



Respostas fisiológicas de *Coffea arabica* (L.) em função de diferentes métodos de controle para diminuição da herbivoria de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Ménéville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae)

Physiological responses of Coffea arabica (L.) to different control methods to reduce herbivory by *Leucoptera coffeella* (Guérin-Ménéville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae)

Silvio Lisboa de Souza Junior¹

 <https://orcid.org/0000-0001-8036-7483>  <http://lattes.cnpq.br/5838419797008852>

João Paulo de Oliveira Santos²

 <https://orcid.org/0000-0003-1826-1746>  <http://lattes.cnpq.br/1399888363177878>

Maria Alaíne da Cunha Lima³

 <https://orcid.org/0000-0002-0645-8886>  <http://lattes.cnpq.br/6344031526914512>

Leticia Waléria Oliveira dos Santos⁴

 <https://orcid.org/0000-0003-1814-1322>  <http://lattes.cnpq.br/2473829722228853>

João Gabriel Taveira Melo⁵

 <https://orcid.org/0000-0002-3477-3621>  <http://lattes.cnpq.br/4772772449219524>

José Bruno Malaquias⁶

 <https://orcid.org/0000-0003-3937-9575>  <http://lattes.cnpq.br/1103370910009848>

Guilherme Silva de Podestá⁷

 <https://orcid.org/0000-0003-1613-7178>  <http://lattes.cnpq.br/9081645660105948>

Jacinto de Luna Batista⁸

 <https://orcid.org/0000-0001-8860-8085>  <http://lattes.cnpq.br/5070313576709364>

CIÊNCIAS AGRÁRIAS

¹ Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Areia/PB – Brasil. E-mail: silvio.oni3@outlook.com

² E-mail: jpauloos04@gmail.com

³ E-mail: alainelima1@gmail.com

⁴ E-mail: leticiawaleriaoliver123@gmail.com

⁵ E-mail: gabrielTaveiramelo7@gmail.com

⁶ E-mail: malaquias.josebruno@gmail.com

⁷ E-mail: guilherme@cca.ufpb.br

⁸ E-mail: jacinto@cca.ufpb.br



RESUMO

A herbivoria provocada por insetos fitófagos é um dos principais fatores limitantes na produção agrícola. Dentre as pragas de relevância, destaca-se o bicho-mineiro *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae), praga-chave do cafeeiro *Coffea arabica*. O objetivo deste estudo foi avaliar as respostas fisiológicas de plantas de *C. arabica* submetidas a inseticidas (químicos e biológicos) e indutores de resistência no controle de *L. coffeella*. Foram aplicados 7 tratamentos: *Metarhizium anisopliae*, Silicato de Potássio, *M. anisopliae* + Silicato de Potássio, *M. anisopliae* + *Beauveria bassiana*, Acetaprimid + fenpropratrina, Lufenuron e água (controle). A avaliação considerou a incidência de galerias formadas e as respostas fisiológicas ao ataque. Para a análise estatística, utilizou-se o modelo linear generalizado (GLM), juntamente com análise de agrupamento hierárquico e mapas de calor. O inseticida Acetaprimid + fenpropratrina foi o mais eficiente, enquanto o Silicato de Potássio ajudou a mitigar o estresse e melhorar a fisiologia das plantas, reduzindo a herbivoria.

Palavras-chave: Bioinseticidas; controle de insetos; insetos-praga; fotossíntese, indutor de resistência.

ABSTRACT

Herbivory caused by phytophagous insects is one of the main limiting factors in agricultural production. Among the relevant pests, the coffee leaf miner Leucoptera coffeella (Lepidoptera: Lyonetiidae) stands out as a key pest of Coffea arabica. The objective of this study was to evaluate the physiological responses of C. arabica plants subjected to insecticides (chemical and biological) and to resistance inducers for the control of L. coffeella. Seven treatments were applied: Metarhizium anisopliae, Potassium Silicate, M. anisopliae + Potassium Silicate, M. anisopliae + Beauveria bassiana, Acetaprimid + fenproprathrin, Lufenuron, and water (control). The evaluation considered the incidence of leaf mines formed and the physiological responses to the attack. For statistical analysis, the generalized linear model (GLM) was used, along with hierarchical cluster analysis and heat maps. The insecticide Acetaprimid + fenproprathrin was the most efficient, while Potassium Silicate helped mitigate stress and improve plant physiology, reducing herbivory.

Keywords: Bioinsecticides; control levels; insect pest; photosynthesis.

1. INTRODUÇÃO

A herbivoria de insetos filófagos é um dos principais fatores limitantes na produção agrícola, pois eles causam problemas bióticos, causando efeitos diretos em todo o ciclo da cadeia agrícola que, como consequência, geram perdas que superam 30% da produção de alimentos no mundo (Mesterházy *et al.*, 2020; Skendžić *et al.*, 2021).

Nesse contexto a utilização de inseticidas para diminuição dos problemas decorrentes dessa herbivoria vem a cada dia tomando maior relevância no cenário global, visto que, há um aumento das taxas de aplicação de produtos químicos visando diminuir as perdas proporcionadas pelos insetos. Esse uso excessivo acaba gerando problemas, tais como resistência dos insetos a moléculas químicas devido à pressão de seleção, mortalidade de inimigos naturais e danos ao meio ambiente (Bernardes *et al.*, 2015; Tudi *et al.*, 2021).

Dentre as pragas de relevância para a agricultura, destaca-se o bicho-mineiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), sendo uma praga-chave do cafeeiro *Coffea arabica* (L.), que, devido às injúrias ocasionadas a essa cultura, pode provocar danos superiores a 80% da produção quando mal manejada (Dantas *et al.*, 2021). A larva do bicho-mineiro se alimenta da epiderme foliar, causando desregulação nas respostas fisiológicas



da planta e necrose, com posterior queda das folhas atacadas, resultando em diminuição da área fotossintética e, conseqüentemente, em uma redução da produtividade (Dami *et al.*, 2023).

Neste contexto, estudar as respostas fisiológicas da planta quando sofre ataque de insetos-praga e sua relação com a utilização de produtos fitossanitários é fundamental para desenvolver o manejo integrado de pragas de forma eficiente e sustentável, incluindo a avaliação dos efeitos adversos que a utilização de produtos fitossanitários pode causar nas plantas, influenciando na desregulação e alteração do metabolismo vegetal (Zhou *et al.*, 2022).

Conforme supracitado, embora as respostas fisiológicas desencadeadas pelo manejo e pela herbivoria de insetos-praga sejam de grande importância, ainda são pouco estudadas. Com base no exposto, objetivou-se nesta pesquisa avaliar as respostas fisiológicas geradas em plantas de *C. arabica* quando manejadas com inseticidas (químicos e biológicos) e indutores de resistência para controle de *L. coffeella*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Chã do Jardim, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, no município de Areia-PB, localizado na microrregião do Brejo Paraibano, com latitude 6°58'13" S, longitude 35°43'95" W e altitude de aproximadamente 620 m. Pela classificação de Köppen (Koppen; Geiger, 1936), o clima da região é do tipo As', caracterizado como tropical quente e úmido, com chuvas de outono-inverno. O experimento foi realizado no período de janeiro de 2022 a março de 2023.

Para a realização do experimento, foi utilizada uma área experimental de *C. arabica* de variedade desconhecida no seu quarto ciclo produtivo, apresentando espaçamento de 3,0 x 0,5 m. Os tratamentos culturais foram feitos de modo convencional e homogêneo, sem a utilização de inseticidas, e observando a necessidade da cultura em relação à adubação e controle de plantas daninhas. Posteriormente, foi feita a aplicação dos tratamentos (Tabela 1): *Metarhizium anisopliae*, Silicato de Potássio, *Metarhizium anisopliae* + Silicato de Potássio, *Metarhizium anisopliae* + *Beauveria bassiana*, Acetamiprid + Fenpropatrina, Lufenuron e Controle (água), por meio de pulverizador costal (20 L), sendo essa aplicação repetida a cada 3 meses durante o ciclo do experimento, devido ao aumento da incidência da praga na área. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, sendo a unidade experimental (parcela) composta por dez plantas, utilizando as duas primeiras e últimas como bordadura.

Para avaliação da incidência de *L. coffeella*, as plantas foram submetidas ao método não destrutivo de avaliação, sendo colocadas fitas de identificação no terceiro e quarto ramo plagiotrópico dos cafezais. Esses ramos foram avaliados, e a contagem manual da incidência de folhas saudáveis e de minas (galerias) formadas devido ao ataque do inseto-praga foi realizada. As avaliações ocorreram antes da primeira aplicação e a cada 15 dias, totalizando dezoito avaliações.

As variáveis fisiológicas avaliadas na área com aplicação dos inseticidas (biológicos e químicos) e do indutor de resistência foram: taxa de fotossíntese (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e condutância estomática (gs) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). As medições ocorreram no terço médio das plantas em folhas aleatórias dentro dos tratamentos, apresentando-se totalmente expandidas, mas com diferentes níveis de minas formadas pelo ataque da lagarta, utilizando analisador de gás infravermelho portátil (IRGA) (ACD, modelo LCPro SD, Hoddesdon, Reino Unido). As leituras das trocas gasosas foram feitas entre 09h00 e 10h00. No que diz respeito ao inseto-praga, foi avaliado o número de galerias



causadas pelo bicho-mineiro em cada folha, podendo cada folha apresentar mais de uma mina formada pelo inseto praga.

Tabela 1 – Produtos e dosagem utilizados para pulverização na área com a presença de *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae).

Agente	Dosagem ha ⁻¹	Classe
Metarhizium anisopliae	15g	Microbiológico
Silicato de potássio	2L	Indutor de resistência
Metarhizium anisopliae+ silicato de potássio	15g+2L	Microbiológico + Indutor de resistência
Metarhizium anisopliae +Beauveria bassiana	15g+15g	Microbiológico
Acetamiprido e Fenpropatrina	1250mL	Químico
Lufenurum	250mL	Químico
Água		

Fonte: Autores.

Para avaliar a resposta dos métodos de controle utilizados e sua relação com o número de galerias causadas pelo bicho-mineiro, os dados de infestação foram submetidos ao teste F por meio do modelo linear generalizado (GLM), no qual foi analisado o modelo quasipoisson para corrigir a superdispersão dos dados. Além disso, foi realizada uma análise de agrupamentos hierárquicos (HCA) combinada com um mapa de calor (heatmap) e a correlação de Pearson para identificar as respostas fisiológicas em função da incidência de galerias. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software R versão 4.2.0 (R core team, 2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa entre os tratamentos no que diz respeito à incidência de galerias formadas por *L. coffeella* em cafeeiros submetidos a diferentes inseticidas e indutores de resistência para controle do inseto-praga. O inseticida contendo Acetamiprid + Fenpropatrina (20,30) apresentou os melhores resultados, gerando diminuição do número de galerias formadas quando comparado aos demais tratamentos: Lufenuron (25,93), Silicato de Potássio (28,68), *Metarhizium* + Silicato de Potássio (28,80), *Metarhizium* + *B. bassiana* (29,21), *Metarhizium* (33,84) e o controle (40,25) (Tabela 2). Apesar de ter diferido estatisticamente do inseticida químico Acetamiprid + Fenpropatrina, o Lufenuron™ e os bioinseticidas *Metarhizium* + *B. bassiana*, *Metarhizium* + Silicato de Potássio e Silicato de Potássio também apresentaram diminuição no número de galerias formadas pelo bicho-mineiro, proporcionalmente.

O princípio ativo Acetamiprid + Fenpropatrina causou maior mortalidade do bicho-mineiro e diminuição do potencial desse inseto para formar galerias na cultura. Isso se deve ao aspecto de ação do inseticida, que ocorre tanto pelo contato com a praga quanto pela translocação desse agente químico através do xilema da planta, além do efeito translaminar, garantindo que o produto atinja insetos que estejam no mesófilo foliar, como o bicho-mineiro, causando, assim, a mortalidade do inseto-praga (Pes *et al.*, 2020).



Tabela 2 – Número de galerias (minas) formadas pelo ataque de *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) em função da aplicação de diferentes inseticidas (biológicos e químicos) e indutor de resistência.

Tratamento	Média		Erro padrão
Metarhizium anisopliae	33,84	c	± 3,15
Silicato de potássio	28,68	b	± 2,71
Metarhizium anisopliae + Silicato de potássio	28,80	b	± 2,03
Metarhizium anisopliae + Beauveria bassiana	29,21	b	± 2,31
Acetaprimid+fenproprtrina	20,30	a	± 1,85
Lufenuron	25,93	b	± 1,57
Controle	40,25	d	± 3,26
F > 0,00001			
P > 0,00001			

Valores seguidos pela mesma letra na coluna, não diferem significativamente pelo Teste F.

Fonte: Autores.

Embora tenha ocorrido maior mortalidade no tratamento com os princípios ativos Acetamiprid + Fenproprtrina, os tratamentos com Lufenuron, Silicato de Potássio, *M. anisopliae* e *B. bassiana* também se mostraram promissores. O Lufenuron é um juvenoide que inibe a síntese de quitina; esse modo de ação é eficaz quando aplicado no início da eclosão das lagartas de *L. coffeella*, sendo esse princípio ativo responsável pela mortalidade dos insetos ao bloquear a síntese de quitina, causando assim uma desregulação nos processos fisiológicos de muda (Martinez *et al.*, 2021, Lv *et al.*, 2023)

Além do tratamento com inseticidas químicos, alguns bioinseticidas e indutores de resistência também se mostraram favoráveis para o controle de pragas na cafeicultura. O indutor de resistência Silicato de Potássio é um produto que ativa os mecanismos de defesa da planta, fazendo com que o silicato se ligue à parede celular, dificultando a alimentação de insetos-praga (Hussain *et al.*, 2023).

Na presente pesquisa, a utilização de uma mistura técnica entre Silicato de Potássio e o fungo *Metarhizium* também foi avaliada e apresentou neutralidade, gerando uma resposta semelhante ao uso do Silicato de Potássio sozinho. Isso se deve ao fato de que a mistura entre Silicato de Potássio e *Metarhizium* não potencializou o efeito bioinseticida, tornando financeiramente ineficaz a mistura dos dois produtos. Isso contrasta com o tratamento que utilizou *B. bassiana* + *M. anisopliae*, que apresentou semelhança estatística com os outros tratamentos mencionados neste parágrafo. Esse fato está relacionado à eficiência de *B. bassiana* e do Silicato de Potássio e à baixa eficiência do *Metarhizium*, que, quando avaliado isoladamente, apresentou baixo índice de controle. Ou seja, o *Metarhizium* utilizado de forma isolada não trouxe superioridade no controle desse inseto-praga em comparação com os tratamentos testados, ficando apenas superior ao controle (Tabela 2).

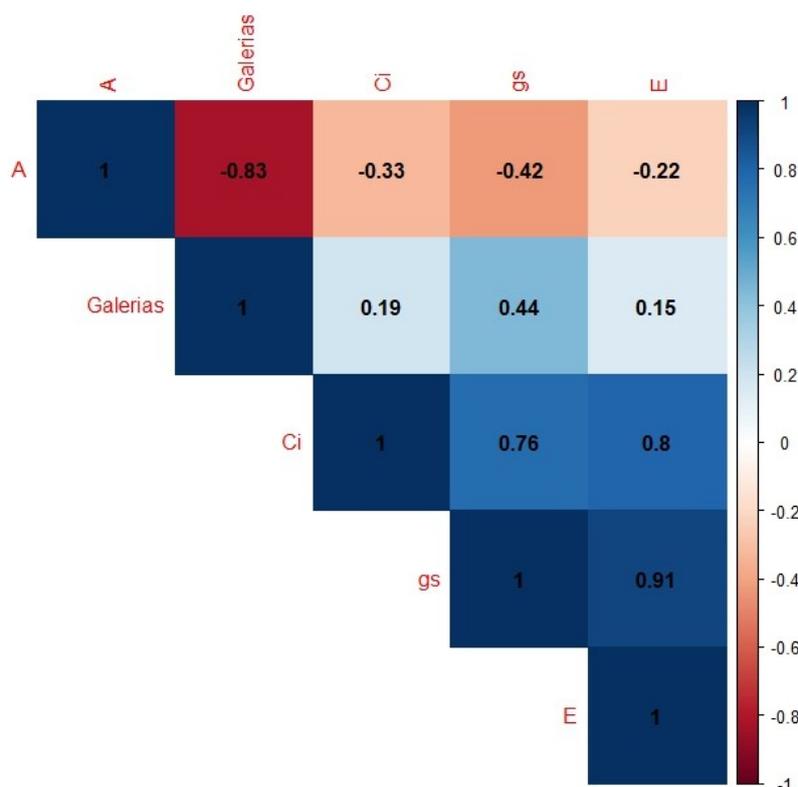
É importante ressaltar que a escolha de métodos de controle deve levar em consideração não apenas a eficiência na mortalidade de insetos, mas também a segurança para o agroecossistema. O uso indiscriminado de inseticidas químicos pode gerar problemas a longo prazo, como a contaminação ambiental e a resistência de pragas a inseticidas químicos (Rani *et al.*, 2021).



Assim, o estudo comparativo entre diferentes inseticidas químicos, biológicos e um indutor de resistência revelou que o inseticida contendo Acetamiprid + Fenpropatrina foi o tratamento mais eficaz. No entanto, a combinação de diferentes estratégias de controle, como inseticidas químicos e biológicos com fungos entomopatogênicos, pode ser uma abordagem promissora para o manejo sustentável de pragas agrícolas. Mais pesquisas são necessárias para otimizar a eficácia e a segurança dessas estratégias de controle, visando garantir a produtividade agrícola e a proteção do meio ambiente.

Também foi analisada a correlação entre o número de galerias e as características fisiológicas do cafeeiro. Verificou-se que a taxa de captação de CO₂ (A) é influenciada negativamente pela quantidade de galerias formadas pelo inseto-praga (Figura 1). Ou seja, quanto maior a quantidade de galerias, menor a captação de CO₂ pelos cafeeiros testados no ensaio. Observou-se também que maiores números de galerias foram responsáveis por uma maior concentração interna de CO₂ (Ci), condutância estomática (gs) e, conseqüentemente, uma maior transpiração da planta (E), sendo essas características essenciais na avaliação da eficiência no uso da água pela planta.

Figura 1 – Matriz de correlação de Pearson com base no número de galerias formadas pelo inseto-praga *Leucoptera coffeella* e os parâmetros fisiológicos do cafeeiro (fotossíntese(A), condutância interna de CO₂ (Ci), condutância estomática (gs) e transpiração (E)). As cores azuis e vermelhas representam correlações positivas e negativas, da maior para menor, respectivamente.



Fonte: Autores.

A relação da taxa fotossintética em cafeeiros é de extrema importância, pois, comparado a outras culturas arbóreas, o café apresenta baixos valores de transpiração (A). Isso sugere que problemas fitossanitários que agravem as trocas gasosas na cultura tendem a determinar o

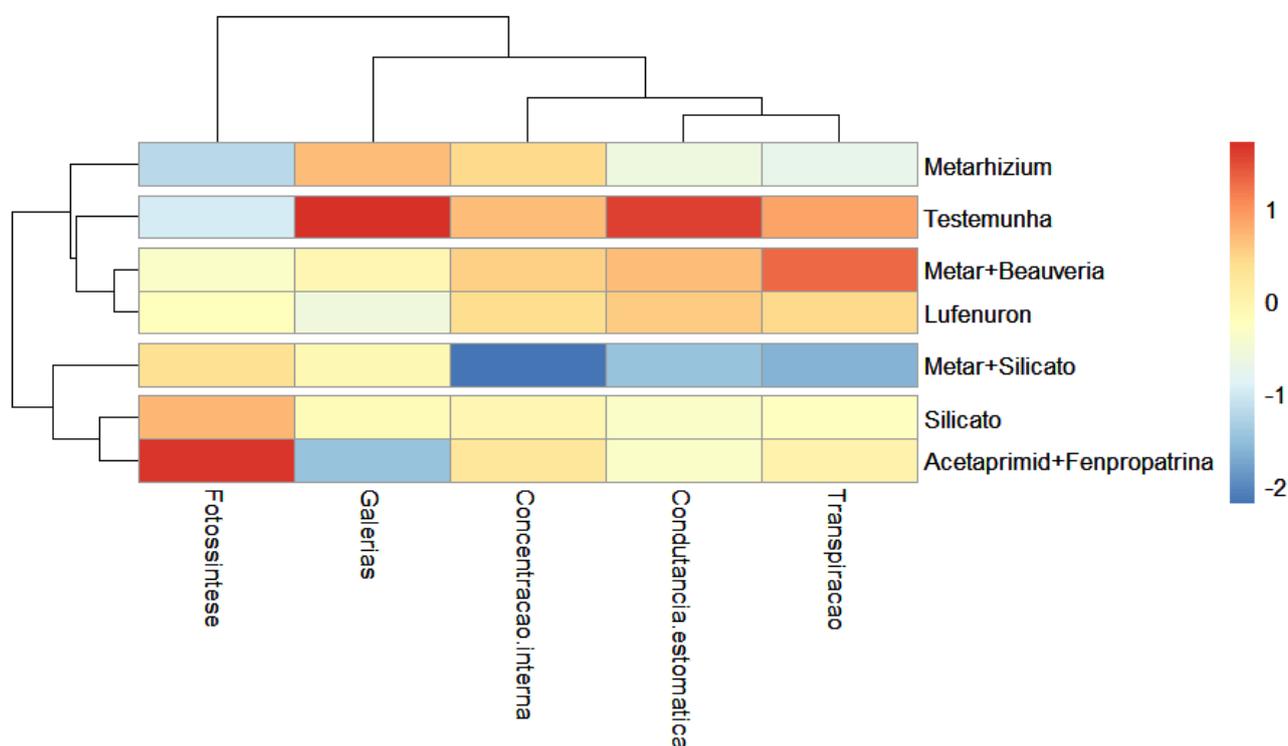


sucesso da sua produção, sendo necessária a busca pela mitigação desses problemas (Ghini et al., 2015).

Apesar do exposto, a relação entre a severidade da herbivoria causada por *L. coffeella* e a aptidão fisiológica ainda é pouco estudada. Sabe-se que plantas estressadas devido ao ataque de insetos minadores sofrem mudanças fisiológicas significativas, incluindo alterações na taxa fotossintética, condutância estomática, além de ativar diversas vias metabólicas, alterando assim seu comportamento (Kim et al., 2021; Santiago-Salazar et al., 2022).

O tratamento com *M. anisopliae* e a testemunha se destacaram pela maior quantidade de galerias, o que resultou, principalmente, em menores taxas fotossintéticas (Figura 2). Já para a utilização de Acetamiprid + Fenpropratrina, observou-se o resultado inverso: menor número de galerias e maiores valores das variáveis fisiológicas avaliadas. Isso reafirma o potencial dano gerado pelo inseto-praga, que, devido à formação de galerias nas folhas, causa não apenas injúrias, mas também diminuição na fotossíntese e, conseqüentemente, menor conversão dos compostos inorgânicos em compostos orgânicos essenciais para o desenvolvimento da planta.

Figura 2 – Análise de agrupamento hierárquico e mapa de calor com base nos dados de número de galerias formadas por *Leucoptera coffeella* e as variáveis fisiológicas (fotossíntese (A), condutância interna de CO₂ (Ci), condutância estomática (gs) e transpiração (E)). As cores vermelha e azul representam a importância, da maior para menor, respectivamente.



Fonte: Autores.

Ainda assim, a aplicação de Silicato de Potássio apresentou-se no mesmo cluster que o Acetamiprid + Fenpropratrina, apesar de mostrar uma alta incidência de galerias comparada ao tratamento químico com o inseticida (Tabela 2). Essa relação se deve ao efeito positivo do Silicato de Potássio em mitigar os estresses na planta, mesmo após a injúria, acarretando no aumento dos níveis de clorofila e maior regulação do controle osmótico. Isso favorece a diminuição da perda de água e, conseqüentemente, aumenta a eficiência na taxa fotossintética (Oliveira et al., 2019; Sarah et al., 2021) Além disso, o Silicato de Potássio induz a planta a



gerar compostos bioquímicos favoráveis na mitigação dos efeitos nocivos gerados pelo ataque de patógenos, aumentando a capacidade dessas plantas de sobreviverem (Islam *et al.*, 2020).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O inseticida à base de Acetaprimid+fenpropratrina apresenta maior eficiência para o controle de *L. coffeella*. Contudo, o indutor de resistência Silicato de potássio além de contribuir na diminuição da herbivoria desse Inseto-praga também promove maior tolerância da planta ao ataque da praga, proporcionando regulação nas características fisiológicas da planta, como a taxa fotossintética.

5. REFERÊNCIAS

BERNARDES, M. F. F. *et al.* Impact of pesticides on environmental and human health. **Toxicology studies-cells, drugs and environment**, p. 195-233, 2015.

DAMI, B. G. *et al.* Functional response of 3 green lacewing species (Neuroptera: Chrysopidae) to *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). **Journal of Insect Science**, v. 23, n. 3, p. 15, 2023.

DANTAS, J. *et al.* A comprehensive review of the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) a major pest for the coffee crop in Brazil and others Neotropical countries. **Insects**, v. 12, n. 12, p. 1130, 2021.

GHINI, R. *et al.* Coffea growth, pest and yield responses to free-air CO₂ enrichment. **Climatic Change**, v. 132, p. 307-320, 2015.

HUSSAIN, Z. Z.; AL-DAHWI, S. S. J.; LELO, H. M. Effect of foliar fertilization with potassium silicate on some morphological characters of strawberry leaves reducing sucking insects. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2023. p. 012085.

ISLAM, W. *et al.* Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 168, p. 104641, 2020.

KIMM, H. *et al.* Quantifying high-temperature stress on soybean canopy photosynthesis: The unique role of sun-induced chlorophyll fluorescence. **Global Change Biology**, v. 27, n. 11, p. 2403-2415, 2021.

KÖPPEN, W. Classificação climática de Köppen-Geiger. **Contributors: Alchimista, Angrense, DCandido, Dante Raglione**, 1936.

LV, H. *et al.* Effects of lufenuron treatments on the growth and development of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 263, p. 109499, 2023.

MARTÍNEZ, L. C.; PLATA-RUEDA, A.; SERRÃO, J. E. Effects of insect growth regulators on mortality, survival, and feeding of *Euprosterina elaeasa* (Lepidoptera: Limacodidae) larvae. **Agronomy**, v. 11, n. 10, p. 2002, 2021.

MESTERHÁZY, Á.; OLÁH, J.; POPP, J. Losses in the grain supply chain: causes and solutions. **Sustainability**, v. 12, n. 6, p. 2342, 2020.



OLIVEIRA, R. L. L. *et al.* Different sources of silicon by foliar spraying on the growth and gas exchange in sorghum. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, p. 948-953, 2019.

PES, M. P. *et al.* Translocation of chlorantraniliprole and cyantraniliprole applied to corn as seed treatment and foliar spraying to control *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **PLoS One**, v. 15, n. 4, e0229151, 2020.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023.

RANI, L. *et al.* An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. **Journal of cleaner production**, v. 283, p. 124657, 2021.

SANTIAGO-SALAZAR, C. M. *et al.* Response of a specialist leaf miner insect to the environmental stress of its host plant. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 16, n. 3, p. 329-339, 2022.

SARAH, M. M. S. Silicon supplied via foliar application and root to attenuate potassium deficiency in common bean plants. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 19690, 2021.

SKENDŽIĆ, S. *et al.* The impact of climate change on agricultural insect pests. **Insects**, v. 12, n. 5, p. 440, 2021.

TUDI, M. *et al.* Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. International **journal of environmental research and public health**, v. 18, n. 3, p. 1112, 2021.

ZHOU, S.; JANDER, G. Molecular ecology of plant volatiles in interactions with insect herbivores. **Journal of Experimental Botany**, v. 73, n. 2, p. 449-462, 2022.

Submetido em: **09/04/2024**

Aceito em: **11/10/2024**