

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

LÓGICA FUZZY COMBINANDO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL COM EXPERIÊNCIA OBSERVACIONAL À SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA AVEIA PELO NITROGÊNIO E CONDIÇÕES AMBIENTAIS¹

FUZZY LOGIC COMBINING ARTIFICIAL INTELLIGENCE WITH OBSERVATIONAL EXPERIENCE TO SIMULATE OAT PRODUCTIVITY BY NITROGEN AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Cibele Luisa Peter², Rubia Diana Mantai³, Odenis Alessi⁴, Vanessa Pansera⁵, Eduarda Warmbier⁶, José Antonio Gonzalez da Silva⁷

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

² Mestranda em Modelagem Matemática, UNIJUÍ, e-mail: cbele.peter2017@gmail.com

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

⁴ Doutorando em Modelagem Matemática, UNIJUÍ, e-mail: odenisalessi@hotmail.com

⁵ Doutoranda em Modelagem Matemática, UNIJUÍ, e-mail: vpansera@hotmail.com

⁶ Mestranda em Modelagem Matemática, UNIJUÍ, e-mail: eduarda.warmbier@gmail.com

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

Resumo

A inteligência artificial auxilia na busca de soluções envolvendo alto grau de incertezas. Para a simulação em sistemas complexos, um método de inteligência artificial conhecido é a lógica fuzzy, que pode ser utilizada em diversas áreas do conhecimento. Na agricultura, o uso de modelos eficientes envolvendo a adubação nitrogenada em conjunto com os elementos meteorológicos atuantes no sistema do cultivo são limitados. Desta forma existe a necessidade da construção de modelos de simulação que envolvam variáveis controladas e não controladas. A aveia é um cereal de múltiplos benefícios, sendo importante na alimentação humana e animal. A produtividade de grãos de aveia é dependente de vários elementos, dentre eles a adubação nitrogenada e as condições meteorológicas. O uso de nitrogênio faz-se necessário, pois é um fator de maior impacto para a produtividade, porém em condições desfavoráveis esse nutriente pode ser facilmente perdido, interferindo na sua ação. O objetivo do estudo é adequar um modelo de lógica fuzzy na simulação da produtividade de grãos de aveia, considerando o uso de nitrogênio e a não linearidade das condições meteorológicas. 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. No desenvolvimento da lógica fuzzy foi considerada a função de pertinência triangular e o método de inferência Mamdani. Após realizadas as simulações, foi utilizada análise de regressão quadrática na comparação dos dados observados via bioexperimentação e simulados pela lógica fuzzy. Os valores simulados, em comparação aos dados reais obtidos apresentaram erros absolutos menores que os valores de desvio padrão dos dados observados. O comportamento das regressões e seus parâmetros mostraram similaridade das regressões obtidas pelos resultados da lógica fuzzy em cada ponto de fornecimento de nitrogênio. Portanto, com valores de máxima eficiência técnica bastante próximos entre os resultados reais e simulados. A fuzzy possibilita simular com eficiência a produtividade de grãos de aveia, em função da dose de nitrogênio junto aos efeitos não lineares das condições ambientais.

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

Abstract

Artificial intelligence helps in the search for solutions involving a high degree of uncertainty. For simulation in complex systems, a known artificial intelligence method is fuzzy logic, and it can be used in several areas of knowledge. In agriculture, the use of efficient models involving nitrogen fertilization in conjunction with the meteorological elements active in the cultivation system are limited. Thus, there is a need to build simulation models that involve controlled and uncontrolled variables. Oat is a multiple benefits cereal, being important in human and animal nutrition. Oat grain productivity is dependent on several elements, including nitrogen fertilization and weather conditions. The use of nitrogen is necessary, because it is the factor with the greatest impact on productivity, but in unfavorable conditions this nutrient can be easily lost, interfering with its action. The objective of the study is to adapt a fuzzy logic model to simulate the productivity of oat grains, considering the use of nitrogen and the non-linearity of weather conditions. 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. In the development of fuzzy logic, the triangular relevance function and the Mamdani inference method were considered. After the simulations were carried out, quadratic regression analysis was used to compare the data observed by bio experimentation and simulated by fuzzy logic. The simulated values, compared to the actual data obtained, showed absolute errors smaller than the standard deviation values of the observed data. The regressions behavior and their parameters showed similarity to the regressions obtained by the results of the fuzzy logic at each nitrogen supply point. Therefore, with maximum technical efficiency values close to real and simulated results. The fuzzy logic allows to simulate efficiently the productivity of oat grains, depending on the nitrogen doses and the nonlinear effects of environmental conditions.

Palavras-chave: *Avena sativa*, temperatura, precipitação, regressão, modelagem.

Keywords: *Avena sativa*, temperature, precipitation, regression, modeling.

1 INTRODUÇÃO

A inteligência artificial, no âmbito da agricultura, permite a simulação do crescimento e rendimento de culturas, podendo-se avaliar o efeito dos principais fatores envolvidos, buscando equacionar tais comportamentos, além de estimar o impacto de condições adversas do clima (ROBAZZA et al., 2010; SOARES et al., 2015).

Conhecida como lógica subjetiva ou nebulosa, a lógica fuzzy é uma técnica de modelagem matemática que é utilizada na solução de problemas complexos, além de trazer respostas precisas de problemas que envolvem alto grau de incertezas, sendo estabelecida pela experiência de um especialista. Refere-se a um procedimento de classificação não paramétrico que pode ser estabelecido em variáveis linguísticas, com relações não lineares entre categorias de entrada e saída. Elaborado a partir de regras, um sistema de inferência do tipo “se” e “então” fornecendo suporte para simulação de culturas em sistemas biológicos complexos, permitindo a tomada de decisão de manejos satisfatórios e sustentáveis (MALAMAN & AMORIN, 2017; VERONEZ et al., 2019).

A aveia branca tem se mostrado como uma importante alternativa econômica na estação fria do sul do Brasil, sendo essencial na alimentação humana e animal (MANTAI et al., 2015; MALANCHEN et al., 2019). O cultivo da aveia branca envolve fatores controlados e não controlados, que estão ligados às tecnologias de manejos e às condições meteorológicas, respectivamente. Dentre essas tecnologias, faz-se necessária a aplicação da adubação nitrogenada, sendo este um fator controlado

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

de maior efeito para a produtividade e qualidade de grãos da aveia (COSTA et al., 2013; MAROLLI et al., 2018). Entretanto, em condições meteorológicas desfavoráveis de cultivo, como excesso de chuvas ou calor, esse nutriente pode ser facilmente perdido devido a lixiviação ou volatilização. Estas perdas causam redução da quantidade do nutriente fornecido à planta, gerando limitação do potencial produtivo da cultura, além de prejuízos econômicos ao produtor e poluição ambiental (CARVALHO & ZABOT, 2012; CAMPONOGARA et al., 2016). Portanto, os elementos meteorológicos atuantes no sistema agrícola representam um fator não controlado que intervém de forma intensa na ação do nitrogênio. Para a cultura da aveia as condições meteorológicas favoráveis são definidas por temperaturas amenas, com ocorrência de chuvas em quantidade suficiente a fim de fornecer uma boa umidade no solo, assegurando normalidade dos processos biológicos (SILVA et al., 2014; TANG et al., 2018).

As relações que envolvem os elementos meteorológicos e a adubação nitrogenada podem favorecer a construção de modelos de simulação eficientes, com capacidade de tratar informações incertas frequentes na engenharia de bioprocessos. Desta forma a utilização da lógica fuzzy pode auxiliar na previsibilidade da produtividade de grãos em condições reais de cultivo, permitindo considerar efeitos controlados e não controlados na simulação de processos biológicos. Portanto, o objetivo do trabalho é adequar um modelo de lógica fuzzy na simulação da produtividade de grãos de aveia, considerando o uso de nitrogênio e a não linearidade das condições meteorológicas.

2 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido 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 realizada a média dos resultados de ambas as cultivares. 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.

A colheita, para a estimativa da produtividade de grãos, ocorreu de forma manual pelo 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.

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 produtividade de 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 produtividade de 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.

Obteve-se a ajuda de um engenheiro agrônomo com experiência na cultura da aveia, na

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

determinação das 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 ($^{\circ}\text{C}$), foi considerado o domínio de intervalo [8; 12,5], para a temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) 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 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 produtividade de grãos (kg ha^{-1}) foi considerado o domínio de intervalo [1000, 4250], 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. Devido à quantidade de variáveis de entrada e classes, foi formulada 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 produtividade de grãos da aveia no sistema soja/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	10,2	Variáveis de entrada	N	MB	0	0	30
		M	8	10,2	12,5			B	0	30	60
		A	10,2	12,5	12,5			MD	30	60	90
	\bar{T}_{\max}	B	21	21	22,2			A	60	90	120
		M	21	22,2	23,5			MA	90	120	120
		A	22,2	23,5	23,5		Variável de saída	MB	1000	1000	2000
$\sum PP$	B	500	500	675	B	1500		1900	2300		
	M	500	675	850	MA	2000		2400	2700		
	A	675	850	850	PG	AC		2400	2900	3400	
Ano	AD	0	0	1	RA	2700		3350	3900		
	AI	0	1	2	A	3400	3825	4250			
	AF	1	2	2	E	3900	4250	4250			

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 ($^{\circ}\text{C}$); $\sum pp$ = precipitação pluviométrica (mm); N= dose de nitrogênio (kg ha^{-1}); AD= ano desfavorável; AI= ano intermediário; AF= ano favorável; PG = produtividade de grãos (kg ha^{-1}); B = baixa; M = média; MD = moderada; A= alta; MB = muito baixa; MA = moderadamente aceitável; AC = aceitável; RA = relativamente alta; E = excelente.

Após ter sido desenvolvido o modelo de lógica fuzzy, os dados simulados foram comparados com os dados observados na bioexperimentação, analisando os comportamentos de ambos os conjuntos,

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

através de análise de regressão. Foi aplicada análise de regressão quadrática, através do modelo dado por

$$y = b_0 \pm b_1x \pm b_2 x^2,$$

sendo x a quantidade de nitrogênio aplicado, y a produtividade de grãos de aveia e b_0 , b_1 e b_2 os parâmetros de regressão.

A partir das regressões obtidas foi possível também estimar a máxima eficiência técnica (X_{met}), que representa a dose de nitrogênio que implica na maior produtividade de grãos. A máxima eficiência técnica foi obtida por

$$X_{met} = \frac{-b_1}{2 \cdot b_2}$$

e permitiu também a análise dos resultados do modelo de lógica fuzzy desenvolvido.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das médias de temperatura mínima e máxima, de precipitação pluviométrica dos distintos anos de cultivo e da condição de adubação nitrogenada, na Tabela 2, são apresentados os valores da produtividade de grãos observados em campo e simulados pela lógica fuzzy em sistema soja/aveia. Os anos de cultivo 2012 e 2014 foram classificados em anos desfavoráveis (AD) à produtividade de grãos; 2015 e 2016 como anos intermediários (AI); e 2011 e 2013 como anos favoráveis (AF). Ressalta-se que os resultados da produtividade de grãos simulados mostraram-se muito próximos aos observados, com erros absolutos menores que o desvio padrão dos dados observados. Observa-se que em todos os anos de cultivo, exceto 2014 (AD), nas simulações das doses de 60 kg ha^{-1} e 120 kg ha^{-1} ocorrem resultados iguais, evidenciando uma estabilidade de produtividade a partir da dose de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio. Desta forma, estas condições sugerem que o modelo de lógica fuzzy desenvolvido foi eficiente na simulação da produtividade de grãos, evidenciando a capacidade de reconhecimento de processos biológicos pela teoria dos conjuntos via lógica fuzzy.

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

Tabela 2. Produtividade de grãos de aveia observada e simulada por lógica fuzzy pelo nitrogênio, temperaturas mínima e máxima, e precipitação pluviométrica nos anos de cultivo.

Ano	Temperatura Média (°C)		Σ 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}						
Produtividade de grãos								
2011 (AF)	10,1	22,4	767	0	2989	183	3050	61
				30	3694	197	3630	64
				60	4124	438	4090	34
				120	3938	345	4090	152
2012 (AD)	11,5	22,2	698	0	1745	148	1750	5
				30	2361	167	2240	121
				60	2751	66	2690	61
				120	2654	150	2690	36
2013 (AF)	8,7	21,2	510	0	3036	174	3180	144
				30	3721	238	3700	21
				60	4174	263	4150	24
				120	3994	212	4150	156
2014 (AD)	11,9	22,9	844	0	1645	179	1720	75
				30	2132	168	2240	108
				60	2426	220	2240	186
				120	2522	159	2660	138
2015 (AI)	12,3	22,0	651	0	2746	164	2820	74
				30	3361	260	3240	80
				60	3825	248	3760	65
				120	3871	322	3760	111
2016 (AI)	9,9	23,5	625	0	2461	180	2300	161
				30	3279	223	3180	99
				60	3884	229	3730	154
				120	3717	232	3730	13

T_{min} = temperatura média mínima; T_{max} = temperatura média máxima; Σ 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 lógica fuzzy vem se destacando nas mais diversas áreas do conhecimento, sendo utilizada para estimar parâmetros desejados e explicar o desenvolvimento de sistemas complexos (SILVA et al., 2014). Cavichioli et al. (2016) desenvolveram um método computacional baseado em regras fuzzy capaz de interpretar as condições adequadas para o manejo de uma espécie de orquídea. Mamann et al. (2018) adequaram o modelo de lógica fuzzy para simulação da produtividade biológica e de grãos de trigo nas condições de uso de hidrogel, nitrogênio e temperatura máxima. Trautmann et al. (2020) através da lógica fuzzy simularam com eficiência a produtividade de grãos de trigo nas condições de uso do nitrogênio envolvendo a temperatura do ar e precipitação pluviométrica.

Na Figura 1 são apresentados os gráficos gerados a partir das equações de regressão quadráticas obtidas, considerando os dados observados via bioexperimentação e os dados simulados pela lógica fuzzy. É possível observar o comportamento da produtividade de grãos em função da dose de nitrogênio aplicada, bem como, a máxima eficiência técnica no uso de nitrogênio, na comparação entre os dados reais e os dados simulados. As equações desenvolvidas em ambos os casos apresentam comportamento quadrático, inclusive com parâmetros similares entre as equações.

De forma geral, a máxima eficiência técnica dos dados simulados e dos dados observados se

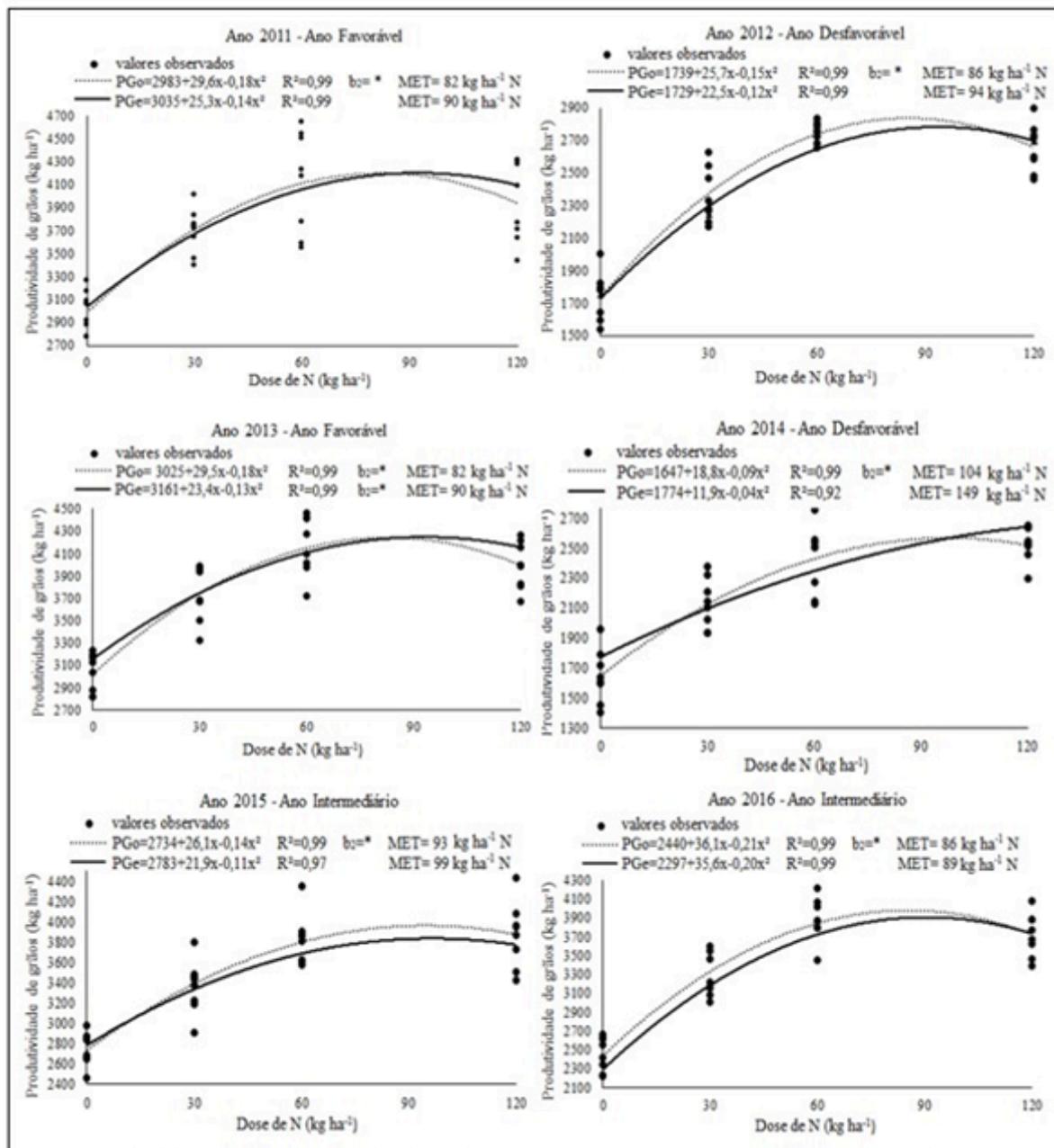
Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

mostram próximas. Em ambos os anos favoráveis ao cultivo, 2011 e 2013, obteve-se uma diferença de apenas 8 kg ha^{-1} de nitrogênio. No ano de 2012, desfavorável ao cultivo, também houve uma diferença de apenas 8 kg ha^{-1} de nitrogênio. Entretanto, no ano de 2014, também desfavorável, a máxima eficiência técnica simulada obteve um resultado mais elevado que o esperado, com uma diferença de 45 kg ha^{-1} . Em 2015 e 2016, anos intermediários ao cultivo, a diferença entre a máxima eficiência técnica esperada e a simulada é de apenas 6 kg ha^{-1} e 3 kg ha^{-1} de nitrogênio, respectivamente. Estas condições validam o uso da modelagem realizada na previsibilidade da produtividade de grãos de aveia em sistema soja/aveia.

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

Figura 1. Comportamento da produtividade de grãos de aveia a partir de dados observados pela bioexperimentação e estimados pela lógica fuzzy em função do uso de nitrogênio.



PGo = equação da produtividade de grãos dos dados observados; PGe = equação da produtividade de grãos dos dados estimados pela lógica fuzzy; R² = coeficiente de determinação; b₂ = probabilidade do parâmetro de regressão; * = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; MET = máxima eficiência técnica; N= nitrogênio.

Para a agricultura, o conhecimento prévio e preciso de safras é uma questão importante, desta maneira os modelos via inteligência artificial podem caracterizar a produtividade, auxiliando na tomada de decisões (GOMES et al., 2014; COYOS et al., 2018). Neste contexto, a simulação por lógica fuzzy é vantajosa para análise de sistemas envolvendo alto grau de incertezas. (YILMAZ

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

& KAYNAR, 2011). Antunes et al. (2007) desenvolveram um modelo fuzzy para estimar a área de semeadura de soja a partir de índices de vegetação de imagens, mostrando-se altamente correlacionadas com as estimativas oficiais. Através da lógica fuzzy, Ponciano et al. (2011) exemplificaram situações bem sucedidas na predição das variáveis que afetam o conforto térmico para frangos de corte, dando suporte à tomada de decisão, no controle da climatização de galpões avícolas. Cavalcanti et al. (2013) utilizaram lógica fuzzy para avaliação da aceitação sensorial de pão de forma enriquecido com sementes de faveleira (*Cnidioscolus quercifolius*), planta originária do Nordeste brasileiro de alta qualidade de ácidos graxos e ômega-6. Campos et al. (2013) desenvolveram um modelo fuzzy para prever a taxa de ocupação de baias em instalações para gado de leite do tipo free-stall, auxiliando na otimização do dimensionamento de projetos. He & Dong (2018) utilizando fuzzy e redes neurais obtiveram bom desempenho de previsão na interação entre robô e ambiente. Mamann et al. (2020) estimaram por lógica fuzzy a produtividade de biomassa e grãos de trigo pelo uso do nitrogênio e não linearidade da temperatura máxima do ar nas condições de uso do biopolímero hidrogel em sistemas de alta e reduzida liberação N-residual.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As variáveis de entrada envolvendo a dose de nitrogênio, a precipitação pluviométrica e as temperaturas mínima e máxima, considerando ainda as condições de ano de cultivo, se mostram adequadas para a modelagem via lógica fuzzy, na predição da produtividade de grãos de aveia. O comportamento das regressões e seus parâmetros mostram similaridade das regressões obtidas pelos resultados da lógica fuzzy e pelos dados reais obtidos via bioexperimentação em cada ponto de fornecimento de nitrogênio.

O modelo de lógica fuzzy desenvolvido se mostra adequado na simulação da produtividade de grãos de aveia em função de fatores controlados e não controlados, relacionados aos manejos de cultivo e às condições meteorológicas, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, J. F. G., ZULLO JÚNIOR, J. Aplicação de lógica fuzzy para estimativa de área plantada da cultura de soja utilizando imagens AVHRR-NOAA. **Master**, v.1, p.35–42, 2007.

CAMPONOGARA, A. da S., OLIVEIRA, G. A., GEORGIN, J., DA ROSA, A. L. D. Assessment of Wheat Yield When Subject to Various Sources of Nitrogen. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 20(1), 524-532. 2016.

CAMPOS, A. T., CASTRO, J. de O., SCHIASSI, L., YANAGI JUNIOR, T., PIRES, M. de F. Á., MATTIOLI, C. C. Predição da taxa de ocupação de baias em instalações tipo free-stall para bovinos de leite por meio dos conjuntos fuzzy. **Revista Engenharia Agrícola**. v.33, p.1079-1089, 2013.

CARVALHO, N. L., ZABOT, V. Nitrogênio: nutriente ou poluente?. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 6, n. 6, p. 960-974, 2012.

CAVALCANTI, M. T., SILVA, F. L. H., CAVALCANTI, J. H. F., FLORENTINO, E. R., FLORENCIO, I. M., MOREIRA, R. T. Aplicação da lógica fuzzy na análise sensorial de pão de forma enriquecido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.208–215, 2013.

CAVICHIOLE, A., GABRIEL, C. P. C., GABRIEL FILHO, L. R. A., PUTTI, F. F., BORDIN,

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

D. (2016). Software baseado em regras fuzzy para avaliação de vitalidade da orquídea *Catasetum Fimbriatum*. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, v. 1, n. 2, p. 13-24, 2016.

COSTA, L.; ZUCARELI, C.; RIEDE, C.R. Parcelamento da adubação nitrogenada no desempenho produtivo de genótipos de trigo. **Rev. Cienc. Agron.**, v.44, p.215-224, 2013.

COYOS, T., BORRÁS, L., GAMBIN, B. L. Site-Specific Covariates Affecting Yield Responde to Nitrogen of Late-Sown Maize in Central Argentina. **Agronomy Journal**, v.110, n.4, p. 1544-1553, 2018.

GOMES, A. C. D. S., ROBAINA, A. D., PEITER, M. X., SOARES, F. C., PARIZI, A. R. C. Modelo para estimativa da produtividade para a cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 43–49, 2014.

HE, W., DONG, Y. Adaptive fuzzy neural network control for a constrained robot using im-pedance learning. **IEEE transactions on neural networks and learning systems**, v.29, p.1174-1186, 2018.

MALAMAN, C. S., AMORIM, A. Método para determinação de valores na avaliação imobiliária: comparação entre o Modelo de Regressão Linear e Lógica Fuzzy. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 1, p. 87-100, 2017.

MALANCHEN, B. E. et al. Composição e propriedades fisiológicas e funcionais da aveia. **Fag Journal of Health (FJH)**, v. 1, n. 2, p. 185-200, 2019.

MAMANN, A. T. W., TRAUTMANN, A. P. B., SCREMIN, A. H., REGINATTO, D. C., HENRICHSEN, L., DORNELLES, E. F., SCREMIN, O. B., 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**, v. 6, p. 1-7, 2018.

MAMANN, A. T., DA SILVA, J. A., SCREMIN, O. B., TRAUTMANN, A. P., ARGENTA, C. V., MATTER, E. M. Sistema difuso simulando a produtividade do trigo pelo nitrogênio e temperatura no uso de biopolímeros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 5, p. 289-297, 2020.

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.

MAROLLI, A., DA SILVA, J. A. G., SAWICKI, S., BINELO, M. O., SCREMIN, A. H., REGINATTO, D. C., LAMBRECHT, D. M. A simulação da biomassa de aveia por elementos climáticos, nitrogênio e regulador de crescimento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 2, p. 535-544, 2018.

PONCIANO, P. F., LOPES, M. A., YANAGI JUNIOR, T., FERRAZ, G. A. S. Análise do ambiente para frangos por meio da lógica fuzzy: uma revisão. **Arquivos de Zootecnia**, v.60, p.1-13, 2011.

ROBAZZA, W. S., TELEKEN, J. T., GOMES, G. A. Modelagem matemática do crescimento de

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

microrganismos em alimentos. **TEMA-Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**, v. 11, n. 1, p. 101-110, 2010.

SILVA, A. A., SILVA, I. A., TEIXEIRA FILHO, M., BUZETTI, S., TEIXEIRA, M. Estimativa da produtividade de trigo em função da adubação nitrogenada utilizando modelagem neuro fuzzy. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 180-187, 2014.

SOARES, F. C., ROBAINA, A. D., PEITER, M. X., RUSSI, J. L. Predição da produtividade da cultura do milho utilizando rede neural artificial. **Ciência Rural**, v. 45, n. 11, p. 1987-1993, 2015.

TANG, P.C., XU, B., GAO, Z.Y., LI, H.P., XU, Y., HE, M. Relationship between physiological indicators of oat and meteorological factors in tibet's alpine pastoral areas. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 16, n. 3, p. 2741-2754, 2018.

TRAUTMANN, A. P., DA SILVA, J.A., BINELO, M.O., VALDIERO, A.C., HENRICHSEN, L., BASSO, N.C. Simulation of wheat yield by nitrogen and nonlinearity of environmental conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 44-51, 2020.

VERONEZ, A. C. C. S., DOS SANTOS, A. F., SOUZA, C. C., DOS REIS NETO, J. F. Classificação de Frutas e Legumes Utilizando Lógica Fuzzy. **Revista de Ciências Gerenciais**, v. 23, n. 37, p. 52-56, 2019.

YILMAZ, I., KAYNAR, O. Multiple regression, ANN (RBF, MLP) and ANFIS models for prediction of swell potential of clayey soils. **Expert systems with applications**, 38:5958- 5966, 2011.

Parecer CEUA: 640.285