

Seleção de modelos não lineares para descrição da perda de nitrogênio em fertilizantes estabilizados

Mírian Rosa^{†1}, Laryssa R. Calcagnoto¹, Isabela S. Lima¹, Adriele A. Pereira², Tales J. Fernandes³

¹Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, Universidade Federal de Lavras.

²Docente do Instituto de Ciências Sociais Aplicadas/ICSA, Universidade Federal de Alfenas.

³Docente do Departamento de Estatística/ICET, Universidade Federal de Lavras.

Resumo: O Brasil lidera a produção mundial de café. O emprego de novas tecnologias para fertilizantes, tem impulsionado de forma notável o aumento da produtividade de café no Brasil. A ureia é uma das principais fontes de nitrogênio convencionais utilizadas no Brasil e no mundo, porém ela apresenta significativas perdas de nitrogênio. O padrão de perda de nitrogênio por volatilização apresenta um comportamento semelhante ao formato de um sigmoide, evidenciando uma perda mais rápida, seguido de uma desaceleração gradual e tendendo à estabilidade em fases posteriores. O objetivo deste trabalho foi comparar o ajuste dos modelos não lineares Logístico, Gompertz e von Bertalanffy na perda acumulada de nitrogênio por volatilização da ureia + NBPT aplicados ao cafeeiro. Os dados estudados neste trabalho correspondem à primeira aplicação de ureia + NBPT no ano safra 2018/2019, de um experimento realizado em Santo Antônio do Amparo-MG. A avaliação da qualidade de ajuste foi realizada com base no coeficiente de determinação, critério de informação de Akaike e desvio padrão residual. O modelo von Bertalanffy foi o que apresentou o maior valor de coeficiente de determinação e menores valores de critério de informação de Akaike e desvio padrão residual. Sendo assim, este modelo apresenta uma melhor qualidade de ajuste. Sendo assim, o modelo não linear de von Bertalanffy foi o que melhor se ajustou a perda acumulada de nitrogênio da ureia + NBPT aplicados ao cafeeiro.

Palavras-chave: café; volatilização; ureia; modelo von Bertalanffy.

Selection of nonlinear models to describe nitrogen loss in stabilized fertilizers

Abstract: Brazil leads the world in coffee production. The use of new fertilizer technologies has notably boosted the increase in coffee productivity in Brazil. Urea is one of the main sources of conventional nitrogen used in Brazil and around the world, but it presents significant nitrogen losses. The pattern of nitrogen loss by volatilization presents a behavior similar to a sigmoid shape, showing a faster loss, followed by a gradual deceleration and tending to stability in later stages. The objective of this work was to compare the adjustment of the Logistic, Gompertz and von Bertalanffy nonlinear models on the accumulated nitrogen loss due to urea volatilization + NBPT applied to coffee plants. The data studied in this work correspond to the first application of urea + NBPT in the 2018/2019 harvest year, from an experiment carried out in Santo Antônio do Amparo-MG. The goodness-of-fit assessment was carried out based on the coefficient of determination, Akaike information criterion and residual standard deviation. The von Bertalanffy model was the one that presented the highest value of coefficient of determination and lowest values of Akaike information criterion and residual standard deviation. Therefore, this model presents a better fit quality. Therefore, the nonlinear von Bertalanffy model was the one that best adjusted the accumulated loss of nitrogen from urea + NBPT applied to the coffee plant.

Keywords: Coffee; volatilization; urea; von Bertalanffy model.

[†] Autora correspondente: mirianrosad@gmail.com.

Introdução

O Brasil lidera a produção mundial de café, respondendo por 33,7% da produção global em uma área de cultivo de 1,82 milhões de hectares (CONAB, 2022).

Segundo Souza et al. (2023), a variedade Arábica (*Coffea arabica L.*) é responsável por mais de três quartos da produção total do país, sendo cultivada em quase 80% da área destinada ao cultivo de café no Brasil, com 70% desse cultivo concentrado no estado de Minas Gerais. O emprego de novas tecnologias para fertilizantes, tem impulsionado de forma notável o aumento da produtividade de café no Brasil. Conforme ressaltam Santos et al. (2023), os fertilizantes nitrogenados são essenciais por fornecerem às plantas o elemento altamente requerido para o seu crescimento e desenvolvimento: nitrogênio.

De acordo com Chagas et al. (2016), a ureia é uma das principais fontes de nitrogênio convencionais utilizadas no Brasil e no mundo, porém ela apresenta significativas perdas de nitrogênio, que podem ocorrer principalmente devido à volatilização de amônia.

Diversas técnicas têm sido desenvolvidas para tornar o uso do nitrogênio mais eficiente, dentre elas, destaca-se a utilização de fertilizantes estabilizados contendo inibidores de urease, sendo que o composto N-n-butiltriamida tiofosfórico (NBPT) é considerado o mais eficiente neste caso (SOUZA et al., 2023).

A volatilização é a principal agente de perda de nitrogênio na agricultura brasileira, ela é causada por um processo de reação química, o que é influenciado pelas condições edáficas e climáticas (DOMINGHETTI et al., 2016).

O padrão de perda de nitrogênio por volatilização apresenta um comportamento semelhante ao formato de um sigmoide, evidenciando uma perda mais rápida, seguido de uma desaceleração gradual e tendendo à estabilidade em fases posteriores (TRENKEL, 2010). Essas curvas de perda de nitrogênio são, geralmente, bem representadas por modelos de regressão não linear.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é comparar o ajuste dos modelos não lineares Logístico, Gompertz e von Bertalanffy na perda acumulada de nitrogênio por volatilização da ureia + NBPT aplicados ao cafeeiro.

Materiais e Métodos

Os dados estudados neste trabalho correspondem à primeira aplicação de ureia + NBPT no ano safra 2018/2019, de um experimento realizado em Santo Antônio do Amparo – MG.

Foram quantificadas as perdas diárias de nitrogênio por volatilização determinadas no 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 7º, 9º, 11º, 14º, 17º, 21º dias após a adubação nitrogenada.

Foram trabalhados os modelos não lineares, Logístico, Gompertz e von Bertalanffy, descritos pelas equações (1), (2) e (3) respectivamente.

$$Y_i = \frac{\alpha}{1 + e^{\kappa(\beta - x_i)}} + \epsilon_i \quad (1)$$

$$Y_i = \alpha e^{-e^{\kappa(\beta - x_i)}} + \epsilon_i \quad (2)$$

$$Y_i = \alpha \left[1 - \frac{e^{\kappa(\beta - x_i)}}{3} \right]^3 + \epsilon_i \quad (3)$$

Em todos estes modelos, Y_i ($i=1;2;\dots;n$) é a i -ésima observação da perda acumulada de ureia + NBPT., x_i o i -ésimo dia após a aplicação, α é o valor assintótico, que pode ser interpretado como quantidade máxima acumulada de perda de ureia + NBPT, β é a abscissa do ponto de inflexão, indica o dia em que ocorre a perda máxima por volatilização, κ é o valor que indica o índice de precocidade e quanto maior for o valor de κ menos tempo será necessário para se atingir o valor de perda acumulada máxima (α) e ϵ_i é o erro aleatório associado à i -ésima observação, considerado independente e identicamente distribuído, com distribuição normal com média zero e variância σ_e^2 .

A avaliação da qualidade de ajuste foi realizada com base no coeficiente de determinação (R^2), critério de informação de Akaike (AIC) e desvio padrão residual (DPR).

O coeficiente de determinação (R^2) mede a quantidade de variabilidade nos dados que é explicada pelo modelo ajustado, sua medida varia de 0 a 1, sendo que valores mais próximos de 1 representam melhor ajuste e é definido por

$$R^2 = 1 - \frac{SQR}{SQT},$$

em que SQT é a soma de quadrados total, calculada como a diferença entre o valor observado e a média das observações.

O critério de informação de Akaike (AIC) proposto por Akaike (1974) considera a adequação dos dados e o grau de parametrização do modelo, sua principal característica é prevenir modelos superparametrizados. Esse critério é dado por

$$AIC = -2l(\hat{\theta}) + 2p,$$

sendo, $l(\hat{\theta})$ o logaritmo da função de máxima verossimilhança do modelo e p é o número de parâmetros.

Será indicado como o melhor modelo é o que apresentar menor valor de AIC, ou seja, esse modelo descreve melhor os dados.

O desvio padrão residual designa a distância média entre as estimativas do modelo e os valores observados. Ele é calculado pela expressão

$$DPR = \sqrt{QME},$$

em que, $QME = \frac{SQR}{n-p}$, no qual QME é o quadrado médio residual, SQR é a soma de quadrados residual, n é o tamanho da amostra e p é o número de parâmetros.

Sousa et al. (2014), ressaltam que quanto menor for o desvio padrão residual, melhor será o modelo ajustado.

A estimação dos parâmetros foi realizada por meio do método dos quadrados mínimos ordinários, com soluções obtidas por meio do processo iterativo de Gauss-Newton, utilizando o pacote *nls* do Software R.

Resultados e Discussões

Sabe-se que modelo que apresenta maior valor de coeficiente de determinação ajustado (R^2) e menores valores de desvio padrão residual (DPR) e de critério de informação de Akaike (AIC), apresentam um melhor ajuste.

A Tabela 1, mostra os valores do coeficiente de determinação ajustado (R^2), do desvio padrão residual (DPR), do critério de informação de Akaike (AIC) dos modelos Logístico, Gompertz e von Bertalanffy.

De acordo com a Tabela 1, o modelo von Bertalanffy foi o que apresentou o maior valor de R^2 e menores valores de AIC e DPR. Sendo assim, este modelo apresenta uma melhor qualidade de ajuste.

De acordo com as estimativas do modelo de von Bertalanffy, os fertilizantes estabilizados apresentaram uma quantidade máxima acumulada de perda (parâmetro α) igual a 4,8%. Este valor é baixo, o que segundo Salvador et al. (2023) é um resultado importante, pois demonstra que este fertilizante melhora a eficiência agrônômica

Tabela 1: Valores do coeficiente de determinação ajustado (R^2), desvio padrão residual (DPR) e do critério de informação de Akaike (AIC) dos modelos estudados.

Modelo	R^2	AIC	DPR
Logístico	0,9878	4,7786	0,2451
Gompertz	0,9927	-0,8432	0,1898
von Bertalanffy	0,9929	-1,1609	0,1871

Fonte: Dos autores (2023).

A taxa máxima de perda de nitrogênio por volatilização ocorreu aos 4,3 dias, estimativa obtida pela abcissa do ponto de inflexão (parâmetro β) do modelo de von Bertalanffy.

Este resultado corrobora com o de Freitas et al. (2022), em que para Ureia + NBPT aplicados ao cafeeiro encontraram perdas máximas aos 4,3 dias também.

Cantarella et al. (2008) encontraram resultados parecidos para cana de açúcar, as perdas por volatilização começaram no 4º dia.

Conclusão

Conclui-se que o modelo não linear de von Bertalanffy foi o que melhor se ajustou a perda acumulada de nitrogênio da ureia + NBPT aplicados ao cafeeiro.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos e a Universidade Federal de Lavras pelo auxílio financeiro para participar do Encontro Mineiro de Estatística (MGEST).

Referências

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, v. 19, n. 6, p. 716–723, 1974.

CANTARELLA, H. et al. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Scientia agrícola*, v. 65, p. 397-401, 2008.

CHAGAS, W. F. T. et al. Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlled-released urea in the coffee system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 40, n. 5, p. 497–509, 2016.

CONAB, 2022. *Acompanhamento da Safra Brasileira*, Boletim da Safra 2021. Brazilian National Food Supply Agency.

DOMINGHETTI, A. W. et al. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 40, p. 173-183, 2016.

FREITAS, T. et al. Technologies for Fertilizers and Management Strategies of N-Fertilization in Coffee Cropping Systems to Reduce Ammonia Losses by Volatilization. *Plants*, v. 11, n. 23, p. 3323, 2022.

R CORE TEAM. R: *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2023. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

SALVADOR, R. C. et al. Comparação da perda de nitrogênio em fertilizantes aplicados ao cafeeiro por meio das estimativas do modelo Gompertz. *Sigmae*, v. 12, n. 1, p. 90-95, 2023.

SANTOS, C. et al. Corn Cropping System And Nitrogen Fertilizers Technologies Affect Ammonia Volatilization In Brazilian Tropical Soils. *Soil Systems*, v. 7, n. 2, p. 54, 2023.

SOUZA, T. L. et al. Nitrogen fertilizer technologies: Opportunities to improve nutrient use efficiency towards sustainable coffee production systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 345, p. 108317, 2023.

TRENKEL, M. E. *Slow-and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture*. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010.