

EFEITO DO NÚMERO DE REPETIÇÕES PARA O TESTE t DE STUDENT EM ESTUDO DE ESTRESSE ABIÓTICO EM SOJA

ALEXANDER JOSÉ DE SENA¹; GISELDA MARIA PEREIRA²; WILLIAN SILVA BARROS³

¹*Universidade Federal de Pelotas – asena774@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – gmpereira08@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – willian.barros@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

A soja possui grande relevância socioeconômica no cenário mundial, com o Brasil ocupando posição de destaque como maior produtor global, com safra estimada em 169,49 milhões de toneladas (CONAB, 2025). Dada a expressiva importância econômica dessa cultura, torna-se essencial compreender os efeitos das variáveis agroclimáticas para um planejamento mais eficiente da produção. A cultura da soja apresenta elevada suscetibilidade a estresses abióticos, especialmente ao déficit hídrico, que pode comprometer processos fisiológicos, reduzir o rendimento, afetar a qualidade dos grãos e até acelerar o ciclo produtivo (GOMES *et al.*, 2023; SANTOS *et al.*, 2024). Entretanto, a quantificação precisa desses efeitos é desafiadora, pois experimentos de campo e laboratório envolvem custos elevados e grande demanda de recursos, nem sempre viáveis.

Nesse contexto, a simulação computacional surge como alternativa promissora. O método de Monte Carlo possibilita a avaliação de diferentes cenários de variabilidade natural e erro experimental, representando situações que poderiam ocorrer em experimentos reais (LEE; LEE, 2018). Entre os aspectos avaliados, destaca-se o poder do teste estatístico, entendido como a capacidade de detectar efeitos de tratamento verdadeiramente existentes.

Assim, este estudo tem como objetivo avaliar o poder do teste em diferentes magnitudes de efeito de tratamento, considerando três níveis de repetição e distintos coeficientes de variação previamente definidos.

2. METODOLOGIA

O presente estudo fundamenta-se em dados e referências do trabalho de SANTOS *et al.* (2024), que investigou de forma detalhada os impactos de diferentes estresses sobre a cultura da soja. Essa pesquisa forneceu uma base consistente para compreender os desafios enfrentados por essa importante *commodity* agrícola.

No âmbito desta investigação, a variável de interesse foi a produtividade, mensurada em gramas por pote ($g \text{ pot}^{-1}$). Para fins comparativos e como referência analítica, a média geral de produtividade foi fixada em 32 g pot^{-1} , valor que serviu como parâmetro para avaliar possíveis reduções ou incrementos decorrentes da aplicação dos estresses simulados.

Os efeitos dos tratamentos foram estabelecidos como percentuais de variação em relação à média de referência, correspondendo a 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 50%, 100% e 200%, denominados T_{i0} a T_{i8} , respectivamente. Adicionalmente, o Quadrado Médio do Erro (QMERro) foi determinado a partir de coeficientes de variação (CV%) previamente fixados nos níveis de 1%, 3%, 5% até 51%, de acordo com a seguinte expressão:

$$QM\text{Erro} = \left(\frac{\bar{Y} - CV(\%)}{100} \right)^2$$

Onde \bar{Y} representa a média geral da produtividade (32 g pot^{-1}) e $CV(\%)$ é o coeficiente de variação experimental. Os valores do QM Erro obtidos variaram de $0,1024 \text{ (g pot}^{-1})^2$ até $266,3424 \text{ (g pot}^{-1})^2$, abrangendo 26 níveis distintos.

Com base nos dados de referência, foram planejados cenários para experimentos agrícolas no delineamento inteiramente casualizado, contendo três tratamentos com efeitos equidistantes, correspondentes aos cenários de Ti0 a Ti8. Cada cenário foi avaliado com três, cinco e dez repetições, obtidas por meio de simulação computacional utilizando o método de Monte Carlo com 1000 reamostragens. Isso resultou em um total de 702.000 ($9 \times 26 \times 3 \times 1000$) experimentos simulados.

Todas as simulações foram realizadas utilizando o software R (R CORE TEAM, 2024). Foram obtidos e analisados os resultados das análises de variância, médias, coeficientes de variação observado e contrastes, visando a avaliação detalhada dos efeitos dos tratamentos simulados.

Para a avaliação do erro do tipo I, foram utilizados os efeitos do tratamento Ti0, considerando três, cinco e dez repetições. Já para a análise do poder do teste, empregaram-se os efeitos dos tratamentos Ti1 a Ti8 em cada um dos 26 cenários com coeficientes de variação (CV%) previamente fixados. Os gráficos de linha referentes ao comportamento do erro tipo I e do poder do teste foram elaborados utilizando uma planilha eletrônica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados da simulação, verificou-se que tanto o coeficiente de variação (CV%) quanto a magnitude do efeito do tratamento são fatores determinantes para o poder do teste na detecção de diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 1A, 1B e 1C). Observou-se que, à medida que o CV% diminui e o efeito do tratamento aumenta, eleva-se a probabilidade de identificar corretamente a presença de um efeito real, refletindo maior sensibilidade e eficiência estatística do teste.

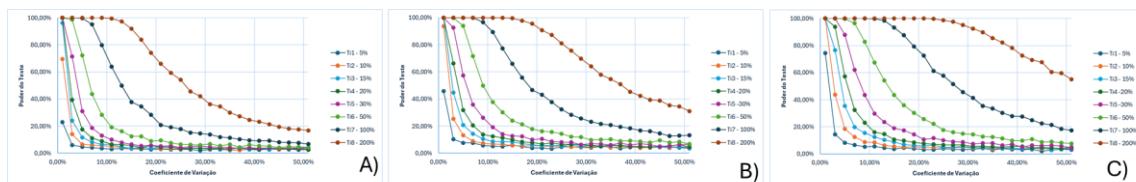


Figura 1 – Relação entre o poder do teste, o coeficiente de variação (CV%) e a magnitude do efeito de tratamento na produtividade da soja com três (A), cinco (B) e dez (C) repetições.

Observa-se que nos cenários com três repetições, mesmo com coeficientes de variação em torno de 5%, o poder do teste fica bastante comprometido quando os efeitos de tratamento são menores que 50%. À medida que os efeitos de tratamento aumentam para 100% e 200%, o poder do teste é satisfatório para coeficiente de variação até 13% e 20%, respectivamente. Nesses casos, o aumento do número de repetições configura-se como alternativa eficiente para reduzir o erro experimental, ampliar o poder do teste e possibilitar a detecção de efeitos de menor magnitude.

Para cinco e dez repetições (Figura 1B e 1C) foi observado um aumento no poder do teste para o tratamento Ti8 com CV% de 20. Observou-se também um aumento no poder do teste para os tratamentos Ti7, Ti8 e Ti6 em várias condições de variabilidade.

A Figura 2 apresenta os resultados relacionados ao erro tipo I. Independentemente do CV(%) e do número de repetições (três, cinco ou dez), a taxa de rejeição incorreta da hipótese nula manteve-se dentro do intervalo de 2 a 4%, valores próximos ao nível de significância de 5% adotado.

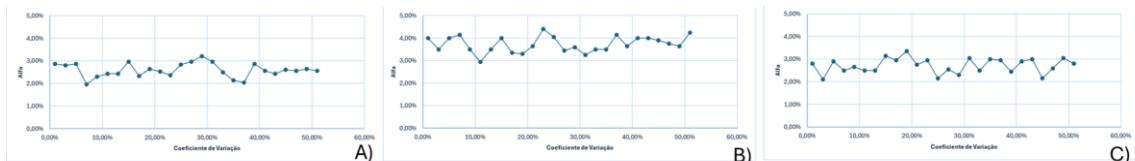


Figura 2 – Relação entre o erro do tipo I (alfa), o coeficiente de variação (CV%) da produtividade da soja, considerando: A) três repetições; B) cinco repetições; e C) dez repetições.

Constatou-se ainda que, mesmo em cenários de CV% elevado, o erro tipo I permaneceu estável e não apresentou tendência de crescimento. Isso demonstra que a variabilidade experimental afeta de forma mais acentuada o poder do teste do que a taxa de falsos positivos (MONTGOMERY, 2017).

Outro ponto relevante é que o número reduzido de repetições, por si só, não se mostrou fator determinante para o aumento do erro tipo I. Esse comportamento está de acordo com o esperado, uma vez que o erro do tipo I é definido pelo nível de significância previamente estabelecido e tende a permanecer estável, independentemente do tamanho da amostra, desde que os pressupostos do teste sejam atendidos (BUSSAB; MORETTIN, 2022). Assim, o principal impacto do número de repetições não se dá sobre o erro tipo I, mas sim sobre a magnitude do erro experimental (variância residual) e, consequentemente, sobre o poder do teste (STEEL; TORRIE; DICKEY, 1997).

Portanto, os resultados reforçam que a condução de experimentos agrícolas com maior número de repetições é fundamental para aumentar a probabilidade de detectar diferenças reais entre tratamentos (poder), mas não necessariamente para controlar o erro tipo I, o qual se manteve dentro do limite esperado em todos os cenários simulados.

4. CONCLUSÕES

A detecção de efeitos de tratamento na produtividade da soja depende da magnitude do efeito e do coeficiente de variação (CV%). O aumento no número de repetições mostrou-se essencial para reduzir o erro experimental, ampliar o poder do teste e possibilitar a identificação de diferenças de menor magnitude.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 10. ed. São Paulo: Saraiva, 2022.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, safra 2024/25. Brasília, 2025.

GOMES, M. D. A.; ALVES, R. E. A.; SILVA, F. L. **Efeito do estresse hídrico nas fases fenológicas de *Glycine max* (L.) Merr.** *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, Curitiba, v. 21, n. 12, p. 25816-25839, 2023.

LEE, S.; LEE, D. **Monte Carlo techniques in agricultural experiment design: an overview.** *Journal of Applied Statistics*, London, v. 45, n. 12, p. 2234-2250, 2018.
MONTGOMERY, D. C. *Design and Analysis of Experiments*. 9. ed. New York: John Wiley & Sons, 2017.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024.

SANTOS, S. O.; SOUSA, G. G.; VIANA, T. V. A.; OLIVEIRA, G. S.; GOES, G. F.; SILVA, A. O.; SILVA, A. R. A.; GOMES, K. R.; MUENGO, J. M. K.; NOGUEIRA, R. S. N. **Bacillus sp., formas de adubação e estresse salino na produção da soja.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 28, n. 4, e279072, 2024.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. **Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach.** 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1997.