

Análise não-paramétrica na comparação de bioinseticidas no combate de pragas em goiabeiras

Marina R. Maestre^{†1}, Inessa S. T. Oliveira², Isaias de Oliveira³, Héber F. Reis³, Elisângela S. Loureiro⁴, Manoel A. Uchoa², Mariana P. Oliveira², Marcos G. Fernandes²

¹Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS.

²Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD.

³Agência de Desenvolvimento Agrário e Extensão Rural (AGRAER), Dourados.

⁴Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), Chapadão do Sul

Resumo: Consumir frutas tratadas com inseticidas químicos pode ocasionar sérios danos à saúde. O controle biológico de insetos, além de saudável, proporciona resultados eficazes no controle de pragas. Este trabalho objetiva comparar os bioinseticidas *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) - “Ma” e *Beauveria bassiana* (Bals.) - “Bb” sobre as ninfas de triozídeos presentes na parte aérea de goiabeiras, em campos de produção comercial do Estado de Mato Grosso do Sul. Foi realizado um experimento casualizado em 4 blocos, com 7 tratamentos sendo uma testemunha - “T” e uma, duas e três aplicações de cada bioinseticida - “Ma1, Ma2, Ma3” e “Bb1, Bb2, Bb3”, em que, os números 1, 2 e 3 correspondem ao número de aplicações, respectivamente. Foram realizadas 5 avaliações após a primeira aplicação dos tratamentos: após 21, 28, 35, 42 e 49 dias. A normalidade e homocedasticidade dos resíduos não foram atendidas. Uma vez que o delineamento foi o casualizado em blocos, como uma alternativa não-paramétrica ao teste da Análise de Variância (ANOVA), foi utilizado o teste de Friedman para cada avaliação separadamente para comparar a homogeneidade dos tratamentos e juntando as 5 avaliações. Quando houve diferença significativa entre os tratamentos, procedeu-se com o teste Nemenyi de comparações aos pares de tratamentos para dados provenientes de delineamento em blocos. Com 10% de significância, na primeira avaliação houve diferença entre T e Bb2; na segunda entre T e Ma3; juntando as cinco avaliações entre T e Ma3. Tais resultados indicam que a aplicação do bioinseticida é eficiente quando comparado ao tratamento utilizando somente a testemunha.

Palavras-chave: *Metarhizium anisopliae*; *Beauveria bassiana*; Ninfas de Triozídeos; Friedman; Nemenyi.

Non-parametric analysis in the comparison of bioinsecticides to combat pests in guava trees

Abstract: Consuming fruits treated with chemical insecticides can cause serious damage to your health. Biological insect control, in addition to being healthy, provides effective results in pest control. This work aims to compare the bioinsecticides *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) - “Ma” and *Beauveria bassiana* (Bals.) - “Bb” on triozid nymphs present in the aerial part of guava trees, in commercial production fields in the State of Mato Grosso do Sul. A randomized experiment was carried out in 4 blocks, with 7 treatments being a control - “T” and one, two and three applications of the bioinsecticide - “Ma1, Ma2, Ma3” and “Bb1, Bb2, Bb3”, where numbers 1, 2 and 3 correspond to the number of applications, respectively. Five evaluations were carried out after the first application of treatments: after 21, 28, 35, 42 and 49 days. The normality and homoscedasticity of the residuals were not met. Since the design was randomized in blocks, as a non-parametric alternative to the Analysis of Variance (ANOVA) test, the Friedman test was used for each evaluation separately to compare the homogeneity of the treatments and joining the 5 evaluations. When there was a significant difference between treatments, the Nemenyi test was used to compare pairs of treatments for data from a block design. With 10% significance, in the first evaluation there was a difference between T and Bb2; in the second, between T and Ma3; combining the five evaluations, between T and Ma3. These results indicate that the application of the bioinsecticide is efficient when compared to the treatment using only the control.

Keywords: *Metarhizium anisopliae*; *Beauveria bassiana*; Triozid nymphs; Friedman; Nemenyi.

[†]Autor correspondente: marina.maestre@uemg.br.

Introdução

As frutíferas são culturas de alta relevância econômica e social, com grandes perspectivas de sucesso para a agricultura familiar, além de serem essenciais para uma dieta humana saudável e seu consumo pode reduzir doenças cardiovasculares e alguns tipos de câncer. No entanto, o consumo de frutas tratadas com inseticidas químicos pode ocasionar sérios danos à saúde humana. O controle biológico de insetos, que é a base do Manejo Integrado de Pragas (MIP), se faz necessário, pois além de não afetar a saúde humana nem o meio ambiente, proporciona resultados eficazes no controle de pragas (OLIVEIRA et al., 2019).

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo comparar a eficiência dos bioinseticidas *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) - “Ma” e *Beauveria bassiana* (Bals.) - “Bb” no combate às ninfas de *Triozoida limbata* (Hemiptera: Triozidae) presentes na parte aérea de goiabeiras, em campos de produção comercial do Estado de Mato Grosso do Sul.

Material e Métodos

Foi realizado um experimento casualizado em blocos com quatro repetições, com sete tratamentos sendo, uma, duas e três aplicações do bioinseticida *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Ma1, Ma2, Ma3, e as mesmas aplicações do bioinseticida *Beauveria bassiana* (Bals.) Bb1, Bb2, Bb3, em que os números 1, 2 e 3 correspondem ao número de aplicações, respectivamente, e uma testemunha T. Foram realizadas cinco avaliações em que a primeira foi feita 21 dias após a primeira aplicação dos tratamentos, a segunda - 28 dias, a terceira - 35 dias, a quarta - 42 dias e a quinta - 49 dias. A quantidade de ninfas de *Triozoida limbata* (Hemiptera: Triozidae) (Figura 1) mortas presentes na parte aérea de goiabeiras foi observada em cada uma das cinco avaliações.

Figura 1: Ninfa e adultos de *Triozoida limbata* (Hemiptera: Triozidae)



Fonte: Autores.

Vale salientar que este foi um trabalho executado a campo, não havendo controle de fatores bióticos e abióticos.

Realizou-se uma análise para cada avaliação e ao final, uma análise do total das cinco avaliações juntas, portanto, ao todo foram 6 análises. Para cada um desses casos, foram verificados os pressupostos do modelo representado em (1) para que a Análise de Variância (ANOVA) pudesse ser realizada (VALGAS et al., 2019).

$$y_{ij} = \mu + b_i + t_j + e_{ij}; \quad i = 1, \dots, N; \quad j = 1, \dots, k, \quad (1)$$

em que:

y_{ij} é o valor observado da variável resposta na parcela com o tratamento j no bloco i ;

μ é a média geral;

b_i é o parâmetro que representa o efeito do i -ésimo bloco;

t_j é o parâmetro que representa o efeito do j -ésimo tratamento;

e_{ij} é um componente do erro aleatório associado ao j -ésimo tratamento do i -ésimo bloco.

Ao se verificar a normalidade e homogeneidade de variâncias dos resíduos do modelo (1) para as 6 análises constatou-se que tais pressupostos não foram atendidos. Assim, foram utilizados testes não-paramétricos para comparar os tratamentos (NERY; FERREIRA; CHAVES, 2005).

Uma vez que o delineamento foi o casualizado em blocos, o teste utilizado foi o teste de Friedman que é uma alternativa não-paramétrica ao teste da ANOVA (SAMEJIMA, 2023).

Testes de Friedman e de Nemenyi

Para realizar o teste de Friedman, deve-se criar uma tabela ($N \times k$) de postos, em que N é o número de blocos; k é o número de tratamentos. Para cada bloco individualmente, cada tratamento recebe um posto correspondente à ordem crescente do valor da variável resposta. Os postos variam de 1 a k .

A estatística do teste de Friedman (F_r) pode ser calculada por (2) (SIEGEL; CASTELLAN, 2006).

$$F_r = \frac{12 \sum_{j=1}^k R_j^2 - 3N^2k(k+1)^2}{Nk(k+1) + \frac{\left(Nk - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k s_{ij}^3 \right)}{(k-1)}}, \quad (2)$$

em que:

R_j é a soma dos postos no j -ésimo tratamento;

g_i é o número de observações de postos empatados no i -ésimo bloco e

s_{ij} é o tamanho do j -ésimo tratamento de postos empatados no i -ésimo bloco.

O valor F_r encontrado em (2) pode ser comparado ao valor da distribuição χ^2 com $k - 1$ graus de liberdade.

O teste de Friedman foi realizado separadamente para cada uma das 6 análises mencionadas anteriormente. Quando houve diferença significativa entre os tratamentos, como alternativa não-paramétrica ao teste de Tukey de comparações múltiplas, foi utilizado o teste de Nemenyi que faz comparações aos pares de tratamentos para dados provenientes de delineamento casualizado em blocos (DEMSAR, 2006).

A diferença mínima significativa (Δ) do teste de Nemenyi é dada por (3):

$$\Delta = \frac{q_\alpha}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{k(k+1)}{6N}} \quad (3)$$

em que, q_α é a amplitude total studentizada do teste de Tukey ao nível α de significância.

Para que haja diferença significativa entre os tratamentos j e j' ,

$$\left| \frac{R_j}{N_j} - \frac{R_{j'}}{N_{j'}} \right| > \Delta \quad (4)$$

em que, N_j é o número de observações do j -ésimo tratamento.

Todas as análises foram feitas no programa R (R CORE TEAM, 2023). Para as análises não-paramétricas foram utilizadas as funções `friedman.test` para o teste de Friedman e a função `frdAllPairsNemenyiTest`, da biblioteca `PMCMRplus` (POHLERT, 2023), para o teste de Nemenyi.

Resultados e discussão

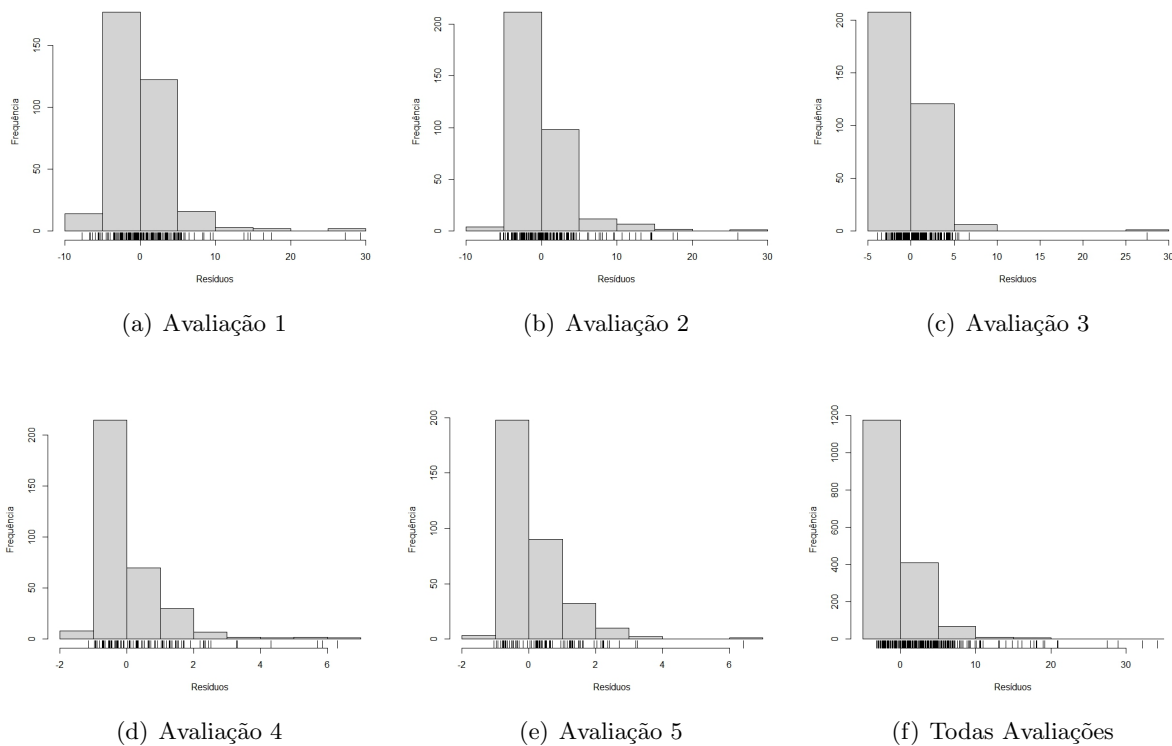
Para que a Análise de Variância (ANOVA) pudesse ser realizada, para cada uma das seis análises (Tabela 1 e Figura 2) foi verificado se o modelo (1) atende aos seus pressupostos.

Tabela 1: Valores-p para verificar os pressupostos do modelo (1) para realização da ANOVA.

	Normalidade dos Resíduos	Homogeneidade de Variância
Avaliação 1	< 0,001 **	0,171 ns
Avaliação 2	< 0,001 **	0,996 ns
Avaliação 3	< 0,001 **	0,664 ns
Avaliação 4	< 0,001 **	0,022 *
Avaliação 5	< 0,001 **	0,902 ns
Todas Avaliações	< 0,001 **	0,269 ns

Fonte: Autores.

Figura 2: Histogramas dos resíduos dos modelos para cada análise



Pelos resultados apresentados na Tabela 1 e também pela assimetria dos histogramas apresentados na Figura 2, observa-se que os pressupostos não foram atendidos para todas as 6 análises, assim, foi utilizado a abordagem não-paramétrica pelo teste de Friedman para comparação dos tratamentos. Seguem os cálculos do teste para a primeira avaliação.

Primeiramente, foi encontrada a tabela de postos (Tabela 2) para os valores da variável resposta “Quantidade de Ninfas Mortas”.

Calculando a estatística do teste de Friedman como em (2), sendo $N = 4$; $j = 1, \dots, k$, em que $k = 7$,

$$F_r = \frac{12 \times (4^2 + 18,5^2 + 17^2 + 18^2 + 15^2 + 22^2 + 17,5^2) - 3 \times 4^2 \times 7 \times (7 + 1)^2}{4 \times 7 \times (7 + 1) + \frac{(4 \times 7 - 34)}{7 - 1}} = 10,466,$$

Tabela 2: Postos das observações - Avaliação 1

	T	Ma1	Ma2	Ma3	Bb1	Bb2	Bb3
Bloco I	1	2	6	7	4	3	5
Bloco II	1	7	3	2	4	6	5
Bloco III	1	2,5	4	6	5	7	2,5
Bloco IV	1	7	4	3	2	6	5
R_j	4	18,5	17	18	15	22	17,5

Fonte: Autores.

uma vez que $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{g_i} s_{ij}^3 = 1 + 1 + \dots + 2^3 + 1 + \dots + 1 = 34$.

Comparando $F_r = 10,466$ com o valor da distribuição de $\chi_{6,0,10}^2 = 10,645$, observa-se que não é significativa (ns) a diferença entre os tratamentos a 0,10 de significância.

As comparações dos tratamentos pelo teste de Friedman para as 6 análises encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3: Estatística F_r , Grau de Liberdade (gl) e Valor-p para cada análise.

	F_r	gl	Valor-p
Avaliação 1	10,466	6	0,106 ns
Avaliação 2	12,888	6	0,045 *
Avaliação 3	8,676	6	0,193 ns
Avaliação 4	6,592	6	0,360 ns
Avaliação 5	4,156	6	0,656 ns
Todas Avaliações	13,286	6	0,039 *

Fonte: Autores.

O teste de Friedman foi significativo na comparação dos tratamentos na segunda avaliação e ao se juntar todas as 5 avaliações.

Em seguida, realizou-se o teste de Nemenyi de comparações múltiplas para as avaliações em que o teste de Friedman apresentou significância. Porém, como o valor-p para a Avaliação 1 ficou bem próximo de ser significativo ao nível de 0,10, realizou-se o teste de Nemenyi para tal avaliação também.

Pelo teste de Nemenyi, ao nível de 10% de significância, na primeira avaliação houve diferença entre T e Bb2. Na segunda avaliação, houve diferença entre T e Ma3. Ao juntar as cinco avaliações e fazer a comparação dos tratamentos, houve diferença significativa entre T e Ma3, tal como mostra a Tabela 4.

Tabela 4: Teste de Nemenyi

Avaliação	Contraste	Valor-p
Avaliação 1	T×Bb2	0,0503 .
Avaliação 2	T×Ma3	0,0309 *
5 Avaliações	T×Ma3	0,0792 .

Fonte: Autores.

Tais resultados indicam que a aplicação dos bioinseticidas, em questão, é eficiente quando comparado ao tratamento utilizando somente a testemunha.

Considerações Finais

Os testes não-paramétricos (Friedman e Nemenyi) se mostraram eficientes na comparação dos tratamentos para as seis análises.

Observa-se, portanto, que os tratamentos que foram mais eficientes no combate às ninfas de *Triozoida limbata* (Hemiptera: Triozidae) presentes na parte aérea de goiabeiras foram: 2 aplicações de *Beauveria bassiana* observado 21 dias após a primeira aplicação do tratamento e 3 aplicações de *Metarhizium anisopliae* observado 28 dias após a primeira aplicação do bioinseticida e o mesmo tratamento quando as 5 avaliações são agrupadas.

A aplicação do bioinseticida é eficiente quando comparado ao tratamento utilizando somente a testemunha.

Agradecimentos

À CAPES pelo apoio financeiro, Convênio PROFMAT/CAPES nº 848749/2017, ao CNPq pelo financiamento, processo nº 433049/2018-9 e à Koppert pelo fornecimento dos fungos.

Referências

- DEMSAR, J. Statistical Comparisons of Classifiers over Multiple Data Sets. *Journal of Machine Learning Research*, Ljubljana, Slovenia, v.7, p. 1-30, 2006.
- NERY, J.C.; FERREIRA, D.F.; CHAVES, L.M. Abordagem não-paramétrica do problema de Behrens-Fisher usando bootstrap. *Revista de Matemática e Estatística*, São Paulo, v.23, n.3, p. 71-85, 2005.
- OLIVEIRA, I.; UCHOA, M.A.; FERNANDES, M.G.; VIEIRA, C.R.Y.I; FACCENDA, O.; OLIVEIRA, I.S.T. Antixenosis of the trioqid, *Triozoida limbata* (Hemiptera: Triozidae) to some cultivars of *Psidium guajava*(Myrtaceae) in the field. *Florida Entomologist*, Florida, v.102, n.4, p. 695-700, 2019.
- POHLERT, T. PMCMRplus: Calculate Pairwise Multiple Comparisons of Mean Rank Sums Extended. R package version 1.9.7. 2023. URL <https://CRAN.R-project.org/package=PMCMRplu>.
- R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2023. URL <http://www.R-project.org/>.
- SAMEJIMA, K. Estatística Não-Paramétrica - Testes para k amostras. Instituto de Matemática e Estatística, Universidade Federal da Bahia - IME-UFBA. Disponível em: <https://shorturl.at/ehU8>. Acesso em: jul. 2023.
- SIEGEL, S.; CASTELLAN JR., N.J. *Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento. (Métodos de pesquisa)*. Tradução: Sara Ianda Correa Carmona, 2. ed. Porto Alegre: Grupo A, 2006. 474p. E-book. ISBN 9788536313580.
- VALGAS, R.A.; MARTINAZZO, R.; EMYGDIO, B.M.; BARBIERI, R.L. Análise de dados experimentais e verificação dos pressupostos da ANOVA: abordagem prática com o software R. *Embrapa Clima Temperado*. Pelotas, 2019. 35p. ISSN 1678-2518; Disponível em: <https://shorturl.at/gGPQT>. Acesso em: set. 2023.