaensis*. *Journal of Comparative Physiology*, 131(1), 23–30. <http://doi.org/10.1007/BF00613080>
- Brownell, P., & Farley, R. D. (1979b). Prey-localizing behaviour of the nocturnal desert scorpion, *Paruroctonus mesaensis*: orientation to substrate vibrations. *Animal Behaviour*, 27(1), 185–193. [http://doi.org/10.1016/0003-3472\(79\)90138-6](http://doi.org/10.1016/0003-3472(79)90138-6)
- Bub, K., & Bowerman, R. F. (1979). Prey capture by the scorpion *Hadrurus arizonensis* Ewing (Scorpiones: Vaejovidae ). *The Journal of Arachnology*, 7(3), 243–253.
- Charnov, E. L. (1976). Optimal foraging, the marginal value theorem. *Theoretical Population Biology*, 9(2), 129–136. [http://doi.org/10.1016/0040-5809\(76\)90040-X](http://doi.org/10.1016/0040-5809(76)90040-X)
- Colombo, W. D., & Alencar, I. D. C. C. De. (2014). Etograma do escorpião amarelo *Tityus serrulatus* Lutz & Mello 1922 (Scorpiones: Buthidae), em cativeiro. *Bioscience Journal*, 30(2), 576–581.
- Croy, M. I., & Hughes, R. N. (1991). The influence of hunger on feeding behaviour and on the acquisition of learned foraging skills by the fifteen-

- spined stickleback, *Spinachia spinachia* L. *Animal Behaviour*, 41(1), 161–170. [http://doi.org/10.1016/S0003-3472\(05\)80511-1](http://doi.org/10.1016/S0003-3472(05)80511-1)
- Curtis, D. L., Vanier, C. H., & McGaw, I. J. (2010). The effects of starvation and acute low salinity exposure on food intake in the Dungeness crab, *Cancer magister*. *Marine Biology*, 157(3), 603–612. <http://doi.org/10.1007/s00227-009-1345-4>
- Cushing, B. S., & Matherne, A. (1980). Stinger utilization and predation in the scorpion *Paruroctonus boreus*. *The Great Basin Naturalist*, 40(2), 193–195. Retrieved from <Go\nto\nISI>://ZOOREC:ZOOR11700026791
- Daleo, P., Alberti, J., Avaca, M. S., Narvarte, M., Martinetto, P., & Iribarne, O. (2012). Avoidance of feeding opportunities by the whelk *Buccinanops globulosum* in the presence of damaged conspecifics. *Marine Biology*, 159(10), 2359–2365. <http://doi.org/10.1007/s00227-012-2020-8>
- Edwards, J. (1983). Diet shifts in moose due to predator avoidance. *Oecologia*, 60(2), 185–189. <http://doi.org/10.1007/BF00379520>
- Elliott, N. C., Kieckhefer, R. W., & Phoofolo, M. W. (2013). Prey foraging movements by *Hippodamia convergens* in wheat are influenced by hunger and aphids. *Southwestern Entomologist*, 38(2), 163–172. <http://doi.org/10.3958/059.038.0202>
- Ford, M. J. (1978). Locomotory activity and the predation strategy of the of the wolf-spider *Pardosa amentata* (Clerck) (Lycosidae). *Animal Behaviour*, 26(1), 31–35. [http://doi.org/10.1016/0003-3472\(78\)90005-2](http://doi.org/10.1016/0003-3472(78)90005-2)
- Framenau, V. W., Finley, L. A., Allan, K., Love, M., Shirley, D., & Elgar, M. A. (2000). Multiple feeding in wolf spiders: the effect of starvation on handling time, ingestion rate, and intercatch intervals in *Lycosa lapidosa* (Araneae: Lycosidae). *Australian Journal of Zoology*, 48(1), 59. <http://doi.org/10.1071/ZO99057>
- Gende, S. M., Quinn, T. P., & Willson, M. F. (2001). Consumption choice by bears feeding on salmon. *Oecologia*, 127(3), 372–382. <http://doi.org/10.1007/s004420000590>

- Hoshino, K., Moura, A. T. V., & De Paula, H. M. G. (2006). Selection of environmental temperature by the yellow scorpion *Tityus serrulatus* Lutz & Mello, 1922 (Scorpiones, Buthidae). *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases*, 12(1), 59–66. <http://doi.org/10.1590/S1678-91992006000100005>
- Jiao, G. B., & Zhu, M. S. (2009). Courtship and mating of *Scorpiops luridus* Zhu Lourenço & Qi, 2005 (Scorpiones: Euscorpiidae) from Xizang province, China. *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases*, 16(1), 155–165. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S1678-91992010005000010>
- Junnian, L., Jike, L., & Shuanglun, T. (2007). Effects of hunger and tannic acid on food intake and foraging behavior in *Microtus fortis*. *Acta Ecologica Sinica*, 27(11), 4478–4484. [http://doi.org/10.1016/S1872-2032\(08\)60004-9](http://doi.org/10.1016/S1872-2032(08)60004-9)
- Langvatn, R., & Hanley, T. A. (1993). Feeding-patch choice by red deer in relation to foraging efficiency. *Oecologia*, 95(2), 164–170. <http://doi.org/10.1007/BF00323486>
- Larcher, M., & Crane, A. L. (2015). Chemoreception of hunger levels alters the following behaviour of a freshwater snail. *Behavioural Processes*, 121, 30–32. <http://doi.org/10.1016/j.beproc.2015.10.010>
- Lighton, J. R. B., Brownell, P. H., Joos, B., & Turner, R. J. (2001). Low metabolic rate in scorpions: implications for population biomass and cannibalism. *The Journal of Experimental Biology*, 204(3), 607–613.
- Lodish, H., Berk, A., Matsudaira, P., Kaiser, C. A., Krieger, M., Scott, M. P. (2005). *Biologia celular e molecular*. Editora Artmed.
- Lokkeborg, S., Olla, B. L., Pearson, W. H., & Davis, M. W. (1995). Behavioural responses of sablefish, *Anoplopoma fimbria*, to bait odour. *Journal of Fish Biology*, 46(1), 142–155. <http://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1995.tb05953.x>
- Lozano, G. A. (1991). Optimal foraging theory: a possible role for parasites. *Oikos*, 60(3), 391. <http://doi.org/10.2307/3545084>
- Martin, P., & Bateson, P. *Measuring Behaviour: An Introductory Guide*.

Cambridge University Press.

Ministério da Saúde. (2009). Manual de controle de escorpiões.

Matthiesen, F. A. (1962). Parthenogenesis in scorpions. *Evolution*, 16, 255–256.

McCormick, S. J., & Polis, G. A. (1990). Prey, predators, and parasites. In: Polis, G. A. *The biology of Scorpions*. Stanford University Press, pp. 294–320.

Mellor, D. J., & Stafford, K. J. (2004). Animal welfare implications of neonatal mortality and morbidity in farm animals. *The Veterinary Journal*, 168(2), 118–133. <http://doi.org/10.1016/j.tvjl.2003.08.004>

Meyer, A. (1986). Changes in behavior with increasing experience with a novel prey in fry of the central American cichlid, *Cichlasoma managuense* (Teleostei: Cichlidae). *Behaviour*, 98(1), 145–167. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Mineo, M. F., & Del Claro, K. (2006). Mechanoreceptive function of pectines in the Brazilian yellow scorpion *Tityus serrulatus*: perception of substrate-borne vibrations and prey detection. *Acta Ethologica*, 9(2), 79–85. <http://doi.org/10.1007/s10211-006-0021-7>

Mineo, M. F., Franco-Assis, G. A., & Del-Claro, K. (2003). Repertório comportamental do escorpião amarelo, *Tityus serrulatus* Lutz & Mello em cativeiro. *Revista Brasileira de Zoociências*, 5(1), 23–31.

Molles, M. C., & Pietruszka, R. D. (1983). Mechanisms of prey selection by predaceous stoneflies: roles of prey morphology, behavior and predator hunger. *Oecologia*, 57(1), 25–31. <http://doi.org/10.1007/BF00379557>

Molles, M. C., & Pietruszka, R. D. (1987). Prey selection by a stonefly: the influence of hunger and prey size. *Oecologia*, 72(3), 473–478. <http://doi.org/10.1007/BF00377582>

Mookerji, N., & Rao, T. R. (1995). Prey capture success, feeding frequency and daily food intake rates in rohu, *Labeo rohita* (Ham.) and singhi, *Heteropneustes fossilis* (Bloch) larvae. *Journal of Applied Ichthyology*,

11(1–2), 37–49. <http://doi.org/10.1111/j.1439-0426.1995.tb00004.x>

Nandini, S., & Sarma, S. S. S. (1999). Effect of starvation time on the prey capture behaviour, functional response and population growth of *Asplanchna sieboldi* (Rotifera). *Freshwater Biology*, 42(1), 121–130. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00467.x>

Nosil, P. (2002). Food fights in house crickets, *Acheta domesticus*, and the effects of body size and hunger level. *Canadian Journal of Zoology*, 80(3), 409–417. <http://doi.org/10.1139/z02-018>

Outeda-Jorge, S., & Pinto-da-Rocha, R. (2010). Corte e aspectos da biologia reprodutiva do escorpião brasileiro *Tityus bahiensis* (Scorpiones: Buthidae). Dissertação.

Paul, A., & Paul, J. (1980). The effect of early starvation on later feeding success of king crab zoeae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 44(2), 247–251. [http://doi.org/10.1016/0022-0981\(80\)90155-0](http://doi.org/10.1016/0022-0981(80)90155-0)

Perry, D. M. (1987). Optimal diet theory: behavior of a starved predatory snail. *Oecologia*, 72(3), 360–365. <http://doi.org/10.1007/BF00377564>

Persons, M. (1999). Hunger effects on foraging responses to perceptual cues in immature and adult wolf spiders (Lycosidae). *Animal Behaviour*, 57(1), 81–88. <http://doi.org/10.1006/anbe.1998.0948>

Peterson, C. C. (1994). Different rates and causes of high mortality in two populations of the threatened desert tortoise *Gopherus agassizii*. *Biological Conservation*, 70(2), 101–108. [http://doi.org/10.1016/0006-3207\(94\)90277-1](http://doi.org/10.1016/0006-3207(94)90277-1)

Rein, J. (2003). Prey capture behavior in the East African scorpions *Parabuthus leiosoma* (Ehrenberg, 1828) and *P. pallidus* Pocock, 1895 (Scorpiones: Buthidae). *Euscorpius*, 6(1), 1–8.

Santibáñez-López, C., Francke, O., Ureta, C., & Possani, L. (2016). Scorpions from Mexico: from species diversity to venom complexity. *Toxins*, 8(2), 1–18. <http://doi.org/10.3390/toxins8010002>

Sinha, R. C. (1982). Effect of starvation and refeeding on the scorpion, *Buthus*

- tamulus*. *The Japanese Journal of Physiology*, 32(6), 983–989.  
<http://doi.org/10.2170/jjphysiol.32.983>
- Sinha, A. R. C., & Kanungo, M. S. (1967). Effect of starvation on the scorpion *Palamnaeus bengalensis*. *Physiological Zoology*, 40(4), 386–390.
- Skutelsky, O. (1996). Predation risk and state-dependent foraging in scorpions: effects of moonlight on foraging in the scorpion *Buthus occitanus*. *Animal Behaviour*, 52, 49–57.  
<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1006/anbe.1996.0151>
- Stewart, A. K. (2006). Observations on prey-capture behavior of *Androctonus crassicauda* (Olivier, 1807) (Scorpiones: Buthidae) in northern Iraq. *Euscorpius*, (37), 1–9.
- Stoner, A. W. (2003). Hunger and light level alter response to bait by Pacific halibut: laboratory analysis of detection, location and attack. *Journal of Fish Biology*, 62(5), 1176–1193. <http://doi.org/10.1046/j.1095-8649.2003.00117.x>
- Thorington, G. U., McAuley, V., & Hessinger, D. A. (2010). Effects of satiation and starvation on nematocyst discharge, prey killing, and ingestion in two species of sea anemone. *Biological Bulletin*, 219(2), 122–131.
- Toft, S. (2013). Nutritional Aspects of Spider Feeding. In: Nentwig, W. *Spider Ecophysiology*. Springer, pp. 373–384.
- Usher, M. B., & Bowring, M. F. B. (1984). Laboratory studies of predation by the Antarctic mite *Gamasellus racovitzai* (Acarina: Mesostigmata). *Oecologia*, 62(2), 245–249.
- Walker, S., Marshall, S., Rypstra, A., & Taylor, D. (1999). The effects of hunger on locomotory behaviour in two species of wolf spider (Araneae, Lycosidae). *Animal Behaviour*, 58(3), 515–520.  
<http://doi.org/10.1006/anbe.1999.1180>
- Wells, M. C., & Bekoff, M. (1982). Predation by wild coyotes: behavioral and ecological analyses. *Journal of Mammalogy*, 63(1), 118–127.  
<http://doi.org/10.2307/1380678>

- Wignall, A. E., & Taylor, P. W. (2009). Alternative predatory tactics of an araneophagic assassin bug (*Stenolemus bituberus*). *Acta Ethologica*, 12, 23–27. <http://doi.org/DOI 10.1007/s10211-008-0049-y>
- Wu, L., Zhang, H., He, T., Liu, Z., & Peng, Y. (2013). Factors influencing sexual cannibalism and its benefit to fecundity and offspring survival in the wolf spider *Pardosa pseudoannulata* (Araneae: Lycosidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 67(2), 205–212. <http://doi.org/10.1007/s00265-012-1440-2>
- Zhao, Q., Cheung, S. G., Shin, P. K. S., & Chiu, J. M. Y. (2011). Effects of starvation on the physiology and foraging behaviour of two subtidal nassariid scavengers. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 409(1–2), 53–61. <http://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.08.003>

## **A importância dos tricobótrios no sucesso de captura do escorpião *Tityus serrulatus* Lutz & Mello 1922 (Buthidae)**

Gabriel Pimenta Murayama<sup>1, 2</sup> & Rodrigo Hirata Willemart<sup>1, 2, 3</sup>

1 Laboratório de Ecologia Sensorial e Comportamento de Artrópodes (LESCA), Escola de Artes Ciências e Humanidades (EACH), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil;

2 Programa de Pós Graduação em Zoologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, SP, Brasil

3 Programa de Pós Graduação em Ecologia e Evolução, Universidade Federal de São Paulo, SP, Brasil

### **Resumo**

Muitos aracnídeos dependem de vibrações do substrato e deslocamento de ar para detectarem presas e predadores. Esses estímulos são detectados por estruturas como os órgãos em fenda (fina região da cutícula onde ocorrem fendas que detectam vibrações do substrato) e os tricobótrios, que são longas cerdas extremamente sensíveis ao deslocamento de ar. Escorpiões são equipados com tricobótrios, mas a função comportamental destas cerdas nesse táxon nunca foi testada experimentalmente. Neste estudo testamos a hipótese de que os tricobótrios nos pedipalpos são importantes para captura de presas para escorpiões. Previmos que escorpiões sem tricobótrios experimentalmente removidos teriam menor sucesso de captura do que os grupos controles (cerda controle removida/controlado do procedimento experimental/controlado sem manuseio). Previmos ainda que escorpiões sem tricobótrios teriam um número de tentativas de captura maior, que a latência para detectar a presa e para a primeira tentativa de captura seriam maiores e que o número de vezes que se orientariam em direção à presa seria menor. Nós medimos o sucesso de captura como o número de escorpiões que seguraram a presa por pelo menos 2 segundos. Colocamos um sujeito experimental e um grilo sem o par de pernas III em uma arena circular com papel sulfite A2 como substrato. Nós não encontramos diferenças nas variáveis medidas entre os grupos comparados. Escorpiões possuem outros órgãos sensoriais, como os *basitarsal compound slit sensilla* e as cerdas tarsais que os permitem detectar a presa por vibrações do substrato. Esses órgãos podem estar compensando a falta dos tricobótrios neste estudo. Alternativamente, os tricobótrios podem ser mais eficazes com



presas que voam do que com presas que se deslocam pelo substrato. Por fim, os nossos resultados indicam que os tricobótrios de *Tityus serrulatus* não são essenciais para captura de presa.

**Palavras-chave:** ecologia sensorial, cerda filiforme, sucesso de captura, vibração

### **Abstract**

Many arachnids rely on substrate borne vibrations and air displacement to detect prey and predators. These stimuli are detected by sensory structures such as slit sense organs, (a thin region on the cuticle that bears slit that detect substrate borne vibration) and trichobothria, which are long setae extremely sensitive to air displacement. Scorpions are well equipped with trichobothria, however, the specific behavioral function of these sensilla on this taxa has never been experimentally tested. In this study we tested the hypothesis that trichobothria on pedipalps are important for scorpions to capture prey. We predicted that scorpions without trichobothria experimentally removed would be less successful in capturing prey than the control groups (control seta removed/control of experimental procedure/no handling control). We also predicted that scorpions without trichobothria would have a higher number of capture attempts, that the latency to detect prey and to the first capture attempts would be higher and the number of times that each scorpion oriented its body towards the prey would be lower. We measured capture success as the number of scorpions that held the prey for at least 2 seconds. We used an experimental subject and a cricket without the pair of legs III in a circular arena with a printer paper A2 as substrate. We did not find differences in the measured variables between the two groups. Scorpions have other sensory organs, such as basitarsal compound slit sensilla and the tarsal hairs that enable them to detect prey by substrate borne vibrations. These organs may have compensated the lack of trichobothria in this study. Alternatively, the trichobothria might be more effective with flying-prey than with walking-prey. Finally, our results indicate that trichobothria of *Tityus serrulatus* are not essential to capture prey.

**Key-words:** sensory ecology, filiform hair, capture success, vibration

## **Introdução**

Aracnídeos são animais que possuem diversas cerdas sensoriais e órgãos específicos para detectar informações do ambiente. As modalidades sensoriais mais bem estudadas são a quimiorrecepção e mecanorrecepção. O uso da quimiorrecepção é conhecido em diversos contextos, como para encontrar parceiros sexuais e alimento (Gaskett, 2007; Costa & Willemart, 2013). Para detectarem diferentes tipos de químicos, os aracnídeos possuem cerdas com poros terminais e cerdas com poros ao longo de sua extensão (Hebets & Chapman, 2000; Gainett et al, *submetido*), além de outros órgãos especializados, como os pentes (Wolf, 2008) e o órgão maleolar (Brownell & Farley, 1974). Aracnídeos tipicamente também são dependentes de pistas e sinais mecânicos vindos do substrato e do ar (Barth, 2002).

Estímulos mecânicos são utilizados em diversos aspectos da vida dos aracnídeos, como para fins reprodutivos (Stratton, 1997), para evitar predadores (Sitvarin et al, 2016) e localizar presas (Brownell & Farley, 1979b). Para detectar estímulos mecânicos, eles possuem estruturas como cerdas táteis, órgãos em fenda e tricobótrios. As cerdas táteis são sensíveis ao toque. Quando cerdas ventrais são estimuladas, é gerado um reflexo local que faz com que ocorram comportamentos como se afastar do estímulo e levantar o opistossoma (Seyfarth, 2000). Os órgãos em fenda, que podem ocorrer de forma isolada ou em grupos, são receptores de stress mecânicos. Esses receptores são distribuídos ao longo do corpo e são responsáveis pela detecção de vibrações do substrato e deformações mecânicas no próprio corpo (propriocepção) (Brownell & Farley, 1979a,b; Foelix, 2011). Os tricobótrios são longas cerdas que ocorrem em todas as pernas das aranhas (Barth, 2002), mas que nos escorpiões ocorrem apenas nos pedipalpos (Hjelle, 1990). A quantidade de tricobótrios parece estar relacionada à maneira com que a aranha detecta e captura a presa e com o tipo de substrato em que a aranha vive (Barth, 2002; Foelix, 2011).

Os tricobótrios (chamados de cerdas filiformes nos insetos) são cerdas longas e delgadas que terminam com suas bases inseridas numa cavidade chamada bótrio (Reißland & Görner, 1985). Os tricobótrios são inervados por vários receptores mecanosensitivos (Hoffmann, 1965; Meßlinger, 1987) e são extremamente sensíveis a deslocamentos de ar (Reißland & Görner, 1978). Diversas funções são atribuídas a estas cerdas. Tricobótrios são utilizados para detectar predadores (Kläner & Barth, 1982; Suter, 2003) e para comunicação entre coespecíficos (Santer & Hebets, 2011). Den Otter (1973) observou que o movimento da perna de um grilo a 2 cm da perna da aranha *Sericopelma rubronitens* movimentava o tricobótrio dessa aranha. Williams (1979) observou que três espécies de aranha do gênero *Dolomedes* são capazes de capturar presas voadoras. Essa capacidade de detectar vibrações vindas do ar provavelmente está relacionada aos tricobótrios. Diversas evidências indicam que os tricobótrios auxiliam na captura de presas (Weygoldt, 1995), e que elas podem ser localizadas por correntes de ar (Barth et al, 1995). Os tricobótrios da aranha *Cupiennius salei* captam frequências que estão sintonizadas com a frequência produzida pelas moscas usualmente capturada por esta aranha (Barth, 2002). O fluxo de ar gerado pela mosca é detectado pelos tricobótrios da aranha, que se orienta em direção à presa e depois salta para capturá-la (Klopsch et al, 2013). No entanto, se os tricobótrios de um lado são removidos, a aranha responde indo para o lado oposto (errado) ao estímulo. Além disso, se o estímulo é aplicado a apenas uma das pernas sem tricobótrios, a aranha não responde (Brittinger, 1998 *apud* Barth, 2002). Embora a maioria dos aracnídeos possuam tricobótrios com exceção de Solifugae, Ricinulei e Opiliones (Reißland & Görner, 1985), quase todos os estudos comportamentais sobre o uso dos tricobótrios estão ainda muito restritos a aranhas (Hergenröder & Barth, 1983; Barth et al, 1995; Barth, 2002).

Embora escorpiões sejam conhecidos no mundo inteiro (Stahnke, 1974; Santibáñez-López et al, 2016), poucos trabalhos comportamentais são realizados com este grupo. Trabalhos que envolvam o uso dos tricobótrios em escorpiões estão restritos a observações pessoais de Krapf (em Reißland & Görner, 1985 e McCormick & Polis, 1990). Este relata que muitas espécies de escorpiões usam os tricobótrios para se orientarem precisamente em direção à

presa voando a uma distância de 10 cm. No entanto, nenhuma metodologia experimental foi apresentada. Até hoje, o uso dessa cerca para escorpiões nunca foi testado experimentalmente.

O escorpião amarelo *Tityus serrulatus* Lutz & Mello 1922 é uma espécie conhecida no Brasil por ser partenogenética (Matthiesen, 1962), por ter uma ampla distribuição geográfica e pela importância médica (Ministério da Saúde, 2009). Embora esta espécie seja comum, estudos comportamentais com ela ainda são escassos. Os poucos trabalhos abordam repertórios comportamentais, preferência por temperatura, o uso dos pentes como detector de estímulos mecânicos, a descrição da reprodução por partenogênese e a descrição de cópulas (Matthiesen, 1962; Mineo et al, 2003; Hoshino et al, 2005; Mineo & Del Claro, 2006; Outeda-Jorge & Pinto-da-Rocha, 2010; Colombo & Alencar, 2014). Dessa forma, dado que tricobótrios em aranhas são utilizados na captura de presas, testamos a hipótese de que os tricobótrios são importantes na captura de presas em *T. serrulatus*. Previmos que os sujeitos experimentais sem tricobótrios capturariam menos presas, teriam um maior número de tentativas de captura mal-sucedidas, que a latência para detecção e para a primeira tentativa de captura seriam maiores e que se orientariam menos vezes para a presa do que animais controle.

## **Métodos**

### Coleta e manutenção em laboratório

Os escorpiões foram coletados no Cemitério da Saudade em Ribeirão Preto (21°09'29.0"S 47°47'53.2"W), Brasil, em novembro de 2015. Os escorpiões foram mantidos em laboratório, em arenas circulares (20 diâmetro x 8 cm de altura), com iluminação natural, temperatura ambiente, substrato com um pedaço de papel toalha e com algodão embebido em água *ad libitum*. Durante todo o período do experimento, mantivemos a sala com iluminação constante com lâmpada vermelha. Alimentamos os escorpiões com um grilo (*Gryllus* sp.) para padronização do jejum. Os grilos (comprados em: [www.repteisbrasil.com.br](http://www.repteisbrasil.com.br)) foram alimentados diariamente com ração canina (Pedigree®) e água *ad libitum*. Apenas os escorpiões que se alimentaram

foram utilizados no experimento. Todos os escorpiões tiveram um jejum de 40 dias antes do experimento.

### Preparação dos sujeitos experimentais

*Anestesia:* Para preparar cada sujeito experimental, anestesiámos cada indivíduo deixando-o no freezer a  $-22^{\circ}\text{C}$  entre 4 e 5 minutos. Em seguida, com o sujeito experimental anestesiado, prendemos o mesossoma e o metassoma com tiras de papel sulfite a fim de evitar que o escorpião se mexesse muito durante o manuseio. Além disso, também envolvemos o telson com um pedaço de espuma (EVA) a fim de minimizarmos a possibilidade de acidentes. Tivemos quatro tratamentos: “tricobótrio cortado” (TC), “cerda controle removida” (CC), “controle do procedimento experimental” (PC) e “controle sem manuseio” (CM). Todos os tratamentos são explicados a seguir.

*Tratamentos:* sob a lupa (Leica M125), para o grupo TC, seguramos com uma pinça os dedos de um pedipalpo por vez e, com uma lâmina (Wilkinson Sword), cortamos cada um dos tricobótrios na região mais basal do tricobótrio em que a gilete alcançava. Cada escorpião tinha o total de 72 tricobótrios, dos quais apenas 10 (5 de cada lado), da região retrolateral inferior do fêmur, permaneceram intactos. No grupo controle CC retiramos cerdas pequenas e de coloração clara que ocorriam mais proximamente aos tricobótrios. Para o grupo PC, apenas cutucamos e raspamos com a gilete regiões em que não tinha cerdas. A fim de termos um controle do procedimento, tivemos um quarto grupo, o CM. Neste grupo, os sujeitos experimentais não passaram por nenhum procedimento e apenas foram testados na arena. Todos os sujeitos experimentais testados tiveram pelo menos 15 dias de repouso após a manipulação.

### Experimento

Previmos que o grupo dos sujeitos experimentais sem tricobótrios (TC) capturariam menos presas e que os sujeitos experimentais desse grupo teriam um maior número de tentativas de captura mal-sucedidas, que a latência para a detecção e para a primeira tentativa de captura seriam maiores e que se orientariam menos vezes em direção à presa (ver tabela 1 para definições operacionais). Para testar a nossa hipótese utilizamos uma arena circular (27

cm de diâmetro) feita de acrílico envolvida com cartolina preta (para que eventuais estímulos visuais laterais ao escorpião não fossem detectados). Como substrato, utilizamos papel sulfite A2 suspenso em uma bandeja com uma marcação pequena de fita crepe para servir como escala (2,4 cm). Para cada teste, giramos a posição do sujeito experimental na arena em aproximadamente 45 graus para evitar qualquer viés de preferência por algum lado e/ou influência do ambiente. Alternamos o uso de um sujeito experimental de cada tratamento, utilizando ora de um tratamento, ora do outro. Os testes ocorreram entre 20:30 e 01:45 da manhã. Colocamos a câmera (Sony HDXR550 no modo Night-Shot) fixa em um tripé de forma que ficasse perpendicular a arena. Colocamos um sujeito experimental e um grilo (*Gryllus* sp. ~1 cm) sem o terceiro par de pernas na arena, ambos em béqueres individuais. Deixamos ambos em aclimação por 3 minutos. Em seguida ligamos a câmera e tiramos os béqueres simultaneamente.

## **Análises**

Para todas as variáveis medidas, aplicamos o teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Para variável *captura* utilizamos um Qui-Quadrado (capturou vs não capturou). Para as outras variáveis, como os grupos eram independentes entre si, como havia mais de dois tratamentos e uma vez que a distribuição dos dados não foram normais, utilizamos o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

## **Resultados**

Não encontramos diferenças no número de escorpiões que capturaram e não capturaram a presa entre os tratamentos ( $p = 0,96$ ,  $n = 14$  TC,  $n = 9$  CC,  $n = 13$  PC,  $n = 8$  CM, figura 1). Não encontramos diferenças no número de tentativas de capturas ( $p = 0,47$ ,  $n = 12$  TC,  $n = 7$  CC,  $n = 12$  PC,  $n = 8$  CM, figura 2). Nós também não encontramos diferenças na latência para detecção da presa ( $p = 0,62$ ,  $n = 14$  TC,  $n = 9$  CC,  $n = 13$  PC,  $n = 8$  CM, figura 3), na latência para a primeira tentativa de captura ( $p = 0,56$ ,  $n = 10$  TC,  $n = 7$  CC,  $n = 12$  PC,  $n = 8$  CM, figura 4) e no número de vezes que os escorpiões se

orientaram em direção a presa ( $p = 0,41$ ,  $n = 10$  TC,  $n = 7$  CC,  $n = 12$  PC,  $n = 8$  CM, figura 5) entre os tratamentos.

Tabela 1 – Definições operacionais dos comportamentos ligados à captura de presas (*Gryllus* sp.) do escorpião amarelo *Tityus serrulatus*.

Categoria	Descrição
<i>Captura</i>	Segurar a presa por pelo menos dois segundos com pelo menos um dos pedipalpos
<i>Tentativa de captura</i>	Com pelo menos um dos pedipalpos, o escorpião tenta segurar a presa avançando com o corpo e/ou movimentando os pedipalpos para a frente
<i>Detecção</i>	Afastar os pedipalpos (movimento horizontal de um pedipalpo em direção oposta ao outro pedipalpo), flexionar os pedipalpos (trazer os palpos próximos as quelíceras), flexionar as pernas, abrir os dedos do pedipalpo de forma que o dedo fixo vai para baixo. Se o escorpião fosse tocado pela presa, consideramos q ocorreu detecção. Alguns comportamentos podem ocorrer simultaneamente
<i>Orientação</i>	Mover os pedipalpos em direção à presa. A região anterior do escorpião pode ou não estar voltada para a presa ao final do comportamento (modificado de Bub & Bowerman, 1979; Rein, 2003; Stewart, 2006)

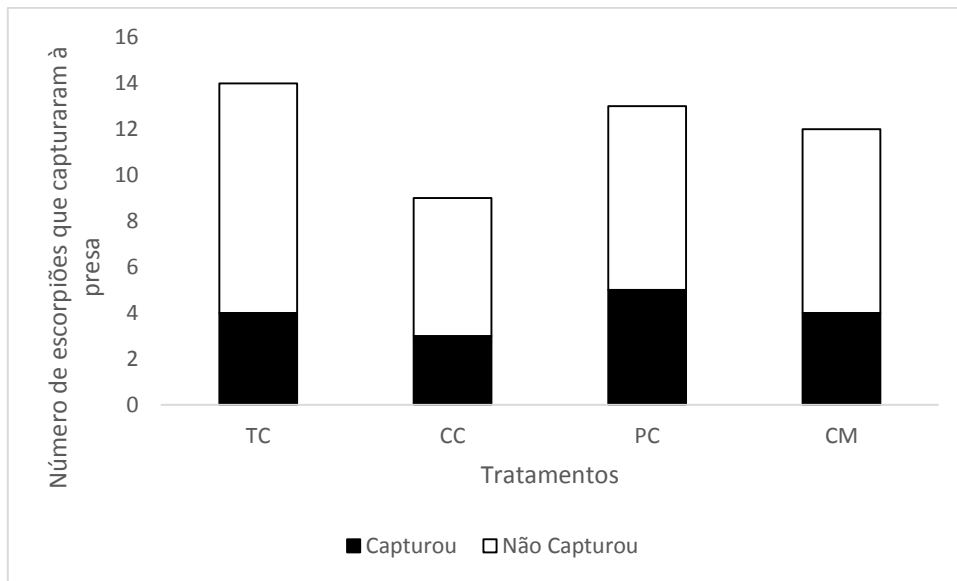


Fig 1. Número de escorpiões amarelo *Tityus serrulatus* que capturaram a presa oferecida (*Gryllus* sp.) (n = 14 TC, n = 9 CC, n = 13 PC, n = 8 CM). TC: tricobótrio cortado; CC: cerda controle removida; PC: controle do procedimento experimental; CM: controle sem manuseio.

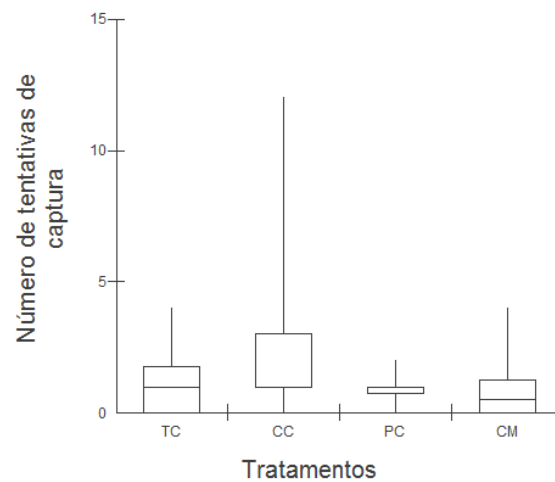


Fig 2. Número de tentativas de captura de *Gryllus* sp. pelo escorpião amarelo *Tityus serrulatus* (n = 12 TC, n = 7 CC, n = 12 PC, n = 8 CM). As barras horizontais representam os quartis (primeiro e terceiro) e a mediana. As barras verticais representam o menor e o maior valor. TC: tricobótrio cortado; CC: cerda controle removida; PC: controle do procedimento experimental; CM: controle sem manuseio.



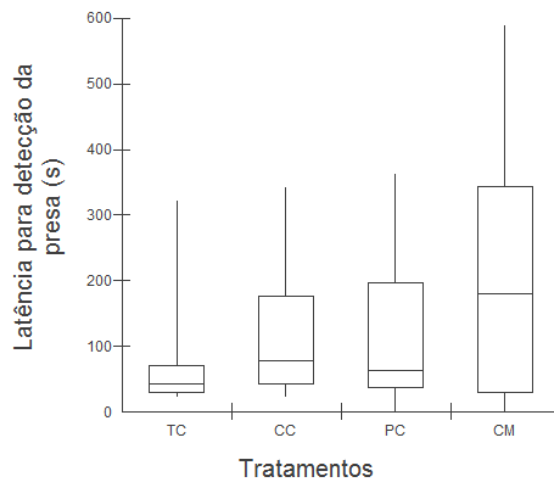


Fig 3. Latência em segundos para detecção da presa (*Gryllus* sp.) no escorpião amarelo *Tityus serrulatus* (n = 14 TC, n = 9 CC, n = 13 PC, n = 8 CM). As barras horizontais representam os quartis (primeiro e terceiro) e a mediana. As barras verticais representam o menor e o maior valor. TC: tricobótrio cortado; CC: cerda controle removida; PC: controle do procedimento experimental; CM: controle sem manuseio.

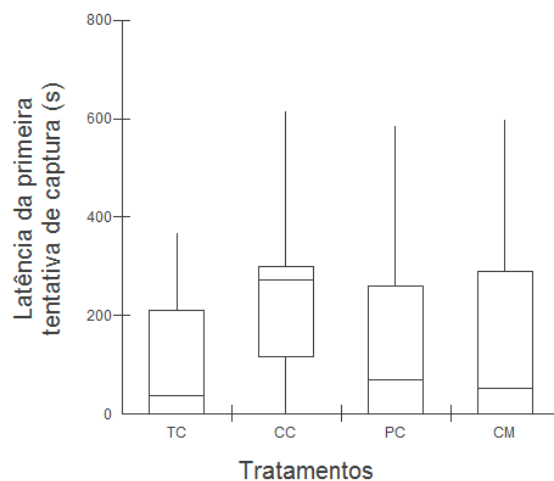


Fig 4. Latência em segundos da primeira tentativa de captura para o escorpião amarelo *Tityus serrulatus* (n = 10 TC, n = 7 CC, n = 12 PC, n = 8 CM). As barras horizontais representam os quartis (primeiro e terceiro) e a mediana. As barras verticais representam o menor e o maior valor. TC: tricobótrio cortado;

CC: cerda controle removida; PC: controle do procedimento experimental; CM: controle sem manuseio.

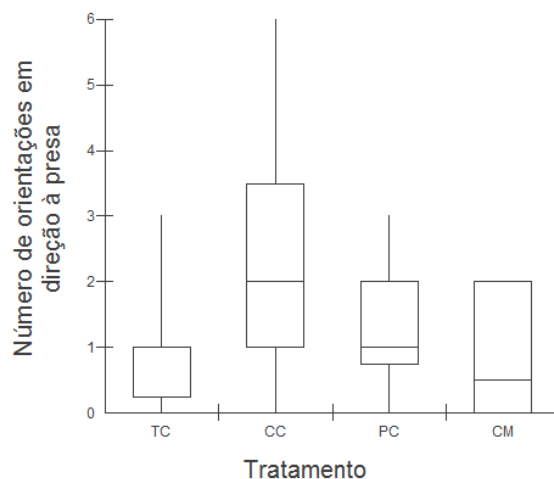


Fig 5. Número de orientações do escorpião amarelo *Tityus serrulatus* em direção à presa (*Gryllus* sp.) (n = 10 TC, n = 7 CC, n = 12 PC, n = 8 CM). As barras horizontais representam os quartis (primeiro e terceiro) e a mediana. As barras verticais representam o menor e o maior valor. TC: tricobótrio cortado; CC: cerda controle removida; PC: controle do procedimento experimental; CM: controle sem manuseio.

## Discussão

Não encontramos diferenças no sucesso de captura pelo escorpião amarelo *Tityus serrulatus* em nenhuma das variáveis testadas. Nossos resultados indicam que os tricobótrios não são essenciais para a captura de presas e que outras estruturas podem estar envolvidas na detecção e captura da presa.

Uma explicação de porque não termos encontrado diferenças significativas no sucesso de captura seja de que talvez os escorpiões tenham recuperado a habilidade de detectar a presa com o período de descanso entre a manipulação experimental e o dia do teste, somado ao fato de haver tricobótrios restantes. Por exemplo, os cercos da barata *Periplaneta americana* possuem cerdas filiformes (análogas aos tricobótrios) que são capazes de

fornecer à barata a localização do fluxo de ar de forma que esta responda fugindo em direção contrária a este fluxo (Camhi & Tom, 1978). Vardi & Camhi (1982) cortaram o cerco esquerdo e observaram que depois de um dia a resposta da barata era virar mais para o lado esquerdo independente da direção do fluxo de ar, mas que depois de alguns dias de recuperação, as respostas da barata estavam mais corretas. Eles atribuíram a compensação da falta do cerco esquerdo ao cerco direito. Grilos também respondem a fluxos de ar indo em direção oposta ao estímulo (Kanou et al, 1999). Quando cortado um dos cercos do grilo *Gryllodes sigillatus*, a resposta de fuga cai pra 16%, mas começa a subir e com 7 dias, a resposta de fuga esta em 45% (Kanou et al, 2006). A espécie *Gryllus bimaculatus* também apresenta recuperação da resposta de fuga com o passar dos dias ao ter apenas um dos cercos cortados, mas, se tiver ambos os cercos cortados a recuperação não ocorre (Kanou et al, 1999). Talvez, o tempo entre preparar os escorpiões e fazer o experimento tenha sido suficiente para uma recuperação da habilidade de captura de presa.

Como utilizamos um substrato que transmite vibrações (ver Hebets, 2005), os escorpiões podem ter utilizado outras estruturas sensoriais sensíveis às vibrações do substrato. Brownell & Farley (1979a) mostraram que os *basitarsal compound slit sensilla* e as cerdas tarsais localizadas nas pernas do escorpião *Paruroctonus mesaensis* são capazes de detectar vibrações do substrato. Além dessas estruturas, há os pentes na região ventral. Os pentes, além de detectarem químicos (Gaffin & Brownell, 1997), também são capazes de detectarem vibrações do substrato (Mineo & Del Claro, 2006) o que os tornam uma estrutura em potencial para compensar a ausência dos tricobótrios para *T. serrulatus*. Em aranhas, os tricobótrios são importantes para a captura de presas terrestres, mas aranhas que tiveram todos os tricobótrios cortados ainda são capazes de localizar a presa (Hergenröder & Barth, 1983). Portanto, para o tipo de presa e substrato utilizados, *T. serrulatus* não depende dos tricobótrios para capturar a presa.

Escorpiões capturam diversos tipos de presas, terrestres e voadoras (revisão em McCormick & Polis, 1990). Uma mosca voando produz fluxos de ar que são detectados pelos tricobótrios e utilizados como pistas por aranhas (Klopsch et al, 2013). Brittinger (1998 *apud* Barth, 2002), encontrou que

aranhas *Cupiennius salei* saltam em direção a um estímulo de ar aplicado sobre a perna que possui tricobótrios intactos. Entretanto, não realizam tal comportamento se a perna estiver sem tricobótrios. Logo, existe também a possibilidade de que tricobótrios sejam fundamentais para presas voadoras mas não para presas terrestres, como utilizadas nesse estudo.

Por fim, a possibilidade de nosso tratamento de remoção das cerdas ter prejudicado os resultados pode ser descartada visto que o grupo controle que não passou pela manipulação experimental gerou resultados similares. Em suma, os nossos dados indicam que os tricobótrios não são essenciais para captura de presas nesta espécie. Trabalhos futuros devem considerar o uso de presas alternativas e substratos que atenuem vibrações do substrato.

## Referências

- Barth, F.G. (2002). *A spider's world: sense and behavior*. Springer.
- Barth, F. G., Humphrey, J. A. C., Wastl, U., Halbritter, J., & Brittinger, W. (1995). Dynamics of arthropod filiform hairs. III. Flow patterns related to air movement detection in a spider (*Cupiennius salei* KEYS.). *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 347(1322), 397–412. <http://doi.org/10.1098/rstb.1995.0032>
- Brownell, P. H., & Farley, R. D. (1974). The organization of the malleolar sensory system in the solpugid, *Chanbria* sp. *Tissue and Cell*, 6(3), 471–485. [http://doi.org/10.1016/0040-8166\(74\)90039-1](http://doi.org/10.1016/0040-8166(74)90039-1)
- Brownell, P., & Farley, R. D. (1979a). Detection of vibrations in sand by tarsal sense organs of the nocturnal scorpion, *Paruroctonus mesaensis*. *Journal of Comparative Physiology*, 131(1), 23–30. <http://doi.org/10.1007/BF00613080>
- Brownell, P., & Farley, R. D. (1979b). Prey-localizing behaviour of the nocturnal desert scorpion, *Paruroctonus mesaensis*: orientation to substrate vibrations. *Animal Behaviour*, 27(1), 185–193. [http://doi.org/10.1016/0003-3472\(79\)90138-6](http://doi.org/10.1016/0003-3472(79)90138-6)
- Bub, K., & Bowerman, R. F. (1979). Prey capture by the scorpion *Hadrurus*

- arizonensis* Ewing (Scorpiones: Vaejovidae ). *The Journal of Arachnology*, 7(3), 243–253.
- Camhi, J. M., & Tom, W. (1978). The escape behavior of the cockroach *Periplaneta americana* I. Turning to wind puffs. *Journal of Comparative Physiology*, 128(3), 193–201. <http://doi.org/10.1007/BF00656852>
- Colombo, W. D., & Alencar, I. D. C. C. De. (2014). Etograma do escorpião amarelo *Tityus serrulatus* Lutz & Mello 1922 (Scorpiones: Buthidae), em cativeiro. *Bioscience Journal*, 30(2), 576–581.
- Costa, T. M., & Willemart, R. H. (2013). First experimental evidence that a harvestman (Arachnida: Opiliones) detects odors of non-rotten dead prey by olfaction. *Zoologia (Curitiba)*, 30(3), 359–361. <http://doi.org/10.1590/S1984-46702013000300018>
- Den Otter, C. J. (1973). Setiform sensilla and prey detection in the bird-spider *Sericopelma rubronitens* Ausserer (Araneae, Theraphosidae). *Netherlands Journal of Zoology*, 24(3), 219–235. <http://doi.org/10.1163/002829674X00048>
- Foelix, R. F. (2011). *Biology of spiders*. Oxford University Press.
- Gaffin, D. D., & Brownell, P. H. (1997). Response properties of chemosensory peg sensilla on the pectines of scorpions. *Journal of Comparative Physiology*, 181(3), 291–300.
- Gaskett, A. C. (2007). Spider sex pheromones: emission, reception, structures, and functions. *Biological Reviews*, 82(1), 27–48. <http://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2006.00002.x>
- Hebets, E. A. (2005). Attention-altering signal interactions in the multimodal courtship display of the wolf spider *Schizocosa uetzi*. *Behavioral Ecology*, 16(1), 75–82. <http://doi.org/10.1093/beheco/arh133>
- Hebets, E. A., & Chapman, R. F. (2000). Electrophysiological studies of olfaction in the whip spider *Phrynus parvulus* (Arachnida, Amblypygi). *Journal of Insect Physiology*, 46(11), 1441–1448. [http://doi.org/10.1016/S0022-1910\(00\)00068-8](http://doi.org/10.1016/S0022-1910(00)00068-8)

- Hergenröder, R., & Barth, F. G. (1983). The release of attack and escape behavior by vibratory stimuli in a wandering spider (*Cupiennius salei* keys.). *Journal of Comparative Physiology A*, 152(3), 347–359. <http://doi.org/10.1007/BF00606240>
- Hjelle, J. T. (1990). Anatomy and Morphology. In: Polis, G. A. The biology of scorpions. Stanford University Press, pp. 9-63.
- Hoffmann, C. (1965). Die trichobothrien der skorpione. *Naturwissenschaften*, 52, 436–437. <http://doi.org/10.1063/1.103893>
- Hoshino, K., Moura, A. T. V., & De Paula, H. M. G. (2006). Selection of environmental temperature by the yellow scorpion *Tityus serrulatus* Lutz & Mello, 1922 (Scorpiones, Buthidae). *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases*, 12(1), 59–66. <http://doi.org/10.1590/S1678-91992006000100005>
- Kanou, M., Konishi, A., & Suenaga, R. (2006). Behavioral analyses of wind-evoked escape of the cricket, *Gryllobates sigillatus*. *Zoological Science*, 23(4), 359–364. <http://doi.org/10.2108/zsj.23.359>
- Kanou, M., Ohshima, M., & Inoue, J. (1999). The air-puff evoked escape behavior of the cricket *Gryllus bimaculatus* and its compensational recovery after cercal ablations. *Zoological Science*, 16(1), 71–79. <http://doi.org/10.2108/zsj.16.71>
- Klärner, D., & Barth, F. G. (1982). Vibratory signals and prey capture in orb-weaving spiders (*Zygiella x-notata*, *Nephila clavipes*; Araneidae). *Journal of Comparative Physiology*, 148(4), 445–455. <http://doi.org/10.1007/BF00619783>
- Klopsch, C., Kuhlmann, H. C., & Barth, F. G. (2013). Airflow elicits a spider's jump towards airborne prey. II. Flow characteristics guiding behaviour. *Journal of The Royal Society Interface*, 10(82), 1–11. <http://doi.org/10.1098/rsif.2012.0820>
- Ministério da Saúde. (2009). Manual de Controle de Escorpiões.
- Matthiesen, F. (1962). Parthenogenesis in scorpions. *Evolution*, 16, 255–256.

- McCormick, S. J., & Polis, G. A. (1990). Prey, predators, and parasites. In: Polis, G. A. *The biology of scorpions*. Stanford University Press, pp. 294–320.
- Meßlinger, K. (1987). Fine structure of scorpion trichobothria (Arachnida, Scorpiones). *Zoomorphology*, 107(1), 49–57.
- Mineo, M. F., & Del Claro, K. (2006). Mechanoreceptive function of pectines in the Brazilian yellow scorpion *Tityus serrulatus*: perception of substrate-borne vibrations and prey detection. *Acta Ethologica*, 9(2), 79–85. <http://doi.org/10.1007/s10211-006-0021-7>
- Mineo, M. F., Franco-Assis, G. A., & Del-Claro, K. (2003). Repertório comportamental do escorpião amarelo, *Tityus serrulatus* Lutz & Mello em cativeiro. *Revista Brasileira de Zoociências*, 5(1), 23–31.
- Outeda-Jorge, S., & Pinto-da-Rocha, R. (2010). Corte e aspectos da biologia reprodutiva do escorpião brasileiro *Tityus bahiensis* (Scorpiones: Buthidae). Dissertação.
- Rein, J. (2003). Prey capture behavior in the East African scorpions *Parabuthus leiosoma* (Ehrenberg, 1828) and *P. pallidus* Pocock, 1895 (Scorpiones: Buthidae). *Euscorpius*, 6(1), 1–8.
- Reißland, A., & Görner, P. (1978). Mechanics of trichobothria in orb-weaving spiders (Agelenidae, Araneae). *Journal of Comparative Physiology*, 123(1), 59–69. <http://doi.org/10.1007/BF00657344>
- Reißland, A., & Görner, P. (1985). Trichobothria. In: Barth, F. G. *Neurobiology of arachnids*. Springer, pp. 138–161.
- Santer, R. D., & Hebets, E. A. (2011). Evidence for air movement signals in the agonistic behaviour of a nocturnal arachnid (Order Amblypygi). *Plos One*, 6(8), 1–6. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0022473>
- Santibáñez-López, C., Francke, O., Ureta, C., & Possani, L. (2016). Scorpions from Mexico: from species diversity to venom complexity. *Toxins*, 8(2), 1–18. <http://doi.org/10.3390/toxins8010002>
- Seyfarth, E. (2000). Tactile body raising: neuronal correlates of a “simple”

- behavior in spiders. *Proceedings of the 19th European Colloquium of Arachnology*, 19–32.
- Sitvarin, M. I., Gordon, S. D., Uetz, G. W., & Rypstra, A. L. (2016). The wolf spider *Pardosa milvina* detects predator threat level using only vibratory cues. *Behaviour*, 153(2), 159–173. <http://doi.org/10.1163/1568539X-00003332>
- Stahnke, H. L. (1974). Estimate of the number of taxa the order Scorpionida. *BioScience*, 24(6), 339.
- Stratton, G. E. (1997). A new species of schizocosa from the Southeastern USA (Araneae, Lycosidae). *The Journal of Arachnology*, 25(1), 84–92.
- Stewart, A. K. (2006). Observations on prey-capture behavior of *Androctonus crassicauda* (Olivier, 1807) (Scorpiones: Buthidae) in northern Iraq. *Euscorpius*, (37), 1–9.
- Suter, R. B. (2003). Trichobothrial mediation of an aquatic escape response: directional jumps by the fishing spider, *Dolomedes triton*, foil frog attacks. *Journal of Insect Science*, 3, 19–26.
- Vardi, N., & Camhi, J. M. (1982). Functional recovery from lesions in the escape system of the cockroach I. Behavioral recovery. *Journal of Comparative Physiology*, 146(3), 291–298. <http://doi.org/10.1007/BF00612700>
- Weygoldt, P. (1995). A whip spider that ate rolled oats, with observations on prey-capture behaviour in whip spiders. *Newsletter of British Arachnological Society*, 74, 6–8.
- Williams, D. S. (1979). The feeding behaviour of New Zealand *Dolomedes* species (Araneae: Pisauridae). *New Zealand Journal of Zoology*, 6(1), 95–105. <http://doi.org/10.1080/03014223.1979.10428352>
- Wolf, H. (2008). The pectine organs of the scorpion, *Vaejovis spinigerus*: Structure and (glomerular) central projections. *Arthropod Structure & Development*, 37(1), 67–80. <http://doi.org/10.1016/j.asd.2007.05.003>



## **Conclusão Geral**

Os resultados do primeiro capítulo evidenciaram que *Tityus serrulatus* é uma espécie resistente aos efeitos do jejum e que o período de stress alimentar utilizado não gerou mudanças comportamentais. Isso abre espaço para perguntas como “Qual o limite de tempo que essa espécie consegue permanecer viva sem se alimentar?”, respondendo a essa primeira questão, podemos questionar “Qual limiar de tempo de jejum pode fazer com que essa espécie mude o comportamento?” e “Se o jejum não afeta comportamentos de forrageio, ele poderia afetar outros? Em quais aspectos?”. Dessa forma, os nossos resultados ajudam a refinar experimentos futuros quanto ao tempo de jejum e quanto a variáveis a se medir.

No segundo capítulo, os nossos resultados mostraram que os tricobótrios desta espécie não são essenciais para a captura de presa. Esse resultado foi surpreendente visto que essas cerdas ocorrem somente nos pedipalpos (primeiro apêndice para a captura de presa) de todos os escorpiões, e que trabalhos com outros grupos evidenciam que os tricobótrios são utilizados para captura de presas. Isso fez com que questionássemos “Será que os escorpiões estão utilizando pistas do substrato pra capturar a presa? Se sim, ao testar um substrato que anule as vibrações da presa os escorpiões continuariam a capturar as presas?”, “Será que os tricobótrios são mais importantes com presas que voam?”. Com isso, os nossos resultados contribuem para que trabalhos futuros que investiguem funções dos tricobótrios considerem utilizar outros tipos de substratos e presas.

Com isso, esse trabalho foi importante ao contribuir com dados de comportamentos de forrageio e sobre a ecologia sensorial de Scorpiones, mas esperamos que também seja importante para trabalhos futuros, servindo de base para quem quiser continuar a investigar essas linhas de pesquisas.