



COMO AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PODEM AFETAR A POLINIZAÇÃO NOS TRÓPICOS? EFEITO DA SECA SOBRE A SINALIZAÇÃO QUÍMICA DAS FLORES ÀS ABELHAS

LUAN DA SILVA VITTO; PRISCILA TUNES; ELZA GUIMARÃES

RESUMO

As mudanças climáticas causadas por fatores antropogênicos colocam as plantas sob pressões ambientais que afetam seu modo de vida e ameaçam sua sobrevivência. A polinização é uma interação fundamental para a manutenção das populações vegetais e é essencial para garantir a reprodução da maioria das espécies de plantas. Para que esse processo ocorra, é necessário a atração dos polinizadores, como abelhas. No entanto, com as mudanças nos padrões de precipitação previstas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, em inglês) a comunicação planta-polinizador pode ser afetada, o que pode ter consequências graves para o ecossistema e a economia mundial. O objetivo deste estudo foi avaliar os impactos das mudanças climáticas na comunicação planta-polinizador, utilizando a espécie *Cucurbita pepo* L. var Caserta submetida a diferentes cenários de pluviosidade, sendo eles: i) irrigação diária com a quantidade de água correspondente à pluviosidade média da região (1971-2013); ii) redução de 30% na quantidade de água em relação ao grupo i, seguindo as previsões do IPCC (2021); iii) irrigação diária com uma quantidade de água correspondente à capacidade de campo; iv) seca intensa e posterior irrigação com a quantidade de água correspondente à capacidade de campo. Para as análises, foi feita a contagem diária do número de flores produzidas por planta e uma avaliação preliminar da composição do odor floral de flores masculinas e femininas. Os resultados mostraram que em um cenário de seca extrema seguida de abundância na disponibilidade de água, as plantas produzem menos flores femininas e a composição do odor floral das flores femininas difere das flores masculinas. Isso pode afetar a comunicação planta-polinizador, reduzindo a capacidade de atração de polinizadores e, consequentemente, afetando o sucesso reprodutivo da espécie vegetal. A perda de polinizadores pode afetar diretamente a produtividade agrícola e a segurança alimentar em todo o mundo, além de afetar a biodiversidade e a estabilidade dos ecossistemas.

Palavras-chave: abobrinha; antropoceno; polinizadores; voláteis florais; comunicação floral.

1 INTRODUÇÃO

Publicado em 2021, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, em inglês) traz dados que mostram um aumento na temperatura global e mudança no padrão de precipitação existentes no planeta Terra. Essas alterações se dão principalmente por conta do grande aumento populacional nas últimas décadas, alta produção industrial e consumo desenfreado de combustíveis fósseis (AGUILAR *et al.*, 2009). Isso está afetando diretamente o funcionamento dos ecossistemas terrestres e aquáticos (AGUILAR *et al.*, 2009). Nesse cenário, cientistas cunharam o termo “antropoceno” (STEFFEN e TYSON, 2001), que seria uma nova era geológica iniciada pelas

alterações globais causadas pelos humanos.

Alterações ambientais vistas nessa nova era geológica podem alterar o funcionamento das plantas, como por exemplo sua utilização da água, bem como, a disponibilidade e a forma de produzir recursos especializados, seu crescimento (HÓDAR *et al.* 2004) e ainda a produção de órgãos vegetativos e reprodutivos. Hódar *et al.* (2009) mostram que as alterações ambientais podem afetar também a interação com outros organismos, que em muitos casos são essenciais para a manutenção das espécies vegetais.

Algumas espécies vegetais necessitam de polinizadores para se reproduzirem. O mutualismo de polinização é mediado por sinais florais, como cor e odor (WILLMER, 2011). Para que haja um sucesso reprodutivo das espécies vegetais, essa via de comunicação deve estar ocorrendo entre os agentes envolvidos na polinização (planta e polinizador) (CHITTKA & THOMSON, 2001). As alterações causadas pelos humanos podem impactar diretamente essas relações mutualísticas, levando desde à diminuição do sucesso reprodutivo das plantas até a ruptura das interações entre planta-polinizador (HÓDAR *et al.*, 2009; KNIGHT *et al.*, 2018).

Os impactos das mudanças climáticas sobre a interação das espécies vegetais e seus polinizadores podem também afetar diretamente a produção agrícola mundial (KLEIN *et al.*, 2007; GARIBALDI *et al.*, 2013), uma vez que essa relação é essencial para a produção de melhores frutos e sementes, que também pode ocorrer em maior número, garantir a diversidade genética das espécies e por fim melhorar a segurança alimentar de populações mais vulneráveis (WOLOWSKI *et al.*, 2019). Além disso, 3/4 da produção de alimentos no Brasil advém, direta ou indiretamente, da polinização, em especial da polinização por abelhas (WOLOWSKI *et al.* 2019). No mundo esse número chega à 1/3 (KLEIN *et al.*, 2007).

Visto isso, o seguinte trabalho busca compreender como as alterações climáticas, em especial as mudanças nos padrões de precipitação, impactam a quantidade de flores produzidas e a produção de odores florais, o que pode ter efeito direto sobre a comunicação planta-polinizador.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A espécie escolhida para o estudo foi *Cucurbita pepo* L. var Caserta. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação na UNESP – Botucatu, utilizando sacos de cultivo de 6 L com 1,67 Kg de substrato Carolina Soil® e adubados com 4 g de Superfosfato simples, 4 g de Termofosfato Master, 1 g de KCl e 1,5 g de Nitrato de amônio. As plantas foram irrigadas com capacidade de campo até a abertura completa da primeira folha.

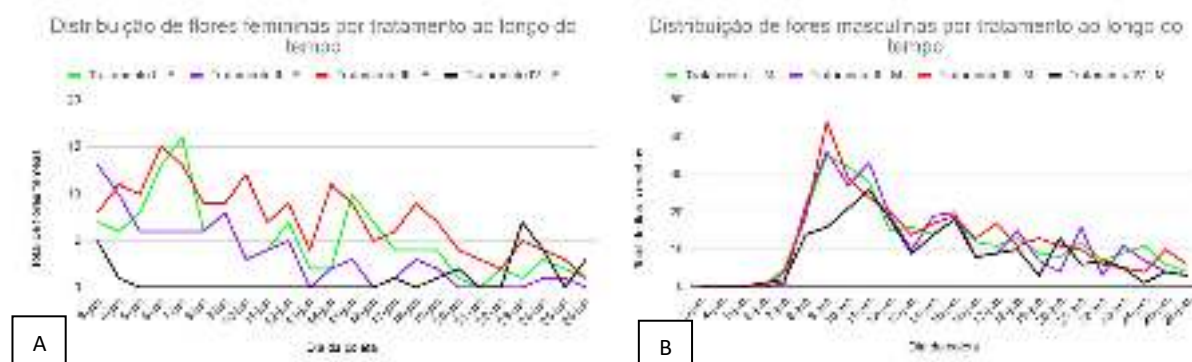
Foram designadas aleatoriamente 120 plantas a um de 4 tratamentos, sendo que cada tratamento tinha n = 30 indivíduos. Os tratamentos foram i) Controle I: em que as plantas foram irrigadas diariamente com 177 mL de água correspondendo à pluviosidade média da região no mês de setembro (1971-2013), obtida através de dados da Estação Meteorológica da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, Campus de Botucatu-SP; ii) Tratamento seca I: as plantas foram irrigadas diariamente com 124 mL de água, seguindo a previsão de redução de 30% no regime de chuvas, previsto pelo IPCC (2021) para a região, aplicando o valor sobre a quantidade de água do tratamento i; iii) Controle II: as plantas foram irrigadas diariamente com 278 mL de água, seguindo o valor da capacidade de campo, previamente calculada pela média de 40 sacos de plantas do experimento; iv) Tratamento de seca II: as plantas não foram irrigadas até apresentarem sinais de murcha, quando os sinais apareciam, eram irrigadas com o valor da capacidade de campo (278 mL), promovendo um cenário de seca extrema com posterior precipitação abundante.

Diariamente foi feita a contagem de flores masculinas e femininas totalmente abertas. Além disso, a coleta dos Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) foi feita de uma flor feminina e uma masculina totalmente aberta por planta, seguindo o protocolo de Dötterl *et al.* (2005).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

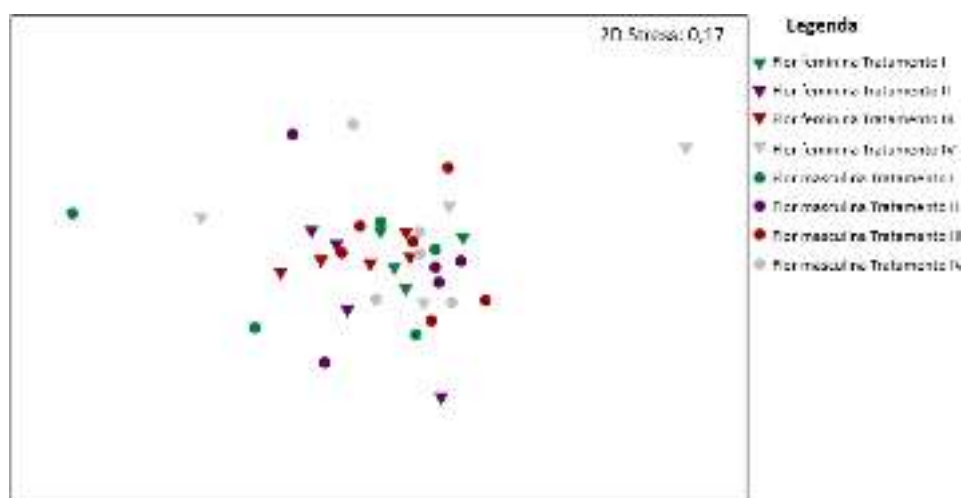
Considerando as análises do número de flores, não houve diferença significativa entre a quantidade de flores femininas produzidas diariamente nos tratamentos I e II e também entre os tratamentos I e III ($p > 0,05$), no tratamento IV houve uma produção de menos flores femininas por dia ($p < 0,05$; Fig. 1A). Com relação a quantidade de flores masculinas não foi observada diferença significativa na quantidade diária de flores abertas ($p > 0,05$; Fig. 1B).

Fig.1-Flores produzidas por tratamento ao longo do tempo. (A) Flores femininas; (B) flores masculinas



A partir deste experimento obtivemos dados preliminares sobre a composição relativa dos voláteis florais de *C. pepo*. Até o momento, registramos um total de 160 compostos diferentes emitidos pelas flores masculinas e femininas de *C. pepo*, o que será confirmado a partir de estudos futuros mais detalhados. Foi observado que há um efeito significativo da interação entre órgão (flor masculina, flor feminina, folha) e tratamento (Pseudo-F = 1,3396; $p = 0,0225$; Tab. 1). Sendo que os voláteis emitidos por flores masculinas e femininas de plantas submetidas ao tratamento IV, simulando um cenário de seca extrema, diferiram estatisticamente em sua composição ($t = 1,3378$; $p = 0,0236$; Fig. 2), enquanto as flores femininas e masculinas das plantas submetidas aos outros tratamentos não diferiram entre si.

Fig. 2- NMDS ilustrando a diferença entre a composição relativa de COVs de flores femininas e masculinas de plantas submetidas aos quatro tratamentos. Imagem produzida no Primer



Foi observada no estudo uma redução da quantidade de flores femininas produzidas no tratamento que simula um evento de seca extrema com posterior abundância de água (tratamento iv). Isso pode estar relacionado ao fato de que as flores femininas possuem ovário carnoso e bem desenvolvido, o que aumenta a demanda de água para o seu desenvolvimento (KAUFMANN, 1972; KLOSOWSKI, *et al.*, 1999). Quando reduzimos a disponibilidade de água das plantas, a produção de flores sofre alterações pois há um acúmulo rápido de água nos tecidos para a formação posterior dos frutos (KAUFMANN, 1972), levando a alterações na especialização celular nos botões florais femininos (KAUFMANN, 1972; COCUCCI, *et al.*, 1976).

Com relação a produção de odores foi observado alteração na composição dos COVs emitidos pelas flores masculinas e femininas em um dos tratamentos. Quando levamos em conta a interação animal-planta, os odores florais são importantes pois funcionam como pistas para os animais encontrarem os recursos disponíveis nos organismos vegetais (WILLIAM, 1983; DOBSON, *et al.*, 1990), servindo como escolha de forrageamento (CHITTKA *et al.* 1999) e para as plantas zoófilas, sendo essencial para a reprodução (RAGUSO, 2008).

A composição desses odores é específica de cada espécie e qualquer alteração, seja na quantidade ou na composição, pode afetar a interação com o polinizador (RAGUSO, 2008; CAMPBELL *et al.*, 2019). A emissão desse arranjo de odores pode variar por fatores ambientais abióticos, como por exemplo a disponibilidade de água no solo, causando impactos na interação animal-planta (BURKLE & RUNYON, 2016; GLENNY *et al.*, 2018), podendo em alguns casos levar ao afastamento dos polinizadores (GLENNY *et al.*, 2018; CAMPBELL *et al.*, 2019). A espécie em estudo emite alguns compostos como o 1,4-dimetoxibenzeno e o linalool (GRANERO *et al.*, 2005) sendo que esse último, também encontrado em nosso estudo é utilizado para o forrageamento por abelhas (HENNING *et al.*, 1992; LALOI *et al.*, (1999).

4 CONCLUSÃO

Sendo *Cucurbita pepo* L. uma espécie que possui flores masculinas e femininas, de modo que se faz necessária a visitação do polinizador às flores dos dois sexos para a reprodução bem sucedida, qualquer alteração que ocorra na quantidade de flores produzidas ou na composição e na quantidade de compostos voláteis emitidos, pode afetar essa relação, diminuindo ou cessando a visitação de polinizadores.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, R.; ASHWORTH, L.; CAGNOLO, L.; JAUSORO, M.; QUESADA, M.; GALETTO, L. Dinámica de interacciones mutualistas y antagonistas. *In*: MEDEL, R.; AIZEN, M. A.; ZAMORA, R. (ed). **Ecología y evolución de interacciones planta-animal**. 1. ed. Santiago do Chile: Editorial Universitaria, 2009. p. 199-232.
- BURKLE, L. A.; RUNYON, J. B. Drought and leaf herbivory influence floral volatiles and pollinator attraction. **Global Change Biology**, v. 22, n. 4, p. 1644-1654, 2016. doi: 10.1111/gcb.13149
- CAMPBELL, D. R.; SOSENSKI, P.; RAGUSO, R. A. Phenotypic plasticity of floral volatiles in response to increasing drought stress. **Annals of Botany**, v. 123, n. 4, p. 601-610, 2019. doi: 10.1093/aob/mcy193
- CHITTKA, L.; THOMSON, J. D. **Cognitive ecology of pollination: animal behavior and floral evolution**. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- CHITTKA, L.; THOMSON, J. D.; WASER, N. M.; Flower constancy, insect physiology and

plant evolution. **Naturwissenschaften**, v. 86, n.1, p. 361-377, 1999. doi:
10.1007/s001140050636

COCUCCI S.; COCUCCI, M.; TRECCANI, C. P. Effect of water deficit on the growth of squash fruit. *Physiol Plantarum*. **Physiologia Plantarum**, v. 36, n. 4, p. 379-382, 1976. doi: 10.1111/j.1399-3054.1976.tb02260.x

DOBSON, H. E. M.; BERGSTRÖM, G.; GROTH, I. Differences in fragrance chemistry between flower parts of *Rosa Rugosa* Thunb. (*Rosaceae*). **Israel Journal of Botany**, v. 39, n. 1-2, p.143-156, 1990

DÖTTERL, S., WOLFE, L. M.; JÜRGENS, A. Qualitative and quantitative analyses of flower scent in *Silene latifolia*. **Phytochemistry**, v. 66, n. 2, p. 203-213, 2005. doi: 10.1016/j.phytochem.2004.12.002

GARIBALDI, L. A.; STEFFAN-DEWENTER, I.; WINFREE, R.; AIZEN, M. A.; BOMMARCO, R.; CUNNINGHAM, S. A.; BARTOMEUS, I. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honeybee abundance. **Science**, v. 339, n. 6127, p. 1608-1611, 2013. doi: 10.1126/science.1230200

GLENNY, W. R.; RUNYON, J. B.; BURKLE, L. A. Drought and increased CO₂ alter floral visual and olfactory traits with context-dependent effects on pollinator visitation. **New Phytologist**, v. 220, n. 3, p. 785-798, 2018. doi: 10.1111/nph.15081

GRANERO, M. A.; GONZALEZ, F. J. E.; SANZ, J. M. G.; VIDAL, J. L. M.; Analysis of biogenic volatile organic compounds in zucchini flowers: identification of scent sources. **Journal of Chemical Ecology**, v. 31, n. 10, p. 2309-2322, 2005. doi: 10.1007/s10886-005-7103-2

HENNING, J. A.; PENG, Y.; MONTAGUE, M. A.; TEUBER, L. R. Honey bee (Hymenoptera: *Apidae*) behavioral response to *Primary alfalfa* (Rosales: *Fabaceae*) floral volatiles. **Journal of Economic Entomology**, v. 85, n. 1, p. 233-239, 1992. doi: 10.1093/jee/85.1.233

HÓDAR, J. A.; ZAMORA, R.; PEÑUELAS, J. El efecto Del cambio global en las interacciones planta-animal. In: VALLADARES, F. (ed) **Ecología del bosque mediterráneo em um mundo cambiante**. 1. ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2004. p. 461-478.

HÓDAR, J. A.; OBESO, J. R.; ZAMORA, R. Cambio climático y modificacion de interacciones plant-animal. In: MEDEL, R.; AIZEN, M. A.; ZAMORA, R. (ed) **Ecología y evolución de interacciones planta-animal**. 1. ed. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, 2009. p. 87-299.

IPCC AR6 WG1. Summary for policymakers. In: **Possible climate futures**. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

KAUFMANN, M. R. Water deficits and reproductive growth. In: KOZLOWSKI, T. T. (ed) **Water deficits and plant growth**. 1. ed. New York: Academic Press, 1972. p. 91-124.

KLEIN A. M.; VAISSIERE B. E.; CANE J.H.; STEFFAN-DEWENTER I.;

CUNNINGHAM, S.A.; KREMEN, C, TSCHARNTKE, T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of Royal Society B**, v. 247, n. 1608, p. 303-313, 2007. doi: 10.1098/rspb.2006.3721

KLOSOWSKI, E. S.; LUNARDI, D. M. C.; SANDANIELO, A. Determinação do consumo de água e do coeficiente de cultura da abóbora na região de Botucatu, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 409-412, 1999. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi. v3n3p409-412

KNIGHT, T. M.; ASHMAN, R. L.; BENNETT, J. M.; BURNS, J.H.; PASSONNEAU, S. S.; STEETS, J. A. Reflections on, and visions for, the changing field of pollination ecology. **Ecology Letters**, v. 21, n. 1, p. 1282-1295, 2018. doi: 10.1111/ele.13094

LALOI, D.; SANDOZ, J.; PICARD-NIZOU, A. L.; MARCHESI, A.; POUVREAU, A.; TASÉI, J. N.; POPPY, G. M.; PHAM-DELÈGUE, M. H. Olfactory conditioning of the proboscis extension in bumble bees. **Entomologia Experimentalis Applicata**, v. 90, n. 2, p. 123-129, 1999. doi: 10.1046/j.1570-7458.1999.00430.x

RAGUSO, R. A. Wake up and smell the roses: The Ecology and evolution of floral scent. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 39, n. 1, p. 549-569, 2008. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095601

STEFFEN, W.; TYSON, P. The Anthropocene era. *In*: STEFFEN, W.; SANDERSON, R. A.; TYSON, P. D.; JÄGER, J.; MATSON, P. A.; MOORE, III. B.; OLDFIELD, F.; RICHARDSON, K.; SCHELLNHUBER, H.; TURNER, B. L.; WASSON, R. J. (ed) **Global change and the earth system: A planet under pressure**. 4. ed. Stockholm: IGBP Science, 2001. p. 81-141.

WILLIAM, N. H. Floral fragrances as cues in animal behaviour. *In*: JONES, C. E.; LITTLE, R. J. (ed). **Handbook of experimental pollination biology**. 1. ed. New York: Academic Press, 1983, p. 50-72.

WOLOWSKI, M.; AGOSTINI, K.; RECH, A. R.; VARASSIN, I.G.; MAUÉS, M. FREITAS, L. CARNEIRO, L. T.; BUENO, R. O.; CONSOLARO, H.; CARVALHEIRO, L.; SARAIVA, A. M.; SILVA, C. I.; **Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção agrícola no Brasil. Plataforma brasileira de biodiversidade e serviços ecossistêmicos (BPBES)**. 1. ed. São Carlos: Editora Cubo, 2019.