

Adequação de Funções de Pertinência Via Lógica Fuzzy para a Simulação da Produtividade de Grãos de Aveia pelo Manejo do Nitrogênio e as Condições Ambientais

Cibele Luisa Peter¹
Taís Portela Arenhart²
Lara Laís Schünemann³
Júlia Sarturi Jung⁴
Marlon Vinicius da Rosa Sarturi⁵
Jean Vitor Tisott⁶
Pedro Diel⁷
José Antonio Gonzalez da Silva⁸
UNIJUI, Ijuí,RS

Resumo. A busca por tecnologias avançadas na agricultura com o propósito de reduzir os impactos, otimizar a produtividade e melhorar a sustentabilidade são cada vez mais importantes. Na área de biosistemas a lógica fuzzy vem sendo buscada dentro destas tecnologias, auxiliando na tomada de decisões sobre o desenvolvimento das culturas, permitindo envolver o manejo do nitrogênio com os efeitos não lineares das condições ambientais. O objetivo deste estudo é adequar funções de pertinência na simulação da produtividade de grãos de aveia por lógica fuzzy, em conjunto com as doses de nitrogênio e os efeitos dos elementos meteorológicos em sistema de cultivo de milho/aveia. O estudo foi realizado nos anos de 2019 e 2020, em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições seguindo um 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), que correspondem as doses 0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, considerando o percentual de 45% de nitrogênio contido na ureia. As doses foram aplicadas em uma única condição de terceira e quarta folha expandidas. A aplicação de forma dissolvida, foi realizada com pulverizador costal em máxima pressão constante no volume de água de 300 L ha⁻¹. No desenvolvimento dos modelos, foram consideradas três funções de pertinência, sendo elas a triangular, a trapezoidal e a gaussiana. Os modelos de lógica fuzzy desenvolvidos se mostram eficientes na previsibilidade da produtividade de grãos, independente da função de pertinência considerada. Os modelos de lógica fuzzy representados pelas funções de pertinência triangular, trapezoidal e gaussiana são eficientes na simulação da produtividade de grãos de aveia pelo uso do nitrogênio e elementos meteorológicos.

Palavras-chave. *Avena Sativa L.*, inovação, inteligência artificial, sustentabilidade.

¹cibele.peter@sou.unijui.edu.br

²tais.arenhart@sou.unijui.edu.br

³lara.schunemann@sou.unijui.edu.br

⁴julia.jung@sou.unijui.edu.br

⁵marlon.sarturi@sou.unijui.edu.br

⁶jean.tisott@sou.unijui.edu.br

⁷pedro.diel@sou.unijui.edu.br

⁸jose.gonzales@unijui.edu.br

1 Introdução

Uma ferramenta de grande relevância para pesquisas, especialmente na área de inovação agrícola é a Inteligência Artificial (IA) [11]. Ela tornou-se imprescindível na busca por tecnologias avançadas na agricultura, a fim de reduzir os impactos e desperdícios, otimizar a produtividade e melhorar a sustentabilidade. A lógica fuzzy vem sendo buscada dentro destas tecnologias, auxiliando na tomada de decisões sobre o manejo das culturas [10]. A utilização da modelagem fuzzy é uma das tecnologias de IA que tem apresentado significativos resultados nos sistemas agrícolas, podendo oportunizar simulações e proposições mais precisas sobre a produtividade de grãos de diferentes espécies, considerando variáveis controladas e não controladas [5] [10].

A aveia branca (*Avena Sativa* L.) é uma cultura de inverno cultivada na região sul do Brasil, que vem recebendo destaque devido a suas características nutricionais benéficas à saúde humana [3]. Para seu cultivo é imprescindível a utilização de nitrogênio, sendo este nutriente fundamental para aumentar o rendimento da cultura [14]. A ureia é a principal fonte de nitrogênio, se destacando pela capacidade de dissolução e por apresentar concentração significativa deste nutriente, cerca de 45% [6]. Porém sua eficiência de aproveitamento é muito dependente das condições meteorológicas, que influenciam de forma direta nas perdas de nitrogênio, seja por temperaturas elevadas e/ou reduzida umidade de solo pela ausência de chuvas em períodos anteriores [9]. Além de acarretar em custos, estas perdas de nitrogênio seja por lixiviação ou volatilização tem repercutido em sérios problemas ambientais. Estes fatos enfatizam a procura de tecnologias que visam a melhoria de aproveitamento deste nutriente [4].

A ureia por ser a fonte de nitrogênio mais utilizada e por apresentar solubilidade em água, se mostra como um potencial de inovação em sistemas de pulverização, sendo o nitrogênio um elemento móvel e de fácil absorção e translocação dentro de um tecido vegetal [12] [8]. Desta forma, a utilização da lógica fuzzy, compreendendo as funções de pertinência triangular, trapezoidal e gaussiana, pode ser uma ferramenta eficaz no processo de modelagem da produtividade da aveia, pois permite considerar os efeitos não lineares das condições ambientais envolvendo o manejo do nitrogênio em diferentes cenários agrícolas. Nesse contexto, o objetivo deste estudo é adequar funções de pertinência na simulação da produtividade de grãos de aveia por lógica fuzzy, em conjunto com as doses de nitrogênio e os efeitos dos elementos meteorológicos em sistema de cultivo de milho/aveia.

2 Materiais e Métodos

Este estudo foi desenvolvido a campo, nos anos de 2019 e 2020, 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 adubação ocorreu em uma única aplicação na condição 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.

A cultivar de aveia branca utilizada foi a Brisasul pelo sistema de cultivo milho/aveia. A colheita para a estimativa da produtividade de 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 a área experimental, cerca de 200 metros. Após a obtenção dos dados da experimentação agrícola, foi realizada a análise de variância e a estatística descritiva da produtividade de grãos. Para a simulação via lógica fuzzy,

foram utilizadas como variáveis de entrada 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], pelo fato de que com doses maiores de nitrogênio não se atingiu valores expressivos de produtividades. Para a construção dos modelos, utilizou-se o sistema baseado em regras fuzzy implementado pelo Toolbox Fuzzy Logic do software Matlab, usando o método de inferência Mamdani, com o emprego do conectivo “e (\wedge)”. A defuzzificação foi realizada pelo método do menor valor da função máxima de associação agregada. Para a formalização matemática de um conjunto fuzzy, [16] fundamentou-se que qualquer conjunto clássico pode ser caracterizado por uma função, de forma que dado um conjunto U e um subconjunto A, a função que caracteriza A é dada por [2],

$$x_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

sendo assim, x_A é uma função com domínio em U e imagem em [0, 1], com $x_A = 1$ indicando que o elemento x pertence A, e com $x_A = 0$ indicando que o elemento x não pertence A, desta forma, a função característica é descrita por uma função sobrejetora.

Zadeh sugere uma formalização matemática de imprecisões, usando os subconjuntos fuzzy, de modo que um subconjunto fuzzy F de U é caracterizado por uma função total do tipo, $\mu_F : U \rightarrow [0, 1]$ denominada função de pertinência do subconjunto fuzzy F. Na definição do subconjunto fuzzy ampliou-se o contra-domínio da função característica, de forma que o conjunto 0, 1 passou para o intervalo [0, 1] O valor $\mu_F : U \in [0, 1]$ indica que o elemento x de U está contido no conjunto fuzzy F, de modo que, $\mu_F(x)$ é uma função de pertinência que determina com que grau x está em F. Desta forma, temos que: $\mu_F(x) = 1$, indica que x pertence totalmente ao conjunto F; $0 < \mu_F(x) < 1$, indica que x pertence parcialmente ao conjunto F; $\mu_F(x) = 0$, indica que x não pertence ao conjunto F. O subconjunto fuzzy F é composto por elementos x de U, providos de um valor de pertinência a F, dado por $\mu_F(x)$, sendo, $F = \{(x, \mu_F(x)), \text{ com } x \in U\}$.

A função de pertinência para um número fuzzy F triangular é dado da forma,

$$x_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } a \geq x > c \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ \frac{x-c}{b-c} & \text{se } b < x \leq c \end{cases} \quad (2)$$

Em que x é que está sendo testado e 'a' e 'b' 'c' são os limites dos triângulo. A função de pertinência trapezoidal é dada por [1]

$$\mu_{A(x)} = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a \leq x < b \\ 1 & \text{se } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{se } c < x \leq d \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

O gráfico da função de pertinência trapezoidal tem a forma de um trapézio, com base em um intervalo [a, d] e vértices fora da base (b, 1) e (c, 1).

As funções de pertinência Gaussianas são caracterizadas pela sua média (μ) e seu desvio padrão (σ). Esta função de pertinência possui um decaimento suave e tem valores diferentes de zero para todo domínio da variável estudada [1].

$$\mu_{A(x)} = \begin{cases} 0 \\ \exp(-(x - v)^2)/2\sigma^2 \end{cases} \quad (4)$$

se x está fora do domínio.

Para a simulação foram utilizados valores médios dos elementos meteorológicos dos dois anos para cada dose de nitrogênio. Para a validação dos modelos fuzzy, foram comparados os valores obtidos por simulação com os valores reais obtidos por bioexperimentação através do cálculo do erro absoluto. Para a realização deste estudo foram utilizados os softwares Genes e Matlab.

3 Resultados e Discussões

Com base na análise de variância (dados não apresentados) nos diferentes anos agrícolas, não foram observadas diferenças significativas entre as fontes de nitrogênio, seja via ureia sólida e dissolvida em água. Porém, o uso de diferentes doses de nitrogênio mostrou efeitos na produtividade de grãos. Desta maneira, não se verificou diferenças entre as formas de fornecimento e a ausência de interação fonte versus doses indicam o mesmo comportamento, independente da fonte sólida ou dissolvida. Assim, as análises foram realizadas pela condição da dose de nitrogênio, não levando em consideração especificamente o tipo de fonte. Essas inferências possibilitam considerar ambas as formas de aplicação.

Na Tabela 1, está apresentada as classificações dos intervalos estabelecidos para cada variável considerada na composição do modelo fuzzy na simulação da produtividade de grãos pelas três funções de pertinência. Para a função de pertinência triangular, as doses de nitrogênio (kg ha^{-1}) foram classificadas nos seguintes intervalos: o domínio de intervalo $[0\ 0\ 30]$ é classificado em muito baixo (MB), $[15\ 35\ 50]$ classificado em baixo (B) e $[42\ 60\ 60]$ classificado em médio. Para a soma térmica foi considerado o domínio de intervalo $[1640\ 1640\ 1840]$ classificado em baixo (B) e $[1640\ 1840\ 1840]$ classificado em alto (A). Já a precipitação pluviométrica foi considerado o intervalo $[650\ 650\ 750]$ como baixo (B) e o intervalo $[650\ 750\ 750]$ como alto (A). Para a variável de saída produtividade de grãos, o intervalo foi considerado muito baixo (MB) para $[743\ 743\ 1100]$, o intervalo $[1000\ 1500\ 1900]$ baixo (B), e $[1700\ 2130\ 2130]$ médio (M), considerando a produtividade de grãos observada. Para a função de pertinência trapezoidal para a variável dose de nitrogênio (kg ha^{-1}) foi considerado o domínio de intervalo $[0\ 0\ 10\ 30]$ como muito baixo (MB), $[15\ 25\ 35\ 50]$ classificado em baixo (B) e $[42\ 50\ 60\ 60]$ classificado em médio. Para a soma térmica foi considerado o domínio de intervalo $[1640\ 1640\ 1700\ 1840]$ classificado em baixo (B) e $[1640\ 1780\ 1840\ 1840]$ classificado em alto (A). Já a precipitação pluviométrica foi considerado o intervalo $[650\ 650\ 680\ 750]$ como baixo (B) e $[650\ 720\ 750\ 750]$ foi classificado como alto (A).

A variável de saída produtividade de grãos o domínio de intervalo $[743\ 743\ 920\ 1100]$ foi considerado muito baixo (MB), para o intervalo $[1000\ 1300\ 1600\ 1900]$ foi classificado como baixo (B), e $[1700\ 1900\ 2130\ 2130]$ como intervalo médio (M), levando em conta a produtividade de grãos observada no sistema de cultivo. Nas classificações para a variável construída pela função pertinência gaussiana, a mesma possui como parâmetros o desvio padrão e a média (m) que são classificados para compor a base de regras. Estes valores foram calculados levando em consideração os intervalos considerados nas classificações nas funções de pertinência triangular e trapezoidal.

Desta forma, para as doses de nitrogênio (kg ha^{-1}) foi considerado o domínio de intervalo $[0\ 20\ 30]$, onde foi calculado a média deste intervalo e desvio padrão resultando em $[15\ 16]$ classificado em muito baixo (MB). Considerando o domínio de intervalo $[15\ 20\ 40\ 50]$ foi calculado média e desvio padrão resultando em $[16\ 31]$ classificado em baixo (B). O intervalo de $[42\ 60]$ foi considerado para os cálculos a fim de se obter o intervalo classificado como médio (M) resultando em $[12\ 51]$. Para a precipitação pluviométrica, os cálculos foram obtidos pelo intervalo de $[650\ 700]$ resultando em $[35\ 675]$ classificado em baixo (B) e $[700\ 750]$ para se obter $[35\ 725]$ classificado em alto (A). Já a soma térmica foi considerado o intervalo de $[1640\ 1740]$ para se obter os parâmetros $[70\ 1690]$ classificado em baixo (B), o intervalo de $[1740\ 1840]$ foi considerado para os cálculos de desvio padrão e média resultando em $[70\ 1790]$ classificado em alto (A). Para a variável de saída, o intervalo de $[743\ 1100]$ foi considerado para cálculos resultando em muito baixo (B) os parâmetros $[252\ 921]$ para

a classificação de baixo (B) o intervalo de [1000 1900] foi considerado resultando em [636 1450], a classificação de médio (M) o intervalo de [1700 2130] foi considerado resultando em [304 1915].

Tabela 1: Classes das variáveis de entrada e saída utilizadas na base de regras da lógica fuzzy para a simulação da produtividade de grãos pelas três funções de pertinência.

Variável	Base de regras	F. Triangular	F. Trapezoidal	F. Gaussiana
		Intervalo		
N (kg ha ⁻¹)	MB	[0 0 30]	[0 0 10 30]	[15 16]
	B	[15 35 50]	[15 25 35 50]	[16 31]
	M	[42 60 60]	[42 50 60 60]	[12 51]
ST (graus dias ⁻¹)	B	[1640 1640 1840]	[1640 1640 1700 1840]	[70 1690]
	A	[1640 1840 1840]	[1640 1780 1840 1840]	[70 1790]
PL (milímetros)	B	[650 650 750]	[650 650 680 750]	[35 675]
	A	[650 750 750]	[650 720 750 750]	[35 725]
PG (kg ha ⁻¹)	MB	[743 743 1100]	[743 743 920 1100]	[252 921]
	B	[1000 1500 1900]	[1000 1300 1600 1900]	[636 1450]
	M	[1700 2130 2130]	[1700 1900 2130 2130]	[304 1915]

N= Nitrogenio; F.= função; MB= muito baixo; B= baixo; M= médio, A= alto; ST= soma térmica; PL= precipitação pluviométrica; PG = produtividade de grãos.

A Tabela 2, apresenta a base de regras para a simulação da produtividade de grãos de aveia, construída com a ajuda de um especialista na cultura da aveia envolvendo as doses de nitrogênio, soma térmica e precipitação pluviométrica.

Na Tabela 3, estão apresentados os dados observados por bioexperimentação e os dados simulados via lógica fuzzy considerando os modelos compostos pelas funções de pertinência triangular, trapezoidal e gaussiana, independente de fonte de nitrogênio. Destaca-se que o modelo fuzzy composto pela função de pertinência gaussiana evidencia valores simulados próximos aos observado na maioria das doses, exceto para as doses de 0 e 20 kg ha⁻¹ de N. Entretanto, são observados melhores resultados de simulação a partir dos modelos fuzzy compostos pelas funções de pertinência triangular e trapezoidal.

Considerando que para alguns cenários de simulação os valores de erro absoluto tenham se mostrado moderadamente elevados, os modelos de lógica fuzzy desenvolvidos se mostraram eficientes na previsibilidade da produtividade de grãos, independente da função de pertinência considerada para a composição dos modelos. Dentro deste contexto, o presente trabalho se articula a outros estudos que verificam a eficiência da lógica fuzzy na simulação e previsão, especialmente na área de biosistemas [5]. [7], na cultura da cenoura utilizou um sistema baseado em regras fuzzy para o gerenciamento do plantio visando um manejo eficiente e eficaz quanto ao espaçamento entre plantas e a adubação orgânica bovina, concluindo que o modelo desenvolvido conseguiu interpretar as condições adequadas para manejo do plantio da cenoura. [13] desenvolveram um controlador via lógica fuzzy para irrigação por gotejamento, concluindo que o mesmo contribui num manejo mais eficiente e sustentável, pois evita o desperdício de água e o estresse hídrico das plantas. [15] em um estudo investigaram o processo de redução do consumo de fertilizantes e melhoria da produtividade das culturas utilizando sistemas de lógica fuzzy.

Tabela 2: Base de regras via lógica fuzzy para a simulação da produtividade de grãos.

n	Dose de Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	Soma Térmica (graus dia ⁻¹)	Precipitação (mm)	Produtividade de Grãos (kg ha ⁻¹)
1	MB	B	B	MB
2	MB	A	B	MB
3	MB	B	A	MB
4	MB	A	A	MB
5	B	B	B	B
6	B	A	B	B
7	B	B	A	B
8	B	A	A	B
9	M	B	B	M
10	M	A	B	M
11	M	B	A	B
12	M	A	A	B

n= número de regras; MB= muito baixo; B=baixo; M= médio; A=alto; mm= milímetros.

Tabela 3: Lógica fuzzy na simulação da produtividade de grãos pelo nitrogênio, soma térmica e precipitação pluviométrica nas diferentes funções de pertinência

Dose N	ST	PL	PGo	Fuzzy			EATG	EATP	EAGS
				FTG	FTP	FGS			
0	1740	700	939	878	888	1220	61	51	281
20			1218	1270	1290	1420	52	72	202
40			1358	1460	1450	1440	102	92	82
60			1521	1620	1610	1450	99	89	71

Dose N= dose de nitrogênio; ST= soma térmica; PL= precipitação pluviométrica; PGo = produtividade de grãos observada; FTG= fuzzy triangular; FTP= fuzzy trapezoidal; FGS= fuzzy gaussiana; EATG= erro absoluto fuzzy triangular; EATP= erro absoluto fuzzy trapezoidal; EAGS= erro absoluto fuzzy gaussiana

4 Conclusões

Os valores linguísticos estabelecidos juntamente com a configuração da base de regras para as variáveis de entrada e de saída se mostraram adequados para o uso da lógica fuzzy na simulação da produtividade de grãos de aveia. Os modelos de lógica fuzzy representados pelas funções de pertinência triangular, trapezoidal e gaussiana são eficientes na simulação da produtividade de grãos de aveia pelo uso do nitrogênio e elementos meteorológicos.

5 Agradecimentos

Ao CNPq, à CAPES, à FAPERGS e à UNIJUÍ pelos recursos financeiros, estrutura física e materiais necessários para a realização da pesquisa.

Referências

- [1] M. Amendola, A. L De Souza e L.C. Barros. “Manual do uso da teoria dos conjuntos Fuzzy no Matlab 6.5”. Em: **FEAGRI IMECC/UNICAMP** (2005), pp. 1–44.

- [2] L.C. Barros e R.C. Bassanezi. **Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática**. IMECC Textos didáticos, 2010.
- [3] K. Copetti, J.A.G. Da Silva, I.R. Carvalho, M.O. Binelo, J.A. Da Rosa, C.L. Peter, D.A. Magano, L.E. Panozzo, L.L. Schunemann e J.V. Bagolin. “Seeding density and lodging control using a calcium and potassium-based organomineral fertilizer in oat crops”. Em: **Contribuciones a las Ciencias Sociales** 17.1 (2024), pp. 3023–3049. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8938>.
- [4] J.S.P. Costa, R.D. Mantai, J.A.G. Da Silva, O.B. Scremin, E.G. Arenhardt e A.R.C. De Lima. “Dose única e fracionada do nitrogênio nos indicadores de produtividade do trigo”. Em: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 22 (2018), pp. 16–21.
- [5] J. A. Da Rosa, R.D. Mantai, C.L. Peter, N.C.F. Basso, C.M. Babeski, L.L. Schunemann, I.R. Carvalho e J.A.G. Da Silva. “Lógica Fuzzy na Previsão da Produtividade de Grãos de Aveia pelo Nitrogênio e Condições Meteorológicas”. Em: **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics** 9.1 (2022).
- [6] A. R. De Oliveira, J.G. De Jesus J.H. Da Silva, L. Ferreira e F.C. Dos Santos. “O uso da ureia na nutrição de ruminantes”. Em: **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente** 16 (2022).
- [7] E. Z. Godinho, F. L. Caneppele e S. D. M. Hasan. “Lógica fuzzy aplicada na produtividade da cenoura”. Em: **SODEBRAS** 17.197 (2022).
- [8] L. Henrichsen, J. A. G. Da Silva, N. C. F. Basso, J. A. Da Rosa, O. Alessi, I. R. Carvalho, D. A. Magano e C. M. Babeski. “Liquid source nitrogen as a more sustainable technology for oat fertilization with computational simulation resource”. Em: **RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental** 17.2 (2024), pp. 1–19.
- [9] A. R. Kraissig, J.A.G. Da Silva, I.R. Carvalho, A.T.W. De Mamann, J.S. Corso e L. Norbert. “Time of nitrogen supply in yield, industrial and chemical quality of oat grains”. Em: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 24.10 (2023), pp. 700–706.
- [10] T.Y Lee, M.N. Reza, S. Chung, D. U. Kim, S.Y. Lee e D.H. Choi. “Application of fuzzy logics for smart agriculture: A review”. Em: **Precis. Agric** 5.1 (2023), p. 1.
- [11] P. Moreti M, T. Oliveira, R. Sartori e W. Caetano. “Inteligência Artificial no Agronegócio e os Desafios para a Proteção da Propriedade Intelectual”. Em: **Cadernos de Prospecção** 14.1 (2021), p. 60.
- [12] R. K. Mortate, E.F. Nascimento, E.G. S. Gonçalves e M.W.P. Lima. “Resposta do milho (*Zea mays* L.) à adubação foliar e via solo de nitrogênio”. Em: **Revista de Agricultura Neotropical** 5.1 (2018), pp. 1–6.
- [13] F. de Oliveira e R. Immich. “Desenvolvimento de um controlador de lógica fuzzy para irrigação por gotejamento”. Em: **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Agroinformática** (2023), pp. 88–95.
- [14] G. N. Patel, T.V. Reddy e B.R. Patel. “Management of N levels and time of cut in rabi forage oat (*Avena sativa* L.)” Em: **Journal of Crop and Weed** 18 (2022), pp. 284–22. DOI: [10.22271/09746315.2022.v18.i2.1602](https://doi.org/10.22271/09746315.2022.v18.i2.1602).
- [15] G. Prabakaran, D. Vaithyanathan e M. Ganesan. “Fuzzy decision support system for improving the crop productivity and efficient use of fertilizers”. Em: **Computers and electronics in agriculture** 150 (2018), pp. 88–97.
- [16] L.A Zadeh. “Fuzzy sets”. Em: **Information and Control** 3 (1995), pp. 338–353. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).