

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

LÓGICA FUZZY NA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE PROTEÍNA DE GRÃOS DE AVEIA PELO NITROGÊNIO, TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO¹

FUZZY LOGIC IN ESTIMATING OAT GRAIN PROTEIN CONTENT BY NITROGEN, TEMPERATURE AND PRECIPITATION

Eduarda Warmbier², Rubia Diana Mantai³, Cibele Luisa Peter⁴, Odenis Alessi⁵, Juliana
Aozane da Rosa⁶, José Antonio Gonzalez da Silva⁷

¹ Pesquisa institucional desenvolvida no Departamento de Estudos Agrários-DEAg/UNIJUI

² Mestranda em Modelagem Matemática, UNIJUI, e-mail: eduarda.warmbier2017@gmail.com

³ Doutora em Modelagem Matemática, UNIJUI, e-mail: rdmantai@yahoo.com.br

⁴ Mestranda em Modelagem Matemática, UNIJUI, e-mail: cibele.peter2017@gmail.com

⁵ Doutorando em Modelagem Matemática, UNIJUI, e-mail: odenisalessi@hotmail.com

⁶ Doutoranda em Modelagem Matemática, UNIJUI, e-mail: juliana.aozane@unijui.edu.br

⁷ Professor Orientador, DEAg/UNIJUI, e-mail: jagsfaem@yahoo.com.br

Resumo: A lógica *fuzzy* é uma das ramificações da inteligência artificial, sendo capaz de simular sistemas de alto grau de complexidade e auxiliar na busca de soluções. Ela é utilizada em diversas áreas da ciência, ganhando destaque na agricultura, visto que os elementos meteorológicos como as oscilações de temperatura e precipitação pluviométrica se caracterizam como variáveis não controladas que interferem decisivamente na produtividade das espécies. Desta forma, existe a necessidade de desenvolvimento de simuladores para relacionar tais variáveis. A aveia branca (*Avena sativa* L.) é um cereal que propicia inúmeros benefícios para a alimentação animal e cobertura de solo. Além disso, apresenta grande qualidade proteica para a alimentação humana. No entanto, esses fatores estão diretamente ligados com a qualidade do desenvolvimento da planta, adubação nitrogenada e condições meteorológicas. A eficiência de fertilizantes nitrogenados em condições desfavoráveis pode ser afetada por volatilização ou lixiviação. Desta forma, existe a dificuldade da obtenção de modelos que simulem as características químicas de grãos de aveia envolvendo manejos controlados, como o nitrogênio, e fatores não controlados, como as condições meteorológicas. O objetivo do estudo é desenvolver um modelo de lógica *fuzzy* na simulação da qualidade proteica de grãos de aveia, considerando o uso de nitrogênio e a não linearidade das condições ambientais. No desenvolvimento da lógica *fuzzy* foi considerada a função de pertinência triangular e o método de inferência Mamdani. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com 4 repetições, seguindo um esquema fatorial 4 x 2, com quatro doses de nitrogênio (0 kg ha⁻¹, 30 kg ha⁻¹, 60 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹) e duas cultivares (Barbarasul e Brisasul), no sistema de cultivo soja/aveia nos anos agrícolas de 2011 a 2016. O modelo fuzzy se adequa aos processos de biosistemas, representando inovação com potencialidade de uso na perspectiva de simulação, essencialmente em situações onde é necessário lidar com a incerteza e subjetividade, circunstâncias comuns na agricultura.

Abstract: Fuzzy logic is one of the ramifications of artificial intelligence, being able to simulate systems of high degree of complexity and assist in the search for solutions. It is used in several areas of science, gaining prominence in agriculture, since meteorological elements such as temperature fluctuations and rainfall are characterized as uncontrolled variables that decisively interfere in species productivity. Thus, there is a need to develop simulators to relate such variables. White

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

oats (*Avena sativa* L.) is a cereal that provides numerous benefits for animal feed and ground cover. In addition, it has great protein quality for human consumption. However, these factors are directly linked to the quality of the plant's development, nitrogen fertilization and weather conditions. The efficiency of nitrogen fertilizers in unfavorable conditions can be affected by volatilization or leaching. Thus, there is a difficulty in obtaining models that simulate the chemical characteristics of oat grains involving controlled management, such as nitrogen, and uncontrolled factors, such as weather conditions. The objective of the study is to develop a fuzzy logic model to simulate the protein quality of oat grains, considering the use of nitrogen and the non-linearity of environmental conditions. In the development of fuzzy logic, the triangular membership function and the Mamdani inference method were considered. The experimental design was randomized blocks with 4 replications, following a 4 x 2 factorial scheme, with four nitrogen doses (0 kg ha⁻¹, 30 kg ha⁻¹, 60 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹) and two cultivars (Barbarasul and Brisasul), in the soybean / oat cultivation system in the agricultural years 2011 to 2016. The fuzzy model is suitable for biosystems processes, representing innovation with potential for use in the perspective of simulation, essentially in situations where it is necessary deal with uncertainty and subjectivity, common circumstances in agriculture.

Palavras-chave: *Avena sativa* L., inteligência artificial, qualidade nutricional.

Keywords: *Avena sativa* L., artificial intelligence, nutritional quality.

1 INTRODUÇÃO

A inteligência artificial representa uma importante ferramenta no desenvolvimento de pesquisas, devido a sua aplicabilidade em diferentes áreas da ciência. A lógica *fuzzy*, caracterizada como um dos ramos da inteligência artificial, é utilizada para resolver problemas complexos, auxiliando na simulação e na tomada de decisões (MARRO et al., 2010; GODOY, 2020). Na agricultura, pode ser utilizada na previsão de safras, simulações de fatores químicos e fisiológicos de plantas.

A aveia branca (*Avena sativa* L.) vem crescendo em produção durante a estação fria do ano no sul do Brasil, considerada um cereal de múltiplos propósitos. Pode ser utilizada como adubo verde na cobertura e proteção de solo, na forma de pastagens, feno, silagem e composição de rações para alimentação animal. Na alimentação humana, por ser um alimento funcional, traz grandes benefícios à saúde, pelo seu índice elevado de nutrientes, incluindo as proteínas (MANTAI et al., 2015). Destaca-se entre os outros cereais por seu conteúdo e qualidade proteica, que varia de 12,40 a 24,50% no grão descascado (WEBER, GUTKOSKI e ELIAS, 2002). Para o melhor desenvolvimento da planta é necessário fazer uso da adubação nitrogenada. O fertilizante mais utilizado é a ureia, a qual apresenta em sua composição 45% de nitrogênio (MANTAI et al., 2015).

Para a máxima expressão do potencial de produtividade e qualidade dos grãos da aveia, é necessário o ajuste de técnicas de manejo que proporcionem uma melhor eficiência de absorção e metabolização do nitrogênio pela planta, nutriente decisivo para o desenvolvimento, produtividade e qualidade (SILVA et al., 2016). Na aplicação da ureia, uma grande porcentagem do produto pode ser perdida por lixiviação ou volatilização, processos causados por fatores meteorológicos, como precipitações pluviométricas e temperaturas intensas. Neste contexto, há a necessidade de modelos que permitam a inclusão de parâmetros ligados à planta, envolvendo manejos e a não linearidade da precipitação

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

pluviométrica e temperatura do ar.

O emprego de lógica *fuzzy* pode permitir simulações e proposições mais precisas da concentração da proteína em grãos de aveia, em função de variáveis controladas e não controladas. O objetivo do estudo é desenvolver um modelo de lógica *fuzzy* na simulação da qualidade proteica de grãos de aveia, considerando o uso de nitrogênio e a não linearidade das condições ambientais.

2 METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado nos anos de 2011 a 2016 na área experimental do Instituto Regional de Desenvolvimento Rural (IRDeR) pertencente ao Departamento de Estudos Agrários (DEAg) da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ) no município de Augusto Pestana-RS. Na semeadura, foi utilizada semeadora-adubadora na composição da parcela com 5 linhas com 5 metros de comprimento cada, e espaçamento entre linhas de 0,20 m, correspondendo a uma unidade experimental de 5 m². O delineamento experimental foi de blocos casualizados com 4 repetições, seguindo um esquema fatorial 4 x 2, com quatro doses de nitrogênio (0 kg ha⁻¹, 30 kg ha⁻¹, 60 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹) e duas cultivares de aveia branca (Barbarasul e Brisasul), no sistema de cultivo soja/aveia. Para a realização das análises, foi calculada a média dos resultados de ambas as cultivares.

A colheita ocorreu aproximadamente aos 120 dias de cultivo, sendo realizado o corte das três linhas centrais de cada parcela, que após trilhadas com colheitadeira estacionária, foram direcionadas ao laboratório para correção da umidade de grãos para 13% e posterior pesagem para estimativa da produtividade, convertida para a unidade de um hectare. Para quantificação da proteína total dos grãos de aveia, amostras de 300 grãos não descascados foram encaminhados para análise química realizada através da espectrofotometria do infravermelho proximal – NIR (*Near Infrared Reflectance*), no laboratório de bromatologia da UNIJUÍ. As variáveis meteorológicas como temperatura mínima e máxima e a precipitação pluviométrica foram obtidas através da estação meteorológica automatizada, instalada a 200 metros do experimento.

Após a obtenção dos dados, foi aplicada análise de variância (ANOVA), com nível de significância de 5%, a fim de identificar os efeitos principais e de interação. Visando a simulação da proteína total dos grãos da aveia, desenvolveu-se um modelo via lógica *fuzzy*. Utilizou-se o Sistema Baseado em Regras Fuzzy (SBRF), implementado pelo *Toolbox Fuzzy Logic* do software Matlab. Foram consideradas como variáveis de entrada a temperatura mínima, temperatura máxima, precipitação pluviométrica, ano de cultivo e dose de nitrogênio, e como variável de saída a proteína total dos grãos. A modelagem foi realizada pelo método de inferência de Mamdani, com emprego do conectivo “e” para avaliação das regras, funções de pertinência do tipo triangular, e defuzzificação pelo método do menor valor da função máxima de associação agregada.

Com a ajuda de um engenheiro agrônomo com experiência na cultura da aveia, foram determinadas as classes e intervalos para cada variável de entrada e saída, assim como, para a base de regras que contempla a lógica de incertezas *fuzzy*. Para a temperatura mínima (°C), foi considerado o domínio de intervalo [8; 12,5], para a temperatura máxima (°C) considerou-se o domínio de intervalo [21; 23,5], e para a precipitação pluviométrica (mm), foi definido o domínio de intervalo [500; 850]. Estas três variáveis meteorológicas foram classificadas em baixa (B), média (M) e alta (A). Os anos de cultivos foram classificados em desfavorável (AD), intermediário (AI) e favorável (AF), codificando-os em

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

0, 1 e 2, respectivamente. Para as doses de adubação nitrogenada (kg ha^{-1}) foi considerado o domínio de intervalo $[0, 120]$, classificados em muito baixa (MB), baixa (B), moderada (MD), alta (A) e muito alta (MA). Na variável de saída os intervalos de imagem representam o valor máximo e o mínimo dos dados coletados experimentalmente, considerando as médias dos anos de avaliação. Portanto, para a proteína total (g kg^{-1}) com um intervalo $[90, 120]$, sendo dividida em sete intervalos equidistantes, classificados em muito baixa (MB), baixa (B), moderadamente aceitável (MA), aceitável (AC), relativamente alta (RA), alta (A) e excelente (E).

A Tabela 1 apresenta as variáveis de entrada e saída com suas respectivas classes e amplitudes no sistemas soja/aveia. Devido a quantidade de variáveis de entrada e classes, foi formulado uma base com 405 regras linguísticas para a variável de saída (dados não apresentados).

Tabela 1. Classes das variáveis de entrada e saída utilizadas na base de regras lógica *fuzzy* para a simulação da proteína total de grãos de aveia.

Variável	Classe	Amplitude de Classe			Variável	Classe	Amplitude de Classe				
		V_{\min}	Vértice	V_{\max}			V_{\min}	Vértice	V_{\max}		
Variáveis de entrada	\bar{T}_{\min}	B	8	8	Variáveis de entrada	N	MB	0	0	30	
		M	8	10,2			B	0	30	60	
		A	10,2	12,5			12,5	MD	30	60	90
	\bar{T}_{\max}	B	21	21			A	60	90	120	
		M	21	22,2			23,5	MA	90	120	120
		A	22,2	23,5			23,5	Variável de saída	PT	MB	90
ΣPP	B	500	500	675	B	90	96			100	
	M	500	675	850	MA	96	100			104	
	A	675	850	850	AC	100	105			109	
Ano	AD	0	0	1	RA	104	109			113	
	AI	0	1	2	A	109	114			118	
	AF	1	2	2	E	113	120	120			

V_{\min} = valor mínimo da forma triangular; V_{\max} = valor máximo da forma triangular; \bar{T}_{\min} = temperatura média mínima ($^{\circ}\text{C}$); \bar{T}_{\max} = temperatura média máxima ($^{\circ}\text{C}$); ΣPP = precipitação pluviométrica (mm); N= dose de nitrogênio (kg ha^{-1}); AD= ano desfavorável; AI= ano intermediário; AF= ano favorável; PT = proteína total (g kg^{-1}); B = baixa; M = média; MD = moderada; A= alta; MB = muito baixa; MA = moderadamente aceitável; AC = aceitável; RA = relativamente alta; E = excelente.

Para validação da base de regras e verificação da eficiência do modelo *fuzzy* foi considerado o comportamento de regressões obtidas pelos pontos observados e simulados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados acerca da proteína total dos grãos de aveia são apresentados na Tabela 2, na qual estão os valores reais da proteína total simulados pela lógica *fuzzy* a partir das médias de temperatura mínima e máxima e de precipitação pluviométrica dos distintos anos de cultivo e as condições da adubação nitrogenada em sistema soja/aveia. Os anos de cultivos 2012 e 2014 foram classificados

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

em anos desfavoráveis (AD); 2015 e 2016 como anos intermediários (AI); e 2011 e 2013 como anos favoráveis (AF) à produtividade de grãos. Em condições reais de cultivo, o incremento do nitrogênio reflete em aumento da proteína. Além disso, os resultados simulados encontram-se muito próximos aos observados, com erros absolutos menores que o desvio padrão dos dados observados. Essas condições geram confiabilidade no modelo *fuzzy* para simulação da proteína total dos grãos de aveia e qualificam as variáveis de entrada como apropriadas ao reconhecimento de padrões da lógica *fuzzy*. Nesta perspectiva, o modelo de fuzzificação representa uma grande inovação com potencialidade de uso na simulação da qualidade nutricional de grãos de aveia a partir de informações do manejo do nitrogênio com as condições meteorológicas dos anos de cultivo.

Tabela 2. Lógica *fuzzy* na simulação da proteína total em grãos da aveia pelo uso do nitrogênio, temperatura média e precipitação pluviométrica.

Ano	Temperatura Média (°C)		$\sum PP$ (mm)	Dose N (kg ha ⁻¹)	Vo (kg ha ⁻¹)	DP (kg ha ⁻¹)	Vs (kg ha ⁻¹)	EA (kg ha ⁻¹)
	T _{min}	T _{max}						
Proteína total								
2011 (AF)	10,1	22,4	767	0	105	2,7	105	0
				30	107	2,4	109	2
				60	112	2,6	114	2
				120	119	5,5	118	1
2012 (AD)	11,5	22,2	698	0	103	3,2	105	2
				30	106	2,8	105	1
				60	110	2,2	109	1
				120	120	5,8	118	2
2013 (AF)	8,7	21,2	510	0	98	4,4	100	2
				30	102	2,6	100	2
				60	103	2,1	105	2
				120	107	2,0	109	2
2014 (AD)	11,9	22,9	844	0	99	2,9	100	1
				30	101	5,5	100	1
				60	103	4,5	105	2
				120	106	5,0	105	1
2015 (AI)	12,3	22,0	651	0	108	3,9	109	1
				30	109	5,0	109	0
				60	110	3,5	109	1
				120	112	3,9	114	2
2016 (AI)	9,9	23,5	625	0	95	5,5	96	1
				30	97	2,6	96	1
				60	102	4,9	100	2
				120	115	1,8	114	1

T_{min} = temperatura média mínima; T_{max} = temperatura média máxima; $\sum pp$ = precipitação pluviométrica; N= dose de nitrogênio; Vo= valor observado; Vs= valor simulado pela lógica *fuzzy*; EA= erro absoluto; DP= desvio padrão do valor observado; AD= ano desfavorável; AI= ano intermediário; AF= ano favorável.

A inteligência artificial e as técnicas de processamento de dados e simulação, como a lógica *fuzzy*, estão sendo utilizadas para explicar o desenvolvimento de sistemas complexos na agricultura. Nesta perspectiva, Silva et. al. (2010b), utilizaram o sistema de classificação *fuzzy*, para analisar a fertilidade de uma área experimental com base em atributos químicos do solo e sua relação com a produtividade do café com alta relação sobre a produtividade. Mamann et al., (2018) fizeram uso de lógica *fuzzy* para a simulação da produtividade de trigo pelo uso de nitrogênio combinado com o uso de biopolímero retentores de umidade do solo. Godoy et al. (2020) utilizaram a lógica *fuzzy* aplicada

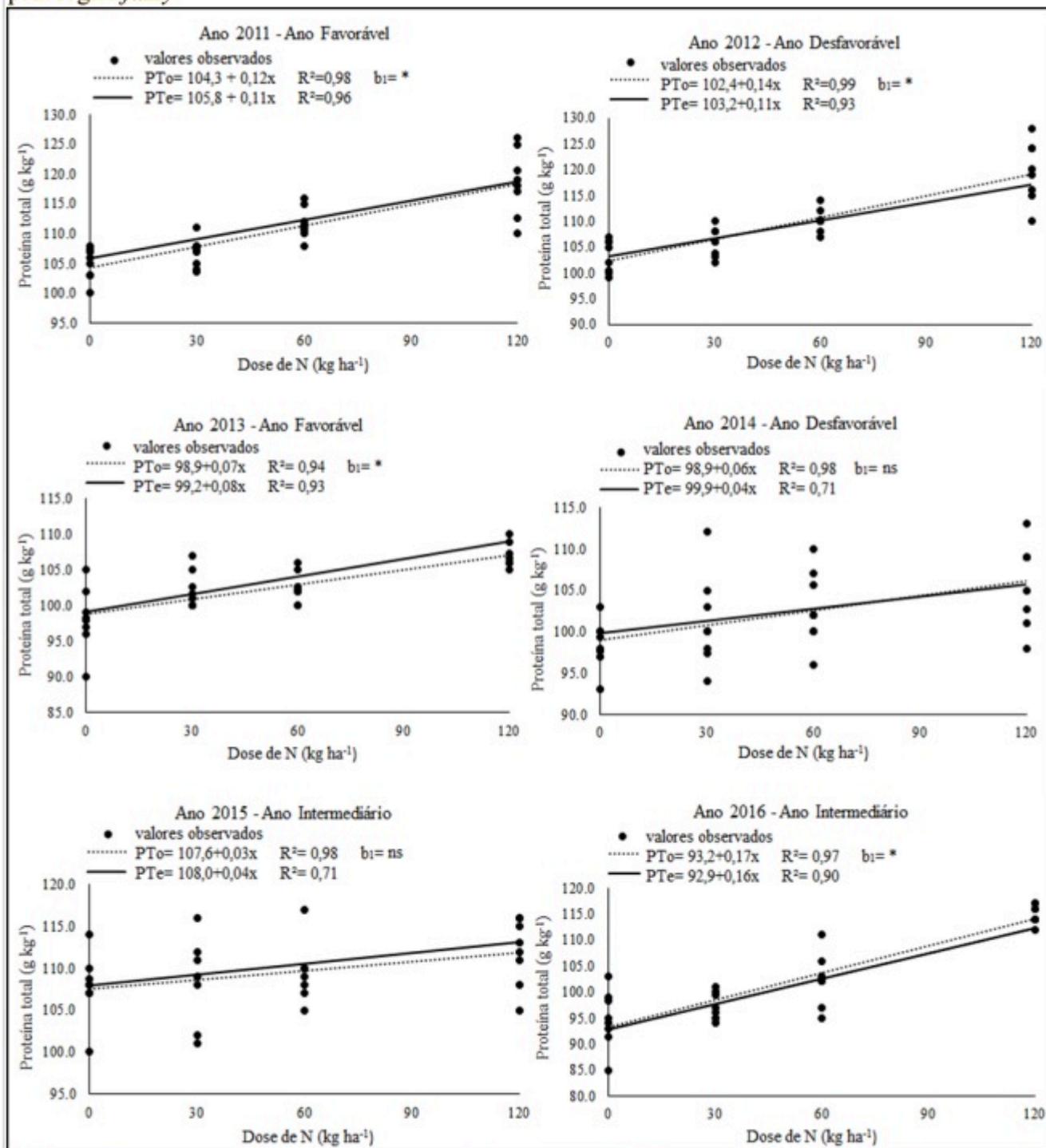
Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

à energia solar.

Por meio dos valores referentes ao teor de proteína total dos grãos de aveia observados em campo e dos simulados pela programação *fuzzy*, a Figura 1 apresenta o comportamento e parâmetros da equação para interpretação biológica do aproveitamento do nitrogênio à proteína total. É considerado em cada modelo o ponto de partida de desempenho, dado pelo coeficiente linear (a) e da inclinação da reta pelo coeficiente angular (bx) na comparação entre os dados reais e os simulados pela fuzzificação. O parâmetro bx da equação linear fornece a eficiência agrônômica, indicando a relação existente entre a o conteúdo de proteína total obtida por unidade de nitrogênio fornecida.

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

Figura 1. Comportamento da proteína total dos grãos de aveia a partir de dados observados e estimado pela lógica fuzzy.



P_{To} = equação da proteína total de aveia a partir dos dados observados; P_{Te} = equação da proteína total de aveia a partir dos dados estimados pela lógica fuzzy; R² = coeficiente de determinação; b₁ = probabilidade do parâmetro de inclinação; * = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; ns = não significativo

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

A tendência e valores de inclinação na estimativa do comportamento e eficiência agrônômica se mostraram próximas entre os valores reais e simulados. Além disso, os valores dos coeficientes lineares das equações que representam a proteína total observada e simulada foram similares. Destaca-se como exemplo, o ano 2011, favorável ao cultivo, mostrando que a cada 1 kg de nitrogênio fornecido por hectare há incremento de 0,12 g de proteína total em 1 kg de grão de aveia produzido na condição real de cultivo, e retorno de 0,11 g de proteína total considerando resultados da simulação. Estas condições, validam o uso da programação realizada pela interpretação de dados linguísticos na previsibilidade do conteúdo de proteína total em grãos de aveia.

Em gramíneas como a aveia, a adubação nitrogenada associada às técnicas de manejo são práticas agrícolas decisivas para a produtividade e qualidade industrial e química de grãos (HAWERROTH et al., 2015a; ARENHARDT et al., 2015). Também, as condições meteorológicas alteram a eficiência de uso do nitrogênio pela planta, implicando em maior instabilidade de produtividade (ARENHARDT et al., 2015). A variabilidade da temperatura do ar é o fator de maior influência na definição do ciclo de desenvolvimento da aveia, a qual requer regiões com baixas temperaturas e adequada distribuição de chuvas de pouca intensidade (CORDEIRO et al., 2015). Portanto, a temperatura e a precipitação pluviométrica propiciam grandes mudanças na produtividade e qualidade industrial e nutricional da cultura (PARRY et al., 2011).

Aliado a estes fatores, a lógica *fuzzy* mostra-se eficiente em diferentes contextos. Janarthanan et al. (2020) utilizaram a lógica *fuzzy* em um sistema de irrigação e observaram que ele economiza o uso de água e outros nutrientes para progredir no rendimento da colheita. Esmatullah e Mustafa (2020) aplicaram a lógica *fuzzy* para previsão de incêndio em minas subterrâneas de carvão na Turquia. A imprevisibilidade de aspectos presentes nas diversas áreas da ciência torna a lógica *fuzzy* uma importante ferramenta de auxílio para simulações.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A lógica fuzzy simula com eficiência a qualidade nutricional de grãos de aveia voltada a proteína total de grãos, pelas variáveis de entrada doses de nitrogênio em cobertura, temperatura mínima e máxima e a precipitação pluviométrica, por categoria de ano agrícola favorável, intermediário e desfavorável.

O modelo fuzzy se adequa aos processos de biosistemas, representando inovação com potencialidade de uso na perspectiva de simulação, essencialmente em situações onde é necessário lidar com a incerteza e subjetividade, circunstâncias comuns na agricultura.

REFERÊNCIAS

ARENHARDT, E. G., SILVA, J. A. G. da, GEWEHR, E., OLIVEIRA, A. C. de, BINELLO, M. O., VALDIERO, A.C., GZERGORCZICK, M. E., LIMA, A. R. C. de. The supply of nitrogen in wheat 239 yield by year condition and succession system in southern Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, 10(48): 4322-4330, 2015

CORDEIRO, M. B., DALLACORT, R., FREITAS, P. S., JUNIOR, S.S., SANTI, A., FENNER, W. Aptidão agroclimática do trigo para as regiões de Rondonópolis, São José do Rio Claro, São Vicente

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

e Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil. **Revista Agro@ambiente** 9(1):96- 101, 2015

ESMATULLAH, D., MUSTAFA, O., Application of Fuzzy Logic for Predicting of Mine Fire in Underground Coal Mine, **Safety and Health at Work**, 2020

GODOY, F. O. de, GODINHO, E. Z., DALTIM, R. S., LIMA, C. F. de. Utilização da lógica fuzzy aplicada à energia solar. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, 2020

GOMIDE, F. A. C., GUDWIN, R. R. Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. **SBA controle & Automação**, v. 4, n. 3, p. 97-115, 1994

HAWERROTH, M. C., SILVA, J. A. G., WOYABB, L. G., ZIMMER, C.M., GROLI, E. L., OLIVEIRA, A. C., CARVALHO, F. I. F. Correlations among industrial traits in oat cultivars grown in different locations of Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, 9(12):1182-1189, 2015a

MAMANN, A. T. W. de, BREZOLIN, A. P., SCREMIN, A. H., REGINATTO, D. C., HENRICHSEN, L., DORNELLES, E. F., SILVA, J. A. G. da. Lógica fuzzy na simulação da produtividade de trigo por nitrogênio e hidrogel. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, 2018

MANTAI, R. D., SILVA, J. A. G. da, SAUSEN, A. T., COSTA, J. S., FERNANDES, S. B., UBESSI, C. A eficiência na produção de biomassa e grãos de aveia pelo uso do nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 343-349, 2015

MARRO, A. A., SOUZA, A. D. C., CAVALCANTE, E. D. S., BEZERRA, G. S., NUNES, R. O. Lógica fuzzy: conceitos e aplicações. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2010

PARRY, M. A. J., REYNOLDS, M., SALVUCCI, M. E., RAINES, C., ANDRALOJC, J. Raising yield potential of wheat. II. Increasing photosynthetic capacity and efficiency. **Journal of Experimental Botany**, 62:453-467, 2011

R. Janarthanan, R. Balamurali, A. Annapoorani, V. Vimala, Prediction of rainfall using fuzzy logic, **Materials Today: Proceedings**, 2020

SILVA, J. A. G., GOI NETO, C. J., FERNANDES, S. B. V., MANTAI, R. D., SCREMIN, O. B., PRETTO, R. Nitrogen efficiency in oats on grain yield with stability. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 1095-1100, 2016

SILVA, S. A., LIMA, J. S. S., SOUZA, G. S., OLIVEIRA, R. B., XAVIER, A. C. Fuzzy logic for evaluation of the fertility of soil and productivity of conilon coffee. **Revista Ciência Agronômica**, 9-17, 2010b

WEBER, F. H., GUTKOSKI, L. C., ELIAS, M. C. Caracterização química de cariopses de aveia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 39-44, 2002

Parecer CEUA: 640.285