



## Varição Intraespecífica em Padrões de Atividade da Abelha-mirim (*Plebeia droryana*)

Palavras-Chave: atividade de voo, sazonalidade, microhabitat, ecologia urbana

**Autores:**

Raquel Bendocchi Alves [UNICAMP]

Prof. Dr. Raul Costa Pereira (orientador) [UNICAMP]

### INTRODUÇÃO

Qualquer ecossistema está sujeito a variações de temperatura no tempo e no espaço. As dinâmicas temporais da temperatura se manifestam em escalas distintas, sejam ao longo de anos ou meses (sazonais) ou mesmo dentro um dia (Pagon, et al., 2013). De modo análogo, variações de temperatura no espaço podem emergir tanto ao longo de grandes gradientes latitudinais e altitudinais, quanto microclimáticos (Begon & Townsend, 2021). Ao variar tanto no tempo, quanto no espaço, a temperatura tem um efeito sobre o desempenho de organismos, o que reverbera na distribuição e abundância de espécies, limitando quando e onde organismos interagem entre si e com determinados recursos. Como consequência, há uma grande diversidade de estratégias em relação à quando (e.g., em que época do ano, em que horário do dia) e onde (e.g., sob o sol ou na sombra) animais realizam suas atividades frente aos desafios térmicos impostos pelo ambiente (Robinson & Baudier, 2024; Cox & Moore, 2011). Entender a relação entre a atividade de organismos, particularmente ectotérmicos, e as variações da temperatura é um objetivo longo de ecólogos, que se torna ainda mais importante em um contexto em que pouco se sabe como as atividades antrópicas, incluindo mudanças climáticas, têm alterado padrões de comportamento em diferentes organismos.

Microhabitats dentro de um mesmo ecossistema podem diferir amplamente das condições ambientais médias, por apresentarem muitas vezes valores mais extremos, como temperaturas mais baixas ou mais elevadas (Kemppinen et al., 2024; Leith et al., 2024). Nesse sentido, ambientes heterogêneos apresentam microclimas com temperaturas bastante variáveis entre microhabitats com propriedades térmicas diferentes, favorecendo ou limitando a presença de espécies nesses locais (Cox & Moore, 2011). Apesar da intensificação dos esforços ao longo das últimas décadas para entender como o macroclima e suas dinâmicas molda a biodiversidade em grandes escalas geográficas, ainda sabemos relativamente pouco sobre como variações microclimáticas (i.e., diferenças nas condições climáticas locais que organismos estão expostos) tanto no tempo quanto no espaço influenciam padrões locais da biodiversidade (de Frenne et al., 2021; Kemppinen et al., 2024).

Ambientes urbanos são altamente heterogêneos em termos microclimáticos (Schwaab et al., 2021; Zekar, et al., 2023). Cidades apresentam grande variação espacial de temperatura em escalas locais por apresentarem materiais e estruturas que diferem substancialmente em suas capacidades de reter ou isolar o calor (e.g., asfalto ou blocos de concreto). Alguns desses substratos de origem antrópica são explorados por organismos que vivem em cidades, como abelhas. De fato, várias espécies de abelhas que se adaptaram à vida em cidades constroem seus ninhos em cavidades de substratos antrópicos (e.g., paredes, telhados) (Aidar et al., 2013). Em um contexto temporal, há grande variabilidade de temperatura em ecossistemas urbanos ao longo do dia (Zekar, et al., 2023), o que, para organismos que são limitados por temperaturas desfavoráveis, pode alterar quando as atividades, como o forrageio, são distribuídas no dia (Robinson & Baudier, 2024). Assim, entender como variações microclimáticas no espaço e no tempo podem influenciar a distribuição e padrões de atividade de organismos dentro de ecossistemas urbanos ainda permanece uma linha de pesquisa pouco explorada (McGlynn et al., 2019; Rivkin et al., 2018).

A heterogeneidade térmica em pequenas escalas espaciais e temporais abre a possibilidade da emergência de variação intraespecífica na temperatura experimentada (Carlson et al., 2021). A diversidade intraespecífica de nicho tem sido estudada principalmente considerando o uso de recursos, negligenciando variação em condições abióticas experimentadas por indivíduos conspecíficos (Costa-Pereira & Shaner, 2024). Enquanto um número cada vez mais expressivo de estudos macroecológicos investigam para diversos taxa como o macroclima influencia grandes padrões geográficos da biodiversidade (McGill, 2018), ainda sabemos muito pouco sobre como indivíduos de uma mesma espécie (ou mesmo uma mesma população) variam na temperatura experimentada, e como isso influencia seu fenótipo e desempenho (Costa-Pereira & Shaner, 2024). Nesse sentido, ainda há uma lacuna evidente em nosso conhecimento sobre como a variabilidade na temperatura experimentada por organismos de uma mesma população (Carlson et al., 2021) reverbera em atividades fundamentais de qualquer animal, como o forrageamento.

Abelhas nativas sem ferrão, em cidades, são um sistema oportuno para se estudar os efeitos da variação espaço-temporal da temperatura sobre a atividade de voo por diferentes motivos. As variações diárias e sazonais de temperatura influenciam tanto o início da atividade de forrageio das abelhas campeiras como podem influenciar a frequência da atividade ao longo do dia e do ano (Silveira *et al.*, 2002). Em especial, as Abelhas-mirim (*Plebeia droryana*), escolhida aqui como modelo de estudo do presente projeto, possuem uma relação bastante particular com a temperatura, já que elas não regulam a temperatura do ninho (Jones & Oldroyd, 2006). Assim, na estação mais fria, abaixo de determinada temperatura, a rainha

interrompe a postura de ovos (i.e., diapausa reprodutiva) e a atividade das campeiras reduz consideravelmente (Santos, *et al.* 2014; 2015). Apesar da temperatura desempenhar um papel importante na atividade e sobrevivência de abelhas (Macías-Macías *et al.*, 2011), poucos estudos avaliam em termos da temperatura local, microclimática, a influência de variações na temperatura do substrato do ninho. Especialmente, em um ambiente urbano onde todos os ninhos de *P. droryana* foram encontrados em construções que recebem incidência solar em diferentes períodos do dia e em diferentes proporções. Então, considerando que as Abelhas-mirim não regulam com precisão a temperatura de seus ninhos, esse efeito do aquecimento do substrato pode gerar variação nos padrões de atividade entre ninhos sazonalmente e diariamente devido ao seu posicionamento no espaço.

Neste projeto estudamos como variações de temperatura no espaço e no tempo influenciam a atividade de voo de Abelhas-mirim em um ecossistema urbano do interior paulista. De modo geral, esperávamos que ninhos de Abelhas-mirim em diferentes microhabitats no campus da Unicamp experimentassem temperaturas distintas e que essas diferenças se amplificassem nos períodos mais quentes do dia e meses mais quentes do ano. Isso porque os ninhos podem variar quanto à duração da exposição solar e/ou quanto ao horário do dia em que tomam sol. Essas alterações diárias e anuais são circunstâncias que podem influenciar em como o substrato esquenta e em como as abelhas respondem a essas flutuações na temperatura. Assim, nossa previsão é que ninhos que possuem maior diferença de temperatura no período da manhã (i.e., esquentam mais rápido) atingem o pico máximo de abelhas por minuto mais cedo do que ninhos que possuem menor variação. Essa previsão se baseia na ideia que a temperatura limita a atividade de abelhas, de modo que ninhos que esquentam mais rápido, ao variarem mais sua temperatura ao longo do dia, conseguem alcançar o máximo de sua atividade antes de ninhos que demoram mais para esquentar. Além disso, como na estação chuvosa as médias diárias de temperatura são mais elevadas esperamos que essa dinâmica seja mais acentuada do que na estação seca.

## MÉTODOS

### *Temperatura dos ninhos*

Em um trabalho anterior mapeamos 23 ninhos de *P. droryana*, dez destes foram selecionados para fazermos campanhas mensais de coleta, nas quais a temperatura do substrato do ninho foi medida três vezes ao dia: (i) 6 h, (ii) 12h e (iii) 18h com uma câmera térmica (*FLIR TG165-X*), coincidindo com o dia que foi feita a filmagem dos ninhos (ver abaixo). Escolhemos usar a temperatura do substrato como medida da temperatura experimentada pelo ninho, porque medir a temperatura de dentro dos ninhos seria um procedimento invasivo e poderia danificar a diminuta estrutura de sua entrada ou ainda estruturas internas dele.

### *Quantificando padrões de atividade dos ninhos*

Medimos a atividade dos dez ninhos selecionados de *P. droryana* com câmeras *timelapse* (*TL2100 Dsoon*) fixadas na parede da construção em que se encontra o ninho. Este equipamento permite fazer vídeos de até 2 minutos em um intervalo de tempo pré-determinado ao longo de 24 h. Então, medimos a atividade dos dez ninhos durante um dia inteiro, gravando vídeos de dois minutos a cada cinquenta minutos (totalizando 29 vídeos por ninho em cada campanha de amostragem por ninho). Fizemos cinco campanhas de amostragem de fevereiro a junho, até o momento de submissão deste resumo. Como não há registros da atividade de Abelhas-mirim durante períodos de escuro, os vídeos gravados a partir da meia noite até às 4 horas e 10 minutos e das 20 horas até às 23 horas e 20 minutos não foram considerados na quantificação da atividade (totalizando, então, 19 vídeos para análise por ninho). Então, analisamos os vídeos e contamos quantas abelhas entraram e saíram por minuto do ninho para usar como métrica de atividade dos ninhos. Correlacionamos o número de entradas e saídas para testar se apenas uma dessas métricas era suficiente para representar atividade ou se havia um descompasso que deveria ser incorporado nos modelos.

### *Análise dos resultados*

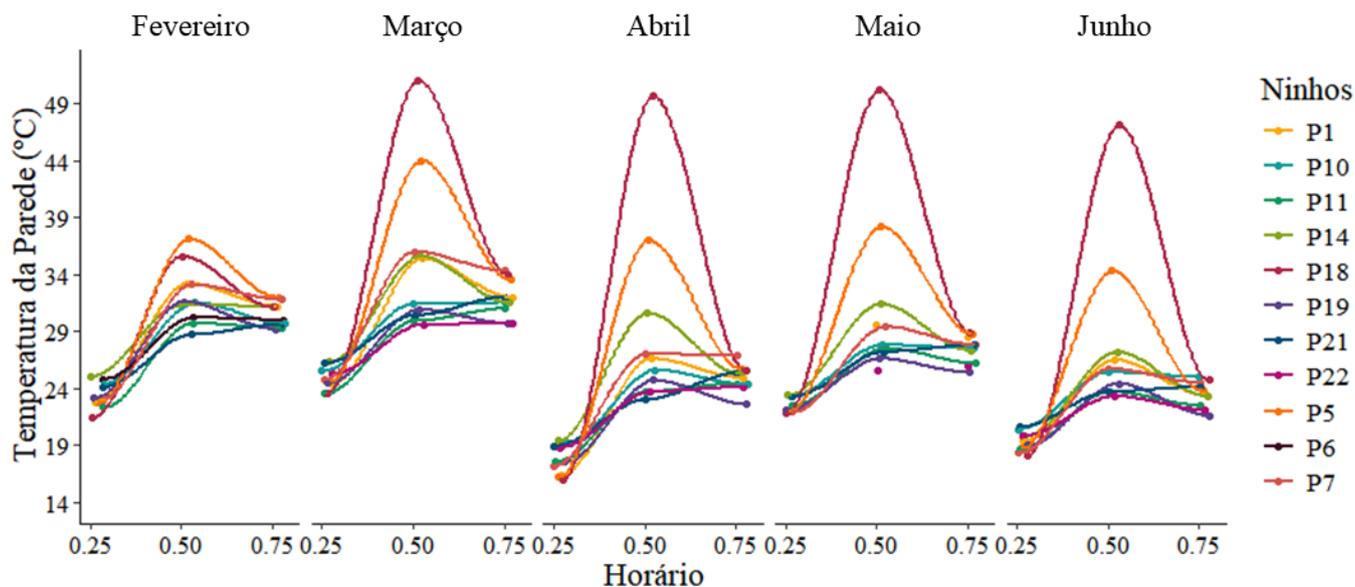
Com os dados das filmagens, primeiro testamos como a atividade de abelhas responde a variações de temperatura dentro do dia e entre estações. Finalmente, testamos se ninhos com maior taxa de aumento de temperatura de manhã atingem o pico máximo de abelhas por minuto mais cedo do que ninhos que possuem menor variação. Para isso, em cada coleta e para cada ninho, calculamos (i) a taxa de aumento de temperatura com base nas medições com a câmera térmica 6h e 12h e (ii) o horário em que o máximo de atividade é alcançada. Como atividade máxima consideramos o número mais alto de entradas e/ou saídas do ninho, se um ninho possuísse mais de um pico, selecionamos o primeiro deles (i.e., o mais cedo) para usar no modelo. Então, construímos GLMMs com a atividade das abelhas como variável resposta, e os seguintes preditores: estação do ano e taxa de aumento da temperatura. A interação entre esses preditores também foi incluída. Novamente, como temos múltiplas medidas por ninho consideradas no modelo, a identidade do ninho foi incluída como variável aleatória. Todas as análises estatísticas serão realizadas no ambiente estatístico R.

## RESULTADOS e DISCUSSÃO

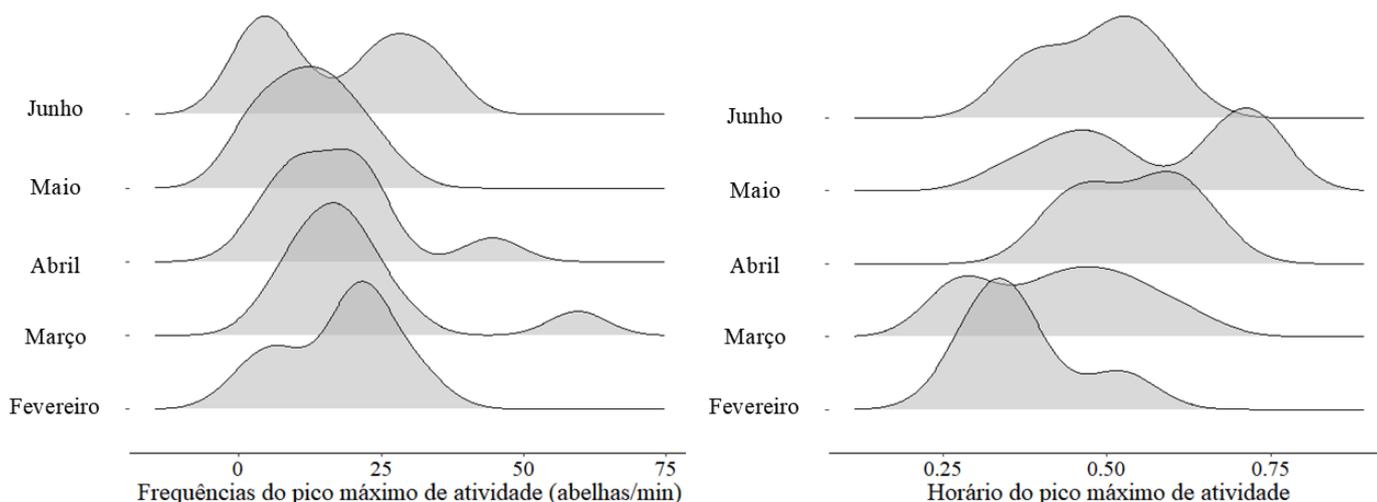
Ao final das coletas de dados, obtivemos 5 meses de amostragem dos 10 ninhos selecionados, totalizando 31 h e 39 min de gravações (do amanhecer ao ocaso, 19 vídeos por campanha de coleta por ponto de amostragem). Encontramos uma correlação forte ( $0,64 \leq R \leq 0,97$ ;  $p$  sempre  $\leq 0,003$ ) entre os valores de atividade para entrada e saída do ninho nas cinco coletas distribuídas nos cinco meses analisados, o que nos fez optar por escolher o número de entradas para as análises deste trabalho.

Quanto a relação entre a temperatura da parede e o horário em que foi medida (Figura 1), os substratos dos ninhos apresentam ampla variação térmica, de 16°C até 51 °C. Observamos que no período da manhã (6h a 7h) e da noite (18h a 19h) houve a menor variação de temperatura entre os ninhos em todos os meses, sendo a temperatura mais amenas nas

manhãs do que no início da noite. Para o começo da tarde (12h a 13h), observamos a maior variação de temperatura da parede entre ninhos, sendo abril o mês mais variável. Em particular, os ninhos P5 e P18 são os que mais acentuam esta variação diária de março a junho. Em março, observamos que os ninhos P1, P7 e P14 também se destacam na variação da temperatura ao meio dia, porém, em abril e maio somente P14 mantém valores mais elevados de temperatura entre 12h e 13h, enquanto P1 e P7 se assemelham com os demais, mantendo uma variação menos acentuada. Esses resultados se alinham com o que esperávamos encontrar em um ambiente urbano termicamente heterogêneo, onde cada ninho está exposto a diferentes proporções de raios solares durante o dia e ao longo do ano. Os ninhos P5 e P18 estão expostos a mais horas de sol do que os restantes, principalmente, no período do fim da manhã e durante a tarde, o que explica sua grande variação observada ao meio-dia. Por outro lado, P1, P7 e P14 são ninhos que tomam sol durante a manhã e/ou variam quanto aos meses que tomam sol, o que reflete a variação térmica encontrada entre meses. A menor variação ao meio-dia para os demais ninhos, pode ser explicada pela presença de elementos do ambiente (e.g., árvores, outras construções) que obstruem a passagem de raios solares. Assim, ambientes heterogêneos, como o campus da Unicamp, proporcionam a existência de variação térmica entre os microhabitats onde cada ninho se encontra, influenciando como os substratos esquentam durante um dia e entre meses.



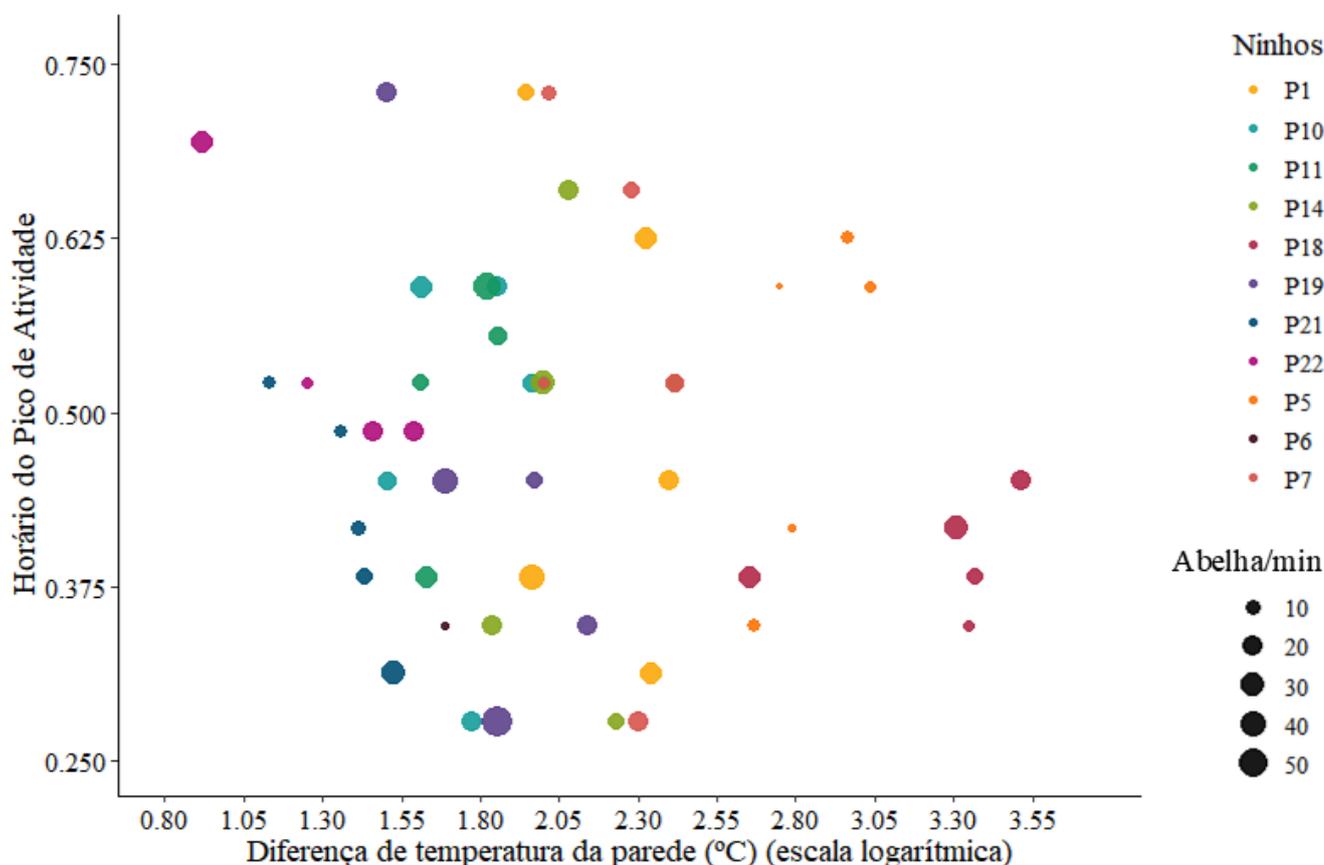
**Figura 1:** Gráfico mostrando a curva de temperatura da parede nos três horários medidos 6h (0,25), 12h (0,5) e 18h (0,75). Podemos observar que ao meio dia temos a maior variação de temperatura, sendo que alguns ninhos possuem maior destaque nessas diferenças. Na legenda do gráfico há 11 ninhos, porque em fevereiro, no lugar do P22, tínhamos o P6 que morreu.



**Figura 2:** Gráficos de densidade mostrando a frequência dos picos máximos de atividade (esquerda) e os horários do pico máximo (direita) durante os cinco meses de amostragem. As horas foram convertidas para valores numéricos de 0 a 1, sendo assim, 0,25 é 6h; 0,50 é 12h e 0,75, é 18h.

Ao longo dos meses, o pico máximo de atividade (entrada de abelhas/minuto) variou bastante (figura 2 - esquerda). A maior parte dos ninhos reduziu a frequência máxima da atividade gradativamente de fevereiro a junho. Porém, alguns ninhos em março e abril tiveram seu pico de atividade bastante elevado (~ 62 e 43 abelhas/min), com situações de até mais de uma abelha entrando no ninho por segundo. Em junho, houve uma divergência maior entre ninhos com pico de atividade

baixo (~ 6,25 abelhas/min) e outros com atividade mais elevada (~ 31 abelhas/min). Em relação ao horário que o pico de atividade ocorre (figura 2 - direita), de maneira geral, existem ninhos que concentram sua atividade no período da manhã e ninhos que possuem pico no período da tarde e isso varia entre meses. Em maio essa divergência foi bastante acentuada, enquanto em março, abril e junho o horário do pico convergiu entre ninhos. Já em fevereiro, a maioria dos ninhos concentrou sua atividade máxima durante a manhã (~ 9h) e alguns durante a tarde (~ 15h). Em termos da frequência da atividade máxima, o resultado observado se alinha com o que esperávamos e com a literatura: ao transitar entre a estação chuvosa e a seca as Abelhas-mirim reduziriam sua atividade (Santos, *et al.* 2014; 2015). Entretanto, nossos resultados sugerem que outros fatores também podem explicar a variação na frequência de atividade, já que observamos ninhos com atividade elevada mesmo em meses da estação seca. Quanto ao horário do pico máximo de atividade, esperávamos que houvesse variação entre os ninhos, pois uma vez que eles tomam proporções desiguais de sol, o substrato alcança temperaturas diferentes, influenciando a atividade das abelhas ao longo do dia. Nossos resultados mostram que existe grande variação quanto a frequência de atividade e ao horário que o primeiro pico de atividade ocorre, sugerindo que cada ninho possui um comportamento particular dentro de um dia e entre meses. Por exemplo, em um mesmo mês, enquanto um ninho alcançou o pico de atividade às 6h e 40min, outro ninho teve máxima atividade às 15h.



**Figura 3:** Gráfico de dispersão da diferença de temperatura da parede entre 12h e 6h e o horário em que ocorre o primeiro pico de atividade. Podemos observar que não há uma correlação entre essas duas variáveis ( $\beta = 0,03$ ;  $x^2 = 0,95$ ;  $p = 0,33$ ), portanto ninhos que possuem maior variação de temperatura no período da manhã não apresentam pico de atividade mais cedo. Ainda assim, existe variação quanto a intensidade da atividade máxima (tamanho dos pontos) e horário do pico (dispersão dos pontos de uma mesma cor). As horas no eixo y foram convertidas para valores numéricos, sendo assim, 0,250 = 6h, 0,375 = 9h, 0,500 = 12h, 0,625 = 15h e 0,750 = 18h.

Em resumo, encontramos que o sistema de estudo apresenta alta variabilidade em termos da (i) temperatura da parede de cada ninho, (ii) da frequência da atividade e (iii) do horário em que a atividade máxima é alcançada, tanto entre ninhos como para um mesmo ninho ao longo do tempo de um dia e de um mês. Por conta disso, usar médias para descrever os comportamentos de atividade de Abelhas-mirim, talvez não seja o melhor caminho para capturar as respostas particulares à variação de temperatura em microescala. Quanto ao teste da nossa predição, encontramos que os ninhos que possuem maior variação de temperatura no período da manhã não apresentam o pico máximo de atividade mais cedo ( $\beta = 0,03$ ;  $x^2 = 0,95$ ;  $p = 0,33$ ) (figura 3). Ou seja, os ninhos que esquentam mais rápido não atingem sua atividade máxima antes, o que sugere que padrões de forrageamento não são regulados pela taxa de aquisição térmica do substrato. Nesse sentido, nossos resultados sugerem que determinantes da imensa variabilidade de atividade tanto intra- quanto inter-ninho são mais complexos do que simplesmente a capacidade de adquirir calor do ninho. Assim, os próximos passos do presente projeto buscarão incorporar uma combinação de variáveis intrínsecas da colônia (e.g., o número de abelhas de cada ninho) e extrínsecas (e.g., temperaturas máximas e mínimas diárias) como preditores para desvendar o que molda padrões de atividade tão distintas entre ninhos e para um mesmo ninho no tempo e no espaço.

## BIBLIOGRAFIA

- Aidar, I. F., Santos, A. O. R., Bartelli, B. F., Martins, G. A., & Nogueira-Ferreira, F. H. (2013). Nesting ecology of stingless bees (Hymenoptera, Meliponina) in urban areas: the importance of afforestation. *Bioscience Journal*, 29(5), 1361–1369. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/18087>
- Begon, M., & Townsend, C. R. (2021). *Ecology*. John Wiley & Sons
- Carlson, B. S., Rotics, S., Nathan, R., Wikelski, M., & Jetz, W. (2021). Individual environmental niches in mobile organisms. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24826-x>
- Costa-Pereira, R., & Pei-Jen Lee Shaner. (2024). The spatiotemporal context of individual specialization in resource use and environmental associations. *Journal of Animal Ecology*, 0, 1–8. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.14090>
- Cox, C. B., & Moore, P. D. (2011). *Biogeografia: Uma abordagem ecológica e evolucionária* (L. F. C. F. da Silva, Trans.; 7a ed.). Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.
- De Frenne, P., Lenoir, J., Luoto, M., Scheffers, B. R., Zellweger, F., Aalto, J., Ashcroft, M. B., Christiansen, D. M., Decocq, G., De Pauw, K., Govaert, S., Greiser, C., Gril, E., Hampe, A., Jucker, T., Klings, D. H., Koelemeijer, I. A., Lembrechts, J. J., Marrec, R., & Meeussen, C. (2021). Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda. *Global Change Biology*, 27(11), 2279–2297. <https://doi.org/10.1111/gcb.15569>
- Dos Santos, C. F., Acosta, A. L., Nunes-Silva, P., Saraiva, A. M., & Blochtein, B. (2015). Climate warming may threaten reproductive diapause of a highly eusocial bee. *Environmental Entomology*, 44(4), 1172–1181. <https://doi.org/10.1093/ee/nvv064>
- Dos Santos, C. F., Nunes-Silva, P., Halinski, R., & Blochtein, B. (2014). Diapause in Stingless Bees (Hymenoptera: Apidae). *Sociobiology*, 61(4). <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v61i4.369-377>
- Jones, J. C., & Oldroyd, B. P. (2006). Nest Thermoregulation in Social Insects. *Advances in Insect Physiology*, 33, 153–191. [https://doi.org/10.1016/s0065-2806\(06\)33003-2](https://doi.org/10.1016/s0065-2806(06)33003-2)
- Kemppinen, J., Lembrechts, J. J., Koenraad Van Meerbeek, Jofre Carnicer, Nathalie Isabelle Chardon, Kardol, P., Lenoir, J., Liu, D., Maclean, I., Pergl, J., Saccone, P., Senior, R. A., Shen, T., Słowińska, S., Vigdis Vandvik, Jonathan von Oppen, Aalto, J., Ayalew, B., Bates, O., & Bertelsmeier, C. (2024). Microclimate, an important part of ecology and biogeography. *Global Ecology and Biogeography*, 33. <https://doi.org/10.1111/geb.13834>
- Macías-Macías, J. O., Quezada-Euán, J. J. G., Contreras-Escareño, F., Tapia-Gonzalez, J. M., Moo-Valle, H., & Ayala, R. (2011). Comparative temperature tolerance in stingless bee species from tropical highlands and lowlands of Mexico and implications for their conservation (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Apidologie*, 42(6), 679–689. <https://doi.org/10.1007/s13592-011-0074-0>
- McGill, B. J. (2018). The what, how and why of doing macroecology. *Global Ecology and Biogeography*, 28(1), 6–17. <https://doi.org/10.1111/geb.12855>
- McGlynn, T. P., Meineke, E. K., Bahlai, C. A., Li, E., Hartop, E. A., Adams, B. J., & Brown, B. V. (2019). Temperature accounts for the biodiversity of a hyperdiverse group of insects in urban Los Angeles. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 286(1912), 20191818. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.1818>
- Pagon, N., Grignolio, S., Pipia, A., Bongio, P., Bertolucci, C., & Apollonio, M. (2013). Seasonal variation of activity patterns in roe deer in a temperate forested area. *Chronobiology International*, 30(6), 772–785. <https://doi.org/10.3109/07420528.2013.765887>
- Rivkin, L. R., Santangelo, J. S., Alberti, M., Aronson, M. F. J., de Keyser, C. W., Diamond, S. E., Fortin, M., Frazee, L. J., Gorton, A. J., Hendry, A. P., Liu, Y., Losos, J. B., MacIvor, J. S., Martin, R. A., McDonnell, M. J., Miles, L. S., Munshi-South, J., Ness, R. W., Newman, A. E. M., & Stothart, M. R. (2018). A roadmap for urban evolutionary ecology. *Evolutionary Applications*, 12(3), 384–398. <https://doi.org/10.1111/eva.12734>
- Robinson, K. M., & Baudier, K. M. (2024). Stingless bee foragers experience more thermally stressful microclimates and have wider thermal tolerance breadths than other worker subcastes. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 12. <https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1405459>
- Schwaab, J., Meier, R., Mussetti, G., Seneviratne, S., Bürgi, C., & Davin, E. L. (2021). The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26768-w>
- Silveira, F. A., Gabriel, & Eduardo. (2002). *Abelhas brasileiras* (1a ed.). Fernando A. Silveira.
- Zekar, A., Milojevic-Dupont, N., Zumwald, M., Wagner, F., & Creutzig, F. (2023). Urban form features determine spatio-temporal variation of ambient temperature: A comparative study of three European cities. *Urban Climate*, 49, 101467. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101467>