

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 01/03/2025.



unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



Respostas estruturais e fisiológicas de espécies de Solanaceae com folhas glabras e pilosas à aplicação de imidacloprido

JUAN DE NICOLAI

Tese apresentada ao Instituto de Biociências, Câmpus de Botucatu, UNESP, para obtenção do título de Doutor no Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal Interunidades Botucatu/Rio Claro. AC: Morfologia e Diversidade Vegetal.

BOTUCATU - SP

2023

**Respostas estruturais e fisiológicas de espécies de Solanaceae com
folhas glabras e pilosas à aplicação de imidacloprido**

JUAN DE NICOLAI

PROF^a DR^a TATIANE MARIA RODRIGUES

ORIENTADORA

PROF^a DR^a ELIZABETH ORIKA ONO

COORIENTADORA

Tese apresentada ao Instituto de Biociências,
Câmpus de Botucatu, UNESP, para obtenção
do título de Doutor no Programa de Pós-
graduação em Biologia Vegetal
Interunidades Botucatu/Rio Claro. AC:
Morfologia e Diversidade Vegetal.

BOTUCATU – SP

2023

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÊC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Nicolai, Juan de.

Respostas estruturais e fisiológicas de espécies de Solanaceae com folhas glabras e pilosas à aplicação de imidacloprido / Juan de Nicolai. - Botucatu, 2023

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Tatiane Maria Rodrigues

Coorientador: Elizabeth Orika Ono

Capes: 20302037

1. Solanaceae. 2. Plantas - Efeito dos inseticidas.
3. Inseticidas. 4. Molhabilidade. 5. Fisiologia vegetal.
6. Anatomia vegetal.

Palavras-chave: Absorção foliar; Anatomia; Fisiologia; Inseticida; Molhabilidade.

Dedicatória

Àqueles que estão sempre comigo, me apoiando e inspirando:

Minha mãe, Fernanda;
Meus avós, Isilda e Hildo;
Meus tios, Rodrigo e Hildo.
Meu primo, Bernardo.
Meu companheiro, Lucas.

Amo vocês!

Agradecimentos

Ao **Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq)** pela bolsa de doutorado concedida.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001**, pelo apoio financeiro.

À **Profa. Dra. Tatiane Maria Rodrigues**, pelos 10 anos de orientação, por toda confiança depositada em mim, por me auxiliar em minha carreira científica e sempre estar disposta a me ajudar e me manter no foco.

Aos amigos e amigas **Francielle Mosele, Jéssica Silvino, Larissa Vasque, Mayra Vasque, João Vasque, Gustavo Rodrigues, Gabriela Pimentel, Leide Melo, Yasmin Fagali, William Xavier** por compartilhar diversos momentos, risadas e a vida.

Aos **Técnicos e Colaboradores do Departamento de Botânica**, pelo convívio e por sempre estarem dispostos a auxiliar.

Aos meus colegas de laboratório, **Aline Rodrigues, Ana Paula Tachevski, Diana Pacheco Seixas, Fernanda Helena Palermo, Karise Mamede Macedo, Karla Bianca de Deus Bento, Paloma Victor, Paulo Antônio Gonçalves de Jesus, Shelly Favorito, Stefany Cristina de Melo Silva, Zoraide Valério**, agradeço pelo convívio, compartilhamento diário, ensinamentos, por me auxiliarem quando precisei e por me encorajarem.

Aos colegas do **Departamento de Botânica** pelas risadas, experiências.

À **Profa. Dra. Regiane Cristina de Oliveira** pelas dicas para instalação do experimento e por fornecer o inseticida utilizado no projeto.

À **Profa. Dra. Elizabeth Orika Ono** e os alunos do Laboratório de Fisiologia Vegetal, **Francisco Gilvan Borges Junior, Eduardo Aires, Isabelly Marques** por disponibilizar o laboratório e auxiliar com as análises bioquímicas e fisiológicas.

Ao **Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva** e sua orientada **Hariane Luis Santos**, do Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura (LECA), por emprestar o equipamento IRGA e auxílio nas análises fisiológicas.

Ao **Prof. Dr. Fernando Putti** pelo auxílio com as análises e interpretações estatísticas.

À equipe do **Centro de Microscopia Eletrônica, IBB, UNESP** pela assistência e processamento do material.

À todas as pessoas que de alguma forma estiveram presentes na minha vida ao longo desses 10 anos que saí de casa para realizar meus sonhos.

E a todos que de alguma forma colaboraram com a realização deste trabalho,

Meu mais sincero obrigado!

Sumário

| | |
|--|-----------|
| Introdução Geral | 8 |
| Objetivo geral | 12 |
| Referências Bibliográficas..... | 12 |
| Investigação das respostas estruturais e funcionais em espécies de Solanaceae com folhas glabras e pilosas submetidas à aplicação de imidacloprido..... | 20 |
| Introdução | 20 |
| Material e Métodos | 21 |
| Resultados | 27 |
| Discussão | 33 |
| Referências Bibliográficas | 38 |
| Figuras e Gráficos | 46 |
| Considerações Gerais | 56 |

NICOLAI, J. **Respostas estruturais e fisiológicas de espécies de Solanaceae com folhas glabras e pilosas à aplicação de imidacloprido**. 2023. 56pp. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

Resumo – O imidacloprido (IMI) é o inseticida neonicotinoide mais utilizado nas lavouras para o controle de pragas no Brasil. Estudos têm demonstrado que a aplicação de inseticidas pode levar a alterações em aspectos estruturais e funcionais em diferentes espécies vegetais e que a taxa de absorção foliar dessas substâncias está relacionada a características micromorfológicas da superfície das folhas. Este trabalho teve como objetivo investigar as respostas anatômicas, fisiológicas e bioquímicas à aplicação de IMI em *Capsicum annuum* que apresenta folhas glabras e *Solanum aethiopicum* que apresenta folhas pilosas, ambas pertencentes à Solanaceae. IMI foi aplicado por meio de pulverização foliar. Testes de absorção foliar e de molhabilidade foram aplicados. Foram realizadas análises de trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, atividade das enzimas peroxidase e superóxido dismutase e de peroxidação lipídica. Análises morfométricas do limbo foliar foram realizadas ao microscópio de luz. 3,3-diaminobenzidina (DAB) foi utilizado para marcação *in situ* de espécies reativas de oxigênio (ERO). Ambas as espécies apresentaram folhas anfistomáticas revestidas por epiderme unisseriada com células cobertas por cutícula lisa e delgada. Em *C. annuum* as folhas apresentaram relevo irregular formando áreas de depressão na superfície do limbo. As folhas de *S. aethiopicum* se mostraram não-molháveis enquanto as folhas de *C. annuum* foram classificadas como molháveis. Em ambas as espécies, folhas de plantas tratadas com IMI apresentaram maior espessura do mesofilo e marcação mais intensa de ERO. Indivíduos de *C. annuum* submetidos à aplicação de IMI apresentaram alterações mais severas em aspectos fisiológicos e bioquímicos em comparação com indivíduos de *S. aethiopicum*, especialmente quanto a taxa de assimilação de CO₂, condutância estomática, taxa de transpiração e eficiência instantânea de carboxilação, além de terem apresentado alterações estruturais bastante evidentes como a maior sinuosidade no contorno das células do parênquima paliçádico e aumento da área ocupada por espaços intercelulares no parênquima esponjoso. As alterações mais pronunciadas nos aspectos funcionais e estruturais de *C. annuum* em resposta à aplicação de IMI podem estar associadas à sua maior molhabilidade e provável maior absorção de IMI.

Palavras-chave: absorção foliar, anatomia, fisiologia, inseticida, molhabilidade, superfície foliar, tricomas.

NICOLAI, J. **Structural and physiological responses of Solanaceae species with glabrous and hairy leaves to imidacloprid application.** 2023. 56pp. PhD Thesis – Biosciences Institute, UNESP – São Paulo State University, Botucatu.

Abstract - Imidacloprid (IMI) is the most used neonicotinoid insecticide for controlling crop pests in Brazil. Studies have shown that insecticide application could change structural and functional aspects in different plant species, and the foliar absorption rates of substances are related to micromorphological traits of the leaf surface. This study aimed to investigate the anatomical, physiological and biochemical responses to IMI application in *Capsicum annuum* with glabrous leaves, and *Solanum aethiopicum* with hairy leaves, both belonging to Solanaceae. IMI was applied by leaf pulverization. Leaf absorption and wettability tests were performed. Analyses of gas exchange, chlorophyll *a* fluorescence, activity of peroxidase and superoxide dismutase enzymes, lipid peroxidation were performed. Morphometric analyses of leaf blades were performed under light microscopy. 3,3-diaminobenzidina (DAB) was used *for in situ* detection of reactive oxygen species (ROS). Both species showed amphistomatic leaves covered by a uniseriate epidermis with cells covered by thin and smooth cuticle. In *C. annuum* the leaves showed irregular surface forming depression areas. *S. aethiopicum* leaves were non-wettable while *C. annuum* leaves was classified as wettable. In both species, leaves of plants treated with IMI showed higher mesophyll thickness and more intense marking of ROS. *C. annuum* plants submitted to IMI application showed more severe alterations in physiological and biochemical aspects in comparison with *S. aethiopicum*, specially in terms of CO₂ assimilation rate, stomatal conductance, transpiration rate, and instant carboxylation efficiency, in addition to presented evident structural alterations as greater sinuosity on palisade parenchyma cell shape and increased are occupied by intercellular spaces in the spongy parenchyma. The most pronounced alterations in functional and structural aspects of *C. annuum* in response to IMI application could be associated to the highest wettability of their leaves and possible higher IMI absorption.

Key words: anatomy, foliar absorption, insecticide, leaf surface, physiology, trichomes, wettability.

características físico-químicas da cutícula podem ou não favorecer a aderência das gotas de diferentes substâncias na superfície foliar (Fernández et al. 2017); ainda, o pH da substância aplicada pode influenciar no transporte de água e solutos através da parede celular ou da cutícula (Aponte and Baur 2018).

Solanaceae é uma das famílias de angiospermas de maior importância econômica do mundo, principalmente devido à produção de alimentos, apresentando espécies como tomate, batata, pimentão, berinjela, jiló, dentre outras; além disso, muitas espécies da família, como por exemplo o tabaco, são utilizadas na produção de fármacos e drogas, sendo grandes produtoras de alcalóides (Chowánski et al. 2016). Inclui cerca de 100 gêneros e mais de 2500 espécies de diferentes hábitos (Motti 2021), sendo que a maioria delas apresenta flores vistosas e hermafroditas e frutos do tipo baga ou cápsula. Na maioria de seus representantes, as folhas são simples, alternas, lobadas ou partidas, sésseis ou pecioladas, desprovidas de estípulas, podendo ser glabras ou pilosas (Parrini et al. 2017). A aplicação de imidacloprido em culturas de diferentes espécies de Solanaceae tem sido uma prática comum no Brasil (MAPA - 2023).

Assim, este trabalho teve como objetivo investigar as respostas anatômicas, fisiológicas e bioquímicas à aplicação foliar do imidacloprido em espécies de Solanaceae com folhas glabras e pilosas. Nossa hipótese foi que espécies com folhas glabras apresentariam-se molháveis e conseqüentemente apresentariam alterações estruturais e funcionais à aplicação do IMI.

Referências Bibliográficas

AGROFIT: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. MAPA/Brasil/Brasília/DF <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/AGROFIT.html> Acesso em: 08.11.2022.

Antonious, G.F., Snyder, J.C. 1993. Trichome density and pesticide retention and half-life. **Journal of Environmental Science and Health**, **28**: 205-219.

Aponte, J., Baur, P. 2018. The role of pH for ionic solute uptake by the non-aerial hypocotyl of mung bean plants. **Journal of Plant Diseases and Protection**, **125**: 433–442.

Araujo, W.L. 2015. **Toxicidade de neonicotinoides sobre abelhas (*Apis mellifera*)**. Dissertação de Mestrado – UFCG/PB. 49pp.

Aryal, B., Neuner, G. 2010. Leaf wettability decreases along an extreme altitudinal gradient. **Oecologia**, **162**: 1.

Azevedo, C.F., Bruno, R.D.L.A., Quirino, Z.G.M. 2014. Anatomia de plântulas de erva doce (*Foeniculum vulgare* Mill.) sob efeito de inseticida. **Revista Biociências**, **20**: 63-71.

Baptista, G.C. 1999. **Curso de proteção de plantas: toxicologia, meio ambiente e legislação**. Brasília/DF – ABEAS. 33pp.

Barros, G. 2008. Brazil: the challenges in becoming an agricultural superpower. In *Brazil as an Economic Superpower? Understanding Brazil's Changing Role in the Global Economy*. Edited by Lael Brainard L, Martinez-Diaz L. Washington, D.C.:Brookings Institution Press; 2-35.

Ben-Asher, J., Alpert, P., Ben-Zvi, A. 2010. Dew is a major factor affecting vegetation water use efficiency rather than a source of water in the eastern Mediterranean area. **Water Resources Research**, **46**.

Berry, Z.C., Emery, N.C., Gotsch, S.G., Goldsmith, G.R. 2019. Foliar wateruptake: processes, pathways, and integration into plant water budgets. **Plant, Cell and Environment**, **42**:410-423.

Bradley, D.J., Gilbert, G.S., Parker, I.M. 2003. Susceptibility of clover species to fungal infection: the interaction of leaf surface traits and environment. **American Journal of Botany**, **90**: 857-864.

Brewer, C.A., Smith, W.K.,Vogelmann, T.C. 1991. Functional interaction between leaf trichomes, leaf wettability and the optical properties of water droplets. **Plant, Cell and Environment**, **14**: 955-962.

Casida, J.E. 2011. Neonicotinoid Metabolism: Compounds, Substituents, Pathways, Enzymes, Organisms, and Relevance. **Journal of Acricultural and Food Chemistry**, **59**: 2923-2931.

Castellanos, N.L., Ferreira-Filho, N.A., Rodrigues, H.S., Martínez, L.C., Serrão, J.E., Oliveira, E.E. 2021. Imidacloprid-mediated alterations on the salivary glands of the Neotropical brown stink bug, *Euschistus heros*. **Ecotoxicology**, **30**: 678-688.

Chaddad, F.R, Jank, M.S. 2006. The evolution of agricultural policies and agribusiness development in Brazil. **Choices**, **21**:85-90.

Chowański, S., Adamski, Z., Marciniak, P., Rosiński, G., Büyükgüzel, E., Büyükgüzel, K., Bufo, S. 2016. A Review of Bioinsecticidal Activity of Solanaceae Alkaloids. **Toxins**, **8**: 60.

Cimino, A.M.; Boyles, A.L.; Thayer, K.A.; Perry, M.J. 2017. Effects of Neonicotinoid Pesticide Exposure on Human Health: A Systematic Review. **Environment Health Perspectives**, **125**:155–162.

Cone, I.V., Blazier, M.A., Adams, J.P., Sayer, M.A.S., Tyree, M.C. 2022. Effect of the Systemic Neonicotinoid Insecticide Dinotefuran on Leaf-level Photosynthesis in Loblolly Pine (*Pinus taeda*). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**: 1-6.

Coskun, Y., Kilic, S., Duran, R.E. 2015. The effects of the insecticide pyriproxyfen on germination, development, and growth responses of maize seedlings. **Fresenius Environment Bulletin**, **24**: 278-284.

Çavuşoğlu, K., Yalçın, E., Türkmen, Z., Yapar, K., Sağır, S. 2012. Physiological, anatomical, biochemical, and cytogenetic effects of thiamethoxam treatment on *Allium cepa* (amaryllidaceae) L. **Environmental Toxicology**, **27**: 635-643.

Diaz-Espejo, A., Cuevas, M.V., Ribas-Carbo, M., Flexas, J., Martorell, S., Fernández, J.E. 2012. The effect of strobilurins on leaf gas exchange, water use efficiency and ABA content in grapevine under field conditions. **Journal of Plant Physiology**, **169**: 379-386.

Dickinson, W.C. 2000. **Integrative plant anatomy**. Academic Press.

Edwards, C.A. 1975. **Factors that affect the persistence of pesticides in plants and soils**. Environmental pollution by pesticides. Plenum Press – London and New York. 541pp.

Eller, C.B., Lima, A.L., Oliveira, R.S. 2013. Foliar uptake of fog water and transport belowground alleviates drought effects in the cloud forest tree species, *Drimys brasiliensis* (Winteraceae). **New Phytologist**, **199**:151-162.

Endres, L., Oliveira, N.G., Ferreira, V.M., Silva, J.V., Barbosa, G.V.S., Maia Junior, S.O. 2016. Morphological and physiological response of sugarcane under abiotic stress to neonicotinoid insecticides. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, **28**:347-355.

Fernández, V., Bahamonde, H.A., Peguero-Pina, J.J., Gil-Pelegri, E., Sancho-Knapik, D., Gil, L., Goldbach, H.E. Eichert, T. 2017. Physicochemical properties of plant cuticles and their functional and ecological significance. **Journal of Experimental Botany**, **68**: 5293–5306.

Fernández, V., Gil-Pelegrián, E., Eichert, T. 2021. Foliar water and solute absorption: an update. **The Plant Journal**, **105**: 870-883.

Ford, K.A., Casida, J.E., Chandran, D., Gulevich, A.G., Okrent, R.A., Durkin, K.A., Wildermuth, M.C. 2010. Neonicotinoid insecticides induce salicylate-associated plant defense responses. **PNAS**, **107**: 17527–17532.

Furmidge, C.G.L. 1962. The Retention of Spray Liquids on Leaf Surfaces. Physico-chemical studies on agricultural sprays. **Journal of Science of Food and Agriculture**, **13**.

Gallo, D.O., Nakano, O., Silvera Neto, S., Carvalho, R.P.L., Baptista, G.C., Berti Filho, E., Parra, J.R.P., Zucchi, R.A., Alves, S.B., Vendramim, J.D., Marchini, L.C., Lopes, J.R.S., Omoto, C. 2002. **Entomologia Agrícola**. Piracicaba, FEALQ. 920p.

Gilmore, E.A. 2001. Critique of soil contamination and remediation: the dimensions of the problem and the implications for sustainable development. **Bulletin of Science and Technology Society**, **21**: 394-400.

Goldsmith, G.R., Matzke, N.J., Dawson, T.E. 2013. The incidence and implications of clouds for cloud forest plant water relations. **Ecology Letters**, **16**: 307-314.

Goldsmith, G.R., Bentley, L.P., Shenkin, A., Salinas, N., Blonder, B., Martin, R.E., Castro-Crossco, R., Chambi-Porroa, P., Diaz, S., Enquist, B.J., Asner, G.P., Malhi, Y. 2017. Variation in leaf wettability traits along a tropical montane elevation gradient. **New Phytologist**, **214**: 989-1001.

Gotsch, S.G., Asbjornsen, H., Holwerda, F., Goldsmith, G.R., Weintraub, A.E., Dawson, T.E. 2014. Foggy days and dry nights determine crown-level water balance in a seasonal tropical montane cloud forest. **Plant, Cell and Environment**, **37**: 261-272.

Graff, L. 2013. **Os agrotóxicos e o meio ambiente: uma abordagem a partir do direito humano à alimentação adequada**. Dissertação de Mestrado em Direito Ambiental – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul. 122 p.

Hanba, Y.T., Moriya, A., Kimura, K. 2004. Effect of leaf surface wetness and wettability on photosynthesis in bean and pea. **Plant, Cell and Environment**, **27**: 413-421.

He, Y., Xiao, S., Wu, J., Fang, H. 2019. Influence of Multiple Factors on the Wettability and Surface Free Energy of Leaf Surface. **Applied Sciences**, **9**: 593.

Hoai, P.M., Sebesvari, Z., Minh, T.B., Viet, P.H., Renaud, F.G. 2011. Pesticide pollution in agricultural areas of Northern Vietnam: Case study in Hoang Liet and Minh Dai communes. **Environmental Pollution**, **159**: 3344-3350.

Holbrook, N.M., Putz, F.E. 1989. Influence of neighbors on tree form: effects of lateral shade and prevention of sway on the allometry of *Liquidambar styraciflua* (sweet gum). **American Journal of Botany**, **76**: 1740-1749.

Holder, C.D. 2007. Leaf water repellency as an adaptation to tropical montane cloud forest environments. **Biotropica**, **39**: 767-770.

Huber, L., Gillespie, T.J. 1992. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. **Annual Review of Phytopathology**, **30**: 553-577.

Ishibashi, M., Terashima, I. 1995. Effects of continuous leaf wetness on photosynthesis: adverse aspects of rainfall. **Plant, Cell and Environment**, **18**: 431-438.

James, C. 2010. **Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010**. ISAAA Brief, n. 42. ISAAA: Ithaca, NY.

Kagabu, S. 2003. Molecular design of neonicotinoids: Past present and future. **Chemistry of Crop Protection**, eds Voss A, Ramos G (Wiley-VCH, Weinheim, Germany), pp 193–212.

Katata, G., Nagai, H., Kajino, M., Ueda, H., Hozumi, Y. 2010. Numerical study of fog deposition on vegetation for atmosphere–land interactions in semi-arid and arid regions. **Agricultural and Forest Meteorology**, **150**: 340-353.

Kimura-Kuroda, J., Komuta, Y., Kuroda, Y., Hayashi, M., Kawano, H. 2012. Nicotine-Like Effects of the Neonicotinoid Insecticides Acetamiprid and Imidacloprid on Cerebellar Neurons from Neonatal Rats. **PLoS ONE**, **7**: e32432

Klemm, O., Milford, C., Sutton, M.A., Spindler, G., Van Putten, E. 2002. A climatology of leaf surface wetness. **Theoretical and Applied Climatology**, **71**: 107-117.

Koch, K., Bhushan, B., Barthlott, W. 2008. Diversity of structure, morphology and wetting of plant surfaces. **Soft Matter**, **4**: 1943-1963.

Kollmeyer, W.D., Flattum, R.F., Foster, J.P., Powell, J.E., Schroeder, M.E., Soloway, S.B. 1999. **Discovery of the nitromethylene heterocycle insecticides**. In *Nicotinoid Insecticides and the Nicotinic Acetylcholine Receptor*, ed. I Yamamoto, JE Casida, pp. 71–89. Tokyo: SpringerVerlag.

Matos, I.S., Rosado, B.H.P. 2016. Retain or repell? Droplet volume does matter when measuring leaf wetness traits. **Annals of Botany**, **117**: 1045-1052.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Coordenação-Geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/DAS. Disponível em: (www.gov.br/agricultura/pt-br) Acesso em: 10.01.2023.

Mehrara, M., Baghbanpour, J. 2016. The contribution of industry and agriculture exports to economic growth: the case of developing countries. **World Scientific News**, **46**: 100-111.

Mishra, V., Srivastava, G., Prasad, S.M. 2009. Antioxidant response of bitter gourd (*Momordica charantia* L.) seedlings to interactive effect of dimethoate and UVB irradiation. **Scientia Horticulturae**, **120**:373–378.

Moita Neto, J.M. 2006. Molhamento e ângulo de contato. Teresina: FAPEPI, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí.

Motti, R. 2021. The Solanaceae Family: Botanical Features and Diversity. In **The wild solanums genomes** (pp. 1-9). Springer, Cham.

Nauen, R., Ebbinghaus-Kintscher, U., Schmuck, R. 2001. Toxicity and nicotinic acetylcholine receptor interaction of imidacloprid and its metabolites in *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). **Pest Management Science**, **57**: 577-586.

Nayak, P., Solanki, H. 2021. Pesticides and Indian agriculture—a review. **International Journal of Research- Granthaalayah**, **9**: 250-63.

Neinhuis, C., Barthlott, W. 1997. Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces. **Annals of Botany**, **79**: 667-677.

Oliveira, L.R. 2010. Modelagem bidimensional de hidrofobicidade e superhidrofobicidade em superfícies de pilares. 86f. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Oliveira, R.B.D. 2011. Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas. 12p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura). Universidade Estadual Paulista – UNESP, Botucatu, São Paulo.

Pandey, S., Nagar, P.K. 2002. Leaf surface wetness and morphological characteristics of *Valeriana jatamansi* grown under open and shade habitats. **Biologia Plantarum**, **45**: 291-294.

Parrini, R., Pardo, C. S., Pacheco, J. F. 2017. Conhecendo as plantas cujos frutos e recursos florais são consumidos pelas aves na Mata Atlântica do Parque Nacional da Serra dos Órgãos. **Atualidades Ornitológicas**, **199**: 38-136.

Papierowska, E., Szporak-Wasilewska, S., Szewińska, J., Szatyłowicz, J., Debaene, G., Utratna, M. 2018. Contact angle measurements and water drop behavior

on leaf surface for several deciduous shrub and tree species from a temperate zone. **Trees**, **32**: 1253-1266.

Petit, A.N., Fontaine, F., Vatsa, P., Clément, C., Vaillant-Gaveau, N. 2012. Fungicide impacts on photosynthesis in crop plants. **Photosynthesis Research**, **111**: 315-326.

Riederer, M., Muller, C. 2006. **Biology of the Plant Cuticle**. Annual Plant Reviews, Vol. 23. Oxford: Blackwell.

Sase, H., Takahashi, A., Sato, M., Kobayashi, H., Nakata, M., Totsuka, T. 2008. Seasonal variation in the atmospheric deposition of inorganic constituents and canopy interactions in a Japanese cedar forest. **Environmental Pollution**, **152**: 1-10.

Schepker, T.J., Webb, E.B., Tillitt, D., La Grange, T. 2020. Neonicotinoid insecticide concentrations in agricultural wetlands and associations with aquatic invertebrate communities. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, **287**: 106678.

Schmuck, R., Schoning, R., Stork, A., Schramel, O. 2001. Risk posed to honeybees (*Apis mellifera* L., Hymenoptera) by an imidacloprid seed dressing of sunflowers. **Pest Management Science**, **57**: 225-238.

Schreel, J.D., Leroux, O., Goossens, W., Brodersen, C., Rubinstein, A., Steppe, K. 2020. Identifying the pathways for foliar water uptake in beech (*Fagus sylvatica* L.): a major role for trichomes. **Plant Journal**, **103**: 769–780.

Shahid, M., Khan, M.S., Ahmed, B., Syed, A., Bahkali, A.H. 2021. Physiological disruption, structural deformation and low grain yield induced by neonicotinoid insecticides in chickpea: A long term phytotoxicity investigation. **Chemosphere**, **262**: 128388.

Sharma, A.; Kumar, V.; Kanwar, M.K.; Thukral, A.K.; Bhardwaj, R. 2017. Ameliorating imidacloprid induced oxidative stress by 24-epibrassinolide in *Brassica juncea* L. **Russian Journal of Plant Physiology**, **64**: 509-517

Simonin, K.A., Santiago, L.S., Dawson, T.E. 2009. Fog interception by *Sequoia sempervirens* (D. Don) crowns decouples physiology from soil water deficit. **Plant, Cell and Environment**, **32**: 882-892.

Soloway, S.B., Henry, A.C., Kollmeyer, W.D., Padgett, W.M., Powell, J.E., Roman, S.A., Tieman, C.H., Corey, R.A., Horne, C.A. 1978. **Nitromethyleneheterocycles as insecticides**. In Pesticide and Venom Neurotoxicity, ed. DL Shankland, RM Hollingworth, T Smyth Jr, pp. 153–58. New York: Plenum

Smith, W.K., McClean, T.M. 1989. Adaptive relationship between leaf water repellency, stomatal distribution, and gas exchange. **American Journal of Botany**, **76**: 465-469.

Sur, R., Stock, A. 2003. Uptake, translocation and metabolism of imidacloprid in plants. **Bulletin of Insectology**, **56**: 35–40.

Tomizawa, M., Casida, J.E. 2005. Neonicotinoid Insecticide Toxicology: Mechanisms of Selective Action. **Annual Review of Pharmacology and Toxicology**, **45**: 247-268.

Tuffi Santos, L.D., Sant'Anna-Santos, B.F., Meira, R.M.S.A., Ferreira, F.A., Tiburcio, R.A.S., Machado, A.F.L. 2009. Leaf anatomy and morphometry in three eucalypt clones treated with glyphosate. **Brazilian Journal of Biology**, **69**: 129-136.

Whitehorn, P.R., O'connor, S., Wackers, F.L., Goulson, D. 2012. Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. **Science**, **336**: 351-352.

Xie, R., Zhao, J., Lu, L., Brown, P., Guo, J., Tian, S. 2020. Penetration of foliar-applied Zn and its impact on apple plant nutrition status: in vivo evaluation by synchrotron-based X-ray fluorescence microscopy. **Horticulture research**, **7**.

Yan, Y., Sun, S., Zhao, N., Yang, W., Shi, Q., Gong, B. 2019. COMT1 overexpression resulting in increased melatonin biosynthesis contributes to the alleviation of carbendazim phytotoxicity and residues in tomato plants. **Environmental Pollution**, **252**: 51-61.

Zhang, X., Chen, L., Leng, R., Zhang, J., Zhou, Y., Zhang, Y., Yang, S., He, K., Huang, B. 2020. Mechanism study of the beneficial effect of sodium selenite on metabolic disorders in imidacloprid-treated garlic plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, **200**: 110736.

morfológicos parecem interferir de forma efetiva nas condições de absorção pela superfície foliar, como a própria constituição dos apêndices epidérmicos e o relevo da superfície foliar. Estudos envolvendo um maior número de espécies vegetais filogeneticamente relacionadas são necessários para entender o papel dos tricomas na absorção de substâncias pela superfície foliar.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa de Desenvolvimento (CQNP) pela bolsa de doutorado concedida a J. Nicolai (Processo: 140744/2019-3) e à bolsa de produtividade concedida a T.M. Rodrigues (Processo:312900/2021-0); e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001; ao Centro de Microscopia Eletrônica, IBB UNESP-Botucatu pelo processamento do material para análises ultraestruturais; a Profa. Dra. Regiane Cristina de Oliveira pelas dicas para instalação do experimento; a Isabelly Cristina da Silva Marques, Eduardo Santana Aires, Francisco Gilvan Borges Ferreira Freitas Júnior, pelo auxílio no processamento do material para as análises fisiológicas e bioquímicas; ao Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva e Hariane Luis Santos, pelo empréstimo do equipamento para análise fisiológica; e ao Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti pelo auxílio com as análises estatísticas.

Referências Bibliográficas

Aguilar-Rincón, V.H., Corona-Torres, T., López-López, P., Latournerie-Moreno, L., Ramírez-Meraz, M., Villarón-Mendoza, H., Aguilar-Castillo, J.A. 2010. **Los chiles de México y sudistribución**. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN, Montecillo, Texcoco estado de México, p. 114.

Aires, E. S., Ferraz, A. K. L., Carvalho, B. L., Teixeira, F. P., Rodrigues, J. D., Ono, E. O. 2022. Foliar application of salicylic acid intensifies antioxidant system and photosynthetic efficiency in tomato plants. **Bragantia**, **81**.

Alscher, R.G., Erturk, N., Heath, L.S. 2002. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress. **Journal of Experimental Botany**, **53**:1331–1341.

Alves, J.C. 2017. **Hidrofóbicas ou hidrofílicas: como as folhas de espécies caducifólias e sempre verdes da caatinga se comportam?** Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal do Ceará – UECE, Ceará, Brasil. 35pp.

Antonious, G.F., Snyder, J.C. 1993. Trichome density and pesticide retention and half-life. **Journal of Environmental Science and Health**, **28**: 205-219.

Araujo, W.L. 2015. **Toxicidade de neonicotinoides sobre abelhas (*Apis melífera*)**. Dissertação de Mestrado – UFCG/PB. 49pp.

Baker, N.R., Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **J. Exp. Bot.**, **55**: 1607-1621.

Barthlott, W., Mail, M., Bhushan, B., Koch, K. 2017. Plant surfaces: structures and functions for biomimetic innovations. **Nano-Micro Letters**, **9**: 1-40.

Bello, A.O., Oladipo, O.T., Saheed, S.A. 2017. Leaf epidermal studies of some *Solanum* (Solanaceae) species in Nigeria. **Phytologia Balcanica**, **23**: 55-63.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, **72**: 248-254.

Busch, F. A. 2020. Photorespiration in the context of Rubisco biochemistry, CO₂ diffusion and metabolism. **The Plant Journal**, **101**: 919-939.

Chebli, Y., Bidhendi, A.J., Kapoor, K., Geitmann, A. 2021. Cytoskeletal regulation of primary plant cell wall assembly. **Current Biology**, **31**: R681-R695.

Coskun, Y., Kilic, S., Duran, R.E. 2015. The effects of the insecticide pyriproxyfen on germination, development, and growth responses of maize seedlings. **Fresenius Environment Bulletin**, **24**: 278-284.

Çavuşoğlu, K., Yalçın, E., Türkmen, Z., Yapar, K., Sağır, S. 2012. Physiological, anatomical, biochemical, and cytogenetic effects of thiamethoxam treatment on *Allium cepa* (Amaryllidaceae) L. **Environmental Toxicology**, **27**: 635-643.

Chowański, S., Adamski, Z., Marciniak, P., Rosiński, G., Büyükgüzel, E., Büyükgüzel, K., Bufo, S. 2016. A Review of Bioinsecticidal Activity of Solanaceae Alkaloids. **Toxins**, **8**: 60.

Dar, M.I., Khan, F.A., Rehman, F. 2015. Responses of antioxidative defense system and composition of photosynthetic pigments in *Brassica juncea* L. upon imidacloprid treatments. **Abiotic and Biotic Stress Journal**, **1**:3-15.

Diaz-Espejo, A., Cuevas, M. V., Ribas-Carbo, M., Flexas, J., Martorell, S., Fernández, J. E. 2012. The effect of strobilurins on leaf gas exchange, water use efficiency and ABA content in grapevine under field conditions. **Journal of Plant Physiology**, **169**: 379-386.

Dousseau, S., Rodrigues, A.C., Lira, J.M.S., Ribeiro Júnior, P.M., Pacheco, F.V., Alvarenga, A.A., Resende, M.L.V., De Paula, A.C.C.F.F. 2016. Aplicação exógena de quitosana no sistema antioxidante de jaborandi. **Ciência Rural**, **46**: 191-197.

Ennajeh, M., Vadel, A.M., Cochard, H., Khemira, H. 2010. Comparative impacts of water stress on the leaf anatomy of a drought-resistant and a drought-sensitive olive cultivar. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology** **85**: 289–294.

Fernández, V., Bahamonde, H.A., Peguero-Pina, J.J., Gil-Pelegrin, E., Sancho-Knapik, D., Gil, L., Goldbach, H.E. Eichert, T. 2017. Physicochemical properties of plant cuticles and their functional and ecological significance. **Journal of Experimental Botany**, **68**:5293–5306.

Fernández, V., Gil-Pelegrín, E., Eichert, T. 2021. Foliar water and solute absorption: an update. **The Plant Journal**, **105**: 870-883.

Ford, K.A., Casida, J.E., Chandran, D., Gulevich, A.G., Okrent, R.A., Durkin, K.A., Wildermuth, M.C. 2010. Neonicotinoid insecticides induce salicylate-associated plant defense responses. **PNAS**, **107**: 17527–17532.

Franceschi, V.R., Nakata, P.A. 2005. Calcium oxalate in plants: formation and function. **Annual Review of Plant Biology**, **56**: 41–71.

Gao, L., Li, S., Zhang, J., Liang, C., Chen, E., Zhang, S., Yang, X. 2016. Excess Imidacloprid Exposure Causes the Heart Tube Malformation of Chick Embryos. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, **64**: 9078–9088.

Gerrits, P.O. 1991. The application of glycol methacrylate in histotechnology; some fundamental principles. Department of Anatomy and Embryology State University Groningen, Netherlands in the wound-associated phloem of *Eucalyptus globules*: chemistry and histology. **Trees**, **18**: 204-210.

Giannopolitis, C.N., Ries, R.K. 1977. Superoxide dismutases I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, **59**: 309-314.

Gonias, E.D., Oosterhuis, D.M., Bibi, A.C. 2008. Physiologic Response of Cotton to the Insecticide Imidacloprid under High-Temperature Stress. **Journal of Plant Growth and Regulation**, **27**: 77–82.

Hernandez, J.A., Jiménez, A., Mullineaux, P., Sevilla, F. 2000. Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long-term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. **Plant, Cell and Environment**, **23**: 853-862.

Homayonzadeh, M., Moeini, P., Talebi, K., Roessner, U., Hosseininaveh, V. 2020. Antioxidant system status of cucumber plants under pesticides treatment. **Acta Physiologiae Plantarum**, **42**: 1-11.

Jayaraj, R., Megha, P., Sreedev, P. 2016. Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. **Interdisciplinaire Toxicology**, **9**: 90-100.

Jensen, W.A. 1962. Botanical histochemistry, principles and practice. San Francisco: W. H. Freeman, p. 408.

Johansen, D.A. 1940. **Plant microtechnique**. McGraw-Hill: New York.

Juan, C.A., Pérez de la Lastra, J.M., Plou, F.J., Pérez-Lebeña, E. 2021. The chemistry of reactive oxygen species (ROS) revisited: outlining their role in biological macromolecules (DNA, lipids and proteins) and induced pathologies. **International Journal of Molecular Sciences**, **22**: 4642.

Kagabu, S. 2003. Molecular design of neonicotinoids: Past present and future. **Chemistry of Crop Protection**, eds Voss A, Ramos G (Wiley-VCH, Weinheim, Germany), pp 193–212.

Kar, M., Mishra, D. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, **57**:315-319.

Karnovsky, M.J. 1965. A formaldehyde-glutaraldehydefixative of highsmolarity for use in electron microscopy. **Journal of Cell Biology**, **27**:137–138.

Lester, R.N., Daunay, M.C. 2003. Diversity of African vegetable *Solanum* species and its implications for a better understanding of plant domestication. **Schriften zu Genetischen Ressourcen**, **22**: 137–152.

Liang, Y.C., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W.H., Ding, R.X. 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). **Plant Physiology**, **160**: 1157– 1164.

Lo, C.C., Hopkinson, M., Gaskin, R.E. 1995. **Influence of adjuvants on droplet spreading**. In *Proc. Fourth Int. Symp. On Adjuvants for Agrochemicals. NZ FRI Bull* (No. 193, pp. 144-149).

Marques, R.P., Rodella, R.A., Martins, D. 2012. Características da anatomia foliar de espécies de braquiária e sua relação com a sensibilidade a herbicidas. **Planta Daninha**, **30**: 809-816.

Matos, I.S., Rosado, B.H.P. 2016. Retainorrepel? Droplet volume does matter when measuring leaf wetness traits. **Annals of Botany**, **117**:1045-1052.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Coordenação-Geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/DAS. Disponível em: (www.gov.br/agricultura/pt-br) Acesso em: 10.01.2023.

Maxwell, K., Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. **J. Exp. Bot.**, **51**: 659-668.

Mazen, A.M.A, Zhang, D., Franceschi, V.R. 2003. Calcium oxalate formation in *Lemna minor*: physiological and ultrastructural aspects of high capacity calcium sequestration. **New Phytologist**, **161**: 435–448.

Milanez, C.R., Machado, S.R. 2008. Leaf emergences in *Microlepisoleaefolia* (DC.) Triana (Melastomataceae) and their probable function: An anatomical and ultrastructural study. **Micron**, **39**: 884-890.

Moita Neto, J.M. 2006. Molhamento e ângulo de contato. Teresina: FAPEPI, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí.

Mukherjee, S., Tripathi, S., Mukherjee, A.K., Bhattacharyya, A., Chakrabarti, K. 2016. Persistence of the herbicides florasulam and halauxifen-methyl in alluvial and saline alluvial soils, and their effects on microbial indicators of soil quality. **European Journal of Soil Biology**, **73**: 93-99.

Nauen, R., Ebbinghaus-Kintscher, U., Schmuck, R. 2001. Toxicity and nicotinic acetylcholine receptor interaction of imidacloprid and its metabolites in *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). **Pest Management Science**, **57**: 577-586.

Nwadinigwe, A.O. 2010. Effects of the Insecticide, Lambda-cyhalothrin on the Growth, Productivity and Foliage Anatomical Characteristics of *Vigna unguiculata* (L) Walp. **Bio-Research**, **8**: 583-587.

O'Brien, T.P., Feder, N., McCully, M.E. 1964. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue. **Protoplasma**, **59**: 368-373.

Parrini, R., Pardo, C.S., Pacheco, J.F. 2017. Conhecendo as plantas cujos frutos e recursos florais são consumidos pelas aves na Mata Atlântica do Parque Nacional da Serra dos Órgãos. **Atualidades Ornitológicas**, **199**: 38-136.

Petit, A. N., Fontaine, F., Vatsa, P., Clément, C., Vaillant-Gaveau, N. 2012. Fungicide impacts on photosynthesis in crop plants. **Photosynthesis research**, **111**: 315-326.

Rama Devi, S., Prasad, M.N.V. 1998. Copper toxicity in *Ceratophyllum demersum* L. (Coontail), a free floating macrophyte: Response of antioxidant enzymes and antioxidants. **Plant Science**, **138**:157-165.

Ramos, A.R.P., Amaro, A.C.E., Macedo, A.C., Souza, E.R., Rodrigues, J.D.; Ono, E.O. 2015. Acúmulo de carboidratos no desenvolvimento de tomateiro tratado com produtos químicos. **Semina: Ciências Agrárias**, **36**: 705-718.

Rocha, D.C. 2001. **Caracterização morfo-anatômica e genética de quatro espécies invasoras de *Commelina* L.** 110 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas/Botânica) - Instituto de Biociência, Universidade Estadual de Paulista, Botucatu, 2001.

Schmuck, R., Schoning, R., Stork, A., Schramel, O. 2001. Risk posed to honeybees (*Apis mellifera* L., Hymenoptera) by an imidacloprid seed dressing of sunflowers. **Pest Management Science**, **57**: 225-238.

Schreel, J.D., Leroux, O., Goossens, W., Brodersen, C., Rubinstein, A., Steppe, K. 2020. Identifying the pathways for foliar water uptake in beech (*Fagus sylvatica* L.): a major role for trichomes. **Plant Journal**, **103**: 769–780.

Schreiber, U. 1986. Detection of rapid induction kinetics with a new type of high-frequency modulated chlorophyll fluorometer. **Photosynthesis Research**, **9**: 261-271.

Shahid, M., Nayak, A.K., Puree, C., Tripathi, R., Lal, B., Gautam, P., Bhattacharyya, P., Mohanty, S., Kumar, A., Panda, B.B. Kumar, U., Shukla, A.K. 2017. Carbon and nitrogen fractions and stocks under 41 years of chemical and organic fertilization in a sub-humid tropical rice soil. **Soil and Tillage Research**, **170**: 136-146.

Shahid, M., Khan, M.S., Ahmed, B., Syed, A., Bahkali, A.H. 2021. Physiological disruption, structural deformation and low grain yield induced by neonicotinoid insecticides in chickpea: A long term phytotoxicity investigation. **Chemosphere**, **262**: 128388.

Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S., Pessarakli, M. 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of botany**: 1-26.

Sharma, A., Kumar, V., Kanwar, M.K., Thukral, A.K., Bhardwaj, R. 2017. Ameliorating imidacloprid induced oxidative stress by 24-epibrassinolide in *Brassica juncea* L. **Russian Journal of Plant Physiology**, **64**: 509-517.

Shobharani, M., 2019. Field evaluation of imidacloprid and thiamethoxam against sucking insect pests of blackgram. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, **8**: 764-1766.

Silva, L.Q., Araújo, A.C.F., Almeida, G.M., Crispin-Filho, A.J., Jakelaitis, A. 2016. Modificações fisiológicas em folhas de pequi (*Caryocar brasiliense*) causadas pela aplicação de glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, **15**: 184-194.

Singh, M., Mack, R.E. 1993. Effect of organosilicone-based adjuvants on herbicide efficacy. **Pesticide science**, **38**: 219-225.

Smith, K.T., Shortle, W.C., Connolly, J.H., Minocha, R., Jellison, J. 2009. Calcium fertilization increases the concentration of calcium in sapwood and calcium oxalate in foliage of red spruce. **Environmental and Experimental Botany**, **67**: 277–283.

Szczepaniec, A., Raupp, M.J., Parker, R.D., Kerns, D., Eubanks, M.D. 2013. Neonicotinoid insecticides alter induced defenses and increase susceptibility to spider mites in distantly related crop plants. **PloSone**, **8**:62620.

Teisseire, H., Guy, V. 2000. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds duckweed (*Lemna minor*). **Plant Science**, **153**: 65-72.

Tiyagi, S.A., Ajaz, S., Azam, M.F. 2004. Effect of some pesticides on plant growth, root nodulation and chlorophyll content of chickpea. Arch. **Agronomy Soil Science**, **50**: 529-533.

Toscano, S., Ferrante, A., Tribulato, A., Romano, D. 2018. Leaf physiological and anatomical responses of *Lantana* and *Ligustrum* species under different water availability. **Plant Physiology and Biochemistry**, **127**: 380–392.

Tuffi Santos, L.D., Sant'Anna-Santos, B.F., Meira, R.M.S.A., Ferreira, F.A., Tiburcio, R.A.S., Machado, A.F.L. 2009. Leaf anatomy and morphometry in three eucalypt clones treated with glyphosate. **Brazilian Journal of Biology**, **69**: 129-136.

Vialet-Chabrand, S.R.M., Matthews, J.S.A., McAusland, L., Blatt, M.R., Griffiths, H., Lawson, T. 2017. Temporal Dynamics of Stomatal Behavior: Modeling and Implications for Photosynthesis and Water Use. **Plant Physiology**, **174**: 603–613.

Wagner, E.C. 1939. Effects of certain insecticides and inert materials upon the transpiration rate of bean plants. **Plant Physiology**, **14**: 717.

Watts, S., Kariyat, R. 2021. Morphological characterization of trichomes shows enormous variation in shape, density and dimensions across the leaves of 14 *Solanum* species. **AoB Plants**, **13**:plab071.

Weryszko-Chmielewska, E., Michalajc, Z. 2009. Anatomical features of leaves of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) fed with calcium using foliar nutrition. **Acta Agrobotanica**, **62**.

Whitehorn, P.R., O'connor, S., Wackers, F.L., Goulson, D. 2012. Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. **Science**, **336**: 351-352.

Zindler-Frank, E., Honow, R., Hesse, A. 2001. Calcium and oxalate content of the leaves of *Phaseolus vulgaris* at different calcium supply in relation to calcium oxalate crystal formation. **Journal of Plant Physiology**, **158**: 139–144.

Zaller, J.G., König, N., Tiefenbacher, A., Muraoka, Y., Querner, P., Ratzenböck, A., Bonkowski, M., Koller, R., 2016. Pesticide seed dressings can affect the activity of various soil organisms and reduce decomposition of plant material. **BMC Ecology**, **16**: 2-11.

Zhang, X., Chen, L., Leng, R., Zhang, J., Zhou, Y., Zhang, Y., Yang, S., He, K., Huang, B. 2020. Mechanism study of the beneficial effect of sodium selenite on metabolic disorders in imidacloprid-treated garlic plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, **200**: 110736.

Zhang, Y., Huang, L., Liu, L., Cao, X., Sun, C., Lin, X. 2022. Metabolic disturbance in lettuce (*Lactuca sativa*) plants triggered by imidacloprid and fenvalerate. **Science of The Total Environment**, **802**:149764.

Considerações finais

- A aplicação foliar do imidacloprido (IMI), um inseticida da classe dos neonicotinóides dos mais utilizados em lavouras do Brasil, pode causar alterações em aspectos estruturais, fisiológicos e bioquímicos em folhas de *S. aethiopicum* e *C. annuum*.

- Embora ambas as espécies apresentem capacidade de absorção foliar conforme demonstrado pelo teste com Safranina, *C. annuum* apresentou folhas molháveis segundo teste realizado.

- Folhas de *S. aethiopicum* se mostraram não-molháveis o que parece ter relação com a presença de tricomas tectores com células com paredes lignificadas e, portanto, com propriedades hidrofóbicas.

- A molhabilidade das folhas de *C. annuum* pode estar relacionada à ausência de tricomas ou outros apêndices com células com propriedades hidrofóbicas e à ocorrência de relevo irregular na superfície foliar que permite o acúmulo de substâncias líquidas. Esses aspectos poderiam levar à maior absorção de substâncias líquidas hidrofílicas como o IMI.

- Alterações em aspectos anatômicos e funcionais foram observadas em plantas de ambas as espécies estudadas tratadas com IMI, porém, alterações mais pronunciadas foram observadas em *C. annuum*, especialmente no que se refere às taxas de assimilação de CO₂, condutância estomática, taxa de transpiração e eficiência instantânea de carboxilação. Plantas de *C. annuum* tratadas com IMI também apresentaram alterações estruturais bastante evidentes como a maior sinuosidade no contorno das células do parênquima paliádico

- No presente estudo, a presença/ausência de tricomas parece ser um dos fatores interferindo na molhabilidade foliar das espécies estudadas e consequente absorção de substâncias hidrofílicas como o IMI. Entretanto, outros aspectos morfológicos da superfície foliar, como a irregularidade do relevo, também parecem ter o potencial de interferir na maior ou menor absorção de tais substâncias.

- Estudos envolvendo um maior número de espécies vegetais filogeneticamente relacionadas são necessários para entender o papel da presença/ausência dos tricomas na /absorção de substâncias pela superfície foliar.