

LÓGICA FUZZY NA SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA AVEIA COM VALIDAÇÃO DA TECNOLOGIA DA UREIA DISSOLVIDA EM ÁGUA COMO FONTE DE NITROGÊNIO VIA ABSORÇÃO FOLIAR¹

**Cibele Luisa Peter², Cristhian Milbradt Babeski³, Juliana Aozane da Rosa⁴, Matheus
Guilherme Libardoni Meotti⁵, Pedro Diei⁶, José Antonio Gonzalez da Silva⁷**

¹ Projeto de pesquisa desenvolvido na UNIJUÍ;

² Bolsista PROSUC/CAPES, Doutoranda em Modelagem Matemática e Computacional, PPGMMC, UNIJUÍ;

³ Mestrando em Sistemas Ambientais e Sustentabilidade, PPGSAS, UNIJUÍ;

⁴ Doutoranda em Modelagem Matemática e Computacional, PPGMMC, UNIJUÍ;

⁵ Mestrando em Sistemas Ambientais e Sustentabilidade, PPGSAS, UNIJUÍ;

⁶ Mestrando em Sistemas Ambientais e Sustentabilidade, PPGSAS, UNIJUÍ;

⁷ Professor do curso de Agronomia, PPGSAS, PPGMMC, UNIJUÍ.

INTRODUÇÃO

A aveia (*Avena Sativa* L.) é um cereal de grande importância mundial, com múltiplos benefícios e elevado valor nutricional (PEREIRA et al., 2023). O nitrogênio é um componente essencial para o desenvolvimento da aveia, refletindo diretamente na produtividade de grãos (REGINATTO et al., 2022). O fertilizante nitrogenado mais utilizado é a ureia. No período recomendado de aplicação, nem sempre as condições de umidade de solo e temperatura do ar se mostram adequadas, levando a perdas do nutriente, com redução da produtividade e geração de impacto ambiental, principalmente a contaminação da água (REGINATTO et al., 2022). Avanços em tecnologias que melhorem a eficiência de uso do nitrogênio, pode garantir uma produção mais sustentável de aveia (DE MAMANN et al., 2020).

O nitrogênio é um elemento de fácil mobilidade nas plantas, com facilidade de absorção e translocação no tecido vegetal (ZHENG et al., 2018). Se levanta a hipótese da dissolução da ureia em água e aplicação via foliar, o que pode gerar o resfriamento e promover a abertura de estômatos, facilitando a absorção do nitrogênio. A importância de entender os avanços tecnológicos que vem transcorrendo na agricultura, trazendo relações dos ambientes cultivados, mostram a magnitude da modelagem no emprego de simulações (DE MAMANN et al., 2020). A modelagem via lógica fuzzy é uma ferramenta importante na resolução de problemas, permitindo a tomada de decisões, além da sua capacidade de compreender processos controlados e não controlados, comum no cenário agrícola (MANTAI, 2019). O objetivo deste estudo é adequar um modelo de lógica fuzzy na simulação da produtividade da aveia e validação

da tecnologia da ureia dissolvida em água como fonte de nitrogênio via absorção foliar, considerando as doses de nitrogênio e a não linearidade das condições meteorológicas.

METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido a campo, nos anos de 2021 e 2022 em dois sistemas de cultivo (soja/aveia e milho/aveia), na área experimental do Instituto Regional de Desenvolvimento Rural (IRDeR) em Augusto Pestana, RS, Brasil. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 2x7, para a forma de aplicação da ureia (sólida e dissolvida) e suas doses (0, 44, 88, 132, 176, 220 e 264 kg ha⁻¹). Portanto, considerando o percentual de 45% de nitrogênio contido na ureia, representam as doses de 0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio. A semeadura foi realizada com semeadora-adubadora na composição das unidades experimentais de 5m², utilizando a densidade populacional de 400 sementes viáveis por m². A cultivar utilizada para a realização do experimento foi a cultivar de aveia branca Brisasul. Em semeadura foi aplicado 60 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O, respectivamente, e de N na base com 10 kg ha⁻¹, sendo o restante em cobertura para contemplar as doses propostas de nitrogênio no estágio fenológico de quarta folha expandida (V4), com emprego da fonte ureia aplicada via solo e dissolvida aplicada via foliar. A adubação ocorreu em uma única aplicação na condição V3/V4, estágio fenológico de terceira e quarta folha expandida. A aplicação de forma dissolvida, foi realizada com pulverizador costal em máxima pressão constante no volume de água de 300 L ha⁻¹, utilizando pulverizador costal à pressão máxima de 25 psi e vazão de 1,05 L/min, com pontas de jato plano “cone”. A colheita dos grãos ocorreu de forma mecanizada pelo corte das três linhas centrais de cada parcela, que posteriormente foram direcionadas ao laboratório para correção da umidade de grãos para 13% e posterior pesagem para estimativa da produtividade. As variáveis meteorológicas foram obtidas pela estação meteorológica próxima à área experimental. A variável soma térmica foi obtida pelo somatório da diferença entre a temperatura média diária e a temperatura basal inferior ao desenvolvimento da cultura da aveia (4°C), no ciclo de cultivo. Após a obtenção dos dados da experimentação agrícola, foi realizada a análise de variância e análise de regressão quadrática na elaboração de equações que permitem estimar a máxima eficiência técnica (-b₁/2b₂). Para a simulação via lógica fuzzy, foi utilizada a função de pertinência triangular. Como variáveis de entrada foi utilizado o somatório da precipitação pluviométrica e da soma



térmica, e as doses de nitrogênio e como variável de saída a produtividade de grãos. Com a ajuda de um engenheiro agrônomo com experiência na cultura da aveia, foram estabelecidas as classes e os intervalos de classes para cada variável de entrada e saída, bem como, a base de regras que abrange a lógica fuzzy. Para as doses de nitrogênio, foi considerado o domínio de intervalo [0,60], pois para doses maiores de nitrogênio não se obteve valores expressivos de produtividades. Para a realização deste estudo foram utilizados os softwares Genes e Matlab.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância (dados não apresentados) nos distintos anos agrícolas houve ausência de diferença entre as fontes de nitrogênio, sendo a diferença apenas detectada entre as doses de nitrogênio. A ausência de interação fonte versus doses indicam o mesmo comportamento, independente da fonte sólida ou dissolvida. Assim, as análises foram realizadas não levando em consideração a fonte de nitrogênio. Na tabela 1, independente do sistema e ano de cultivo, o comportamento quadrático foi confirmado para a produtividade de grãos com parâmetro angular significativo. Em sistema soja/aveia, para o ano de 2021 e 2022 a eficiência técnica encontrada foi de 88 e 72 kg ha⁻¹ para uma produtividade de grãos de 1660 e 1836 kg ha⁻¹, respectivamente. No sistema milho/aveia, em 2021 e 2022 a eficiência técnica mostra valores ao redor de 90 kg ha⁻¹ do nutriente, com produtividade de grãos de 1568 e 1769 kg ha⁻¹, respectivamente. Na simulação da produtividade de grãos estimada pela dose de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, foi observado valores de produtividade muito próximos aos obtidos pela máxima eficiência técnica. Estes resultados são altamente relevantes, mostrando uma redução do nutriente com resultados similares de produtividade de grãos.

Tabela 1. Estimativa da máxima eficiência técnica pelas doses de nitrogênio à simulação de produtividade de grãos de aveia nos anos e sistemas de sucessão.

Ano	Dose N (kg ha ⁻¹)	Média (kg ha ⁻¹)	Equação PG=b ₀ +b ₁ x+b ₂ x ²	R ²	MET (kg ha ⁻¹)	PG _{N_{MET}} (kg ha ⁻¹)	PG ₆₀ (kg ha ⁻¹)
soja/aveia							
2021	0	1047					
	20	1304					
	40	1473					
	60	1622	1048+14,00x-0,08* x ²	99	88	1660	1600
	80	1697					
	100	1670					
	120	1642					

	0	1540					
	20	1657					
	40	1763					
2022	60	1806	$1523+8,67x-0,06x^2$	96	72	1836	1827
	80	1874					
	100	1789					
	120	1680					
milho/aveia							
	0	897					
	20	1142					
	40	1326					
2021	60	1412	$883+14,81x-0,08x^2$	97	93	1568	1484
	80	1561					
	100	1542					
	120	1385					
	0	980					
	20	1294					
	40	1390					
2022	60	1632	$961+17,05x-0,09x^2$	95	95	1769	1660
	80	1835					
	100	1736					
	120	1635					

Dose N= dose de nitrogênio; R²= coeficiente de determinação; * = significativo a 5% de probabilidade de erro, pelo teste t; MET= máxima eficiência técnica; PGN_{MET}= produtividade de grãos estimada pela dose de nitrogênio obtida pela máxima eficiência técnica; PG₆₀ = produtividade de grãos estimada pela dose de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Na tabela 2, estão apresentados os dados observados por bioexperimentação e os dados simulados via lógica fuzzy. Destaca-se que no sistema soja/aveia, foram observados valores mais expressivos de erro absoluto quando comparados ao sistema milho/aveia. Como exemplo, em sistema soja na condição de fornecimento de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, soma térmica de 1740 graus dia⁻¹ e precipitação pluviométrica de 700 milímetros o valor de produtividade de grãos observada foi de 1714 kg ha⁻¹ com valor simulado via lógica fuzzy de 1760 kg ha⁻¹. Nessas mesmas condições, em sistema milho, a produtividade de grãos observada foi de 1521 kg ha⁻¹ com valor simulado de 1620 kg ha⁻¹, evidenciando valores de erro absoluto reduzidos. Observa-se que em nenhum sistema de cultivo os valores de erro ultrapassaram a marca de 200 kg ha⁻¹ de produtividade de grãos, evidenciando que o modelo fuzzy proposto pela função de pertinência triangular é eficiente para a simulação.

Tabela 2. Lógica fuzzy na simulação da produtividade de grãos pelo nitrogênio, soma térmica e precipitação pluviométrica nos diferentes sistemas de cultivo.

Dose N (kg ha ⁻¹)	ST (graus dia ⁻¹)	PL (mm)	PG _o (kg ha ⁻¹)	Fuzzy F _{TG}	EA _{TG}
soja/aveia					
0			1294	1070	224
20	1740	700	1480	1320	160
40			1618	1500	118
60			1714	1760	46
milho/aveia					
0			939	878	61
20	1740	700	1218	1270	52
40			1358	1460	102
60			1521	1620	99

Dose N= dose de nitrogênio; ST= soma térmica; PL= precipitação pluviométrica; PG_o = produtividade de grãos observada; F_{TG}= fuzzy triangular; EA_{TG}= erro absoluto fuzzy triangular

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de lógica fuzzy simula valores satisfatórios para a produtividade de grãos de aveia na validação da tecnologia da ureia dissolvida em água envolvendo as doses de nitrogênio com a ação combinada dos elementos meteorológicos.

Palavras-chave: *Avena Sativa* L. Sustentabilidade. Inteligência Artificial. Agenda 2030.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DE MAMANN, Â. T.W. et al. Diffuse system simulating wheat productivity by nitrogen and temperature in the use of biopolymers. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 289-297, 2020.

MANTAI, R. D. Modelagem matemática das relações biológicas e ambientais do uso do nitrogênio à produtividade e qualidade industrial e nutricional de grãos de aveia. 2019. 256 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2019.

PEREIRA, L. M. et al. Adaptability and Stability of Oat Cultivars to Reduce Fungicide Use with Satisfactory Productivity. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. e03417-e03417, 2023.

REGINATTO, D. C. et al. Sustainable management of nitrogen in oats based on stability parameters. **Genetics and Molecular Research**, v. 21, n. 4.

ZHENG, C. et al. Effects of foliar nitrogen applications on the absorption of nitrate nitrogen by cotton roots. **Cotton Sci**, v. 30, p. 338-343, 2018.