

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa  
**ODS:** 12 - Consumo e produção responsáveis

## **APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NA PREVISÃO DA PRODUTIVIDADE DA AVEIA<sup>1</sup>**

### **APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN FORECASTING OAT PRODUCTIVITY TO OAT**

**Eduarda Scherer Mayer<sup>2</sup>, Rubia Diana Mantai<sup>3</sup>, José Antonio Gonzalez da Silva<sup>4</sup>, Eliani Retzlaff<sup>5</sup>, Denilson Rodrigues da Silva<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Parte do Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Matemática

<sup>2</sup> Graduada em Matemática/URI, mayer.duda@hotmail.com

<sup>3</sup> Professora Doutora do Departamento de Ciências Exatas e da Terra DCET/URI. rdmantai@san.uri.br

<sup>4</sup> Professor Doutor do Departamento de Estudos Agrários DEAg/UNIJUÍ. jagsfaem@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Professora Mestre do Departamento de Ciências Exatas e da Terra DCET/URI. elianir@san.uri.br

<sup>6</sup> Professor Doutor do Departamento de Engenharias e Ciência da Computação/URI. deniro@san.uri.br

### **Resumo**

A lógica fuzzy é um modelo de inteligência artificial que auxilia na tomada de decisões. O objetivo do estudo é utilizar a lógica fuzzy do tipo Mamdani para determinar funções de pertinência que simulam com eficiência a produtividade de grãos de aveia pelo uso de nitrogênio em distintas condições ambientais. O estudo foi realizado em Augusto Pestana (RS) em seis safras agrícolas (2011 a 2016), em um delineamento experimental de blocos casualizados com quatro repetições, para doses de nitrogênio 0, 30, 60, 90 e 120 kg/ha. Os modelos fuzzy foram implementados no software Matlab, com funções de pertinência do tipo triangular e trapezoidal. Os resultados da fuzzy com função de pertinência triangular e trapezoidal mostraram resultados de simulação muito próximos da produtividade de grãos observada em campo, utilizando como variáveis de entrada a dose de nitrogênio e a condição de ano agrícola. Os resultados da função de pertinência do tipo triangular apresentam uma interface mais simples e fácil de ser entendida, possuindo somente três parâmetros a definir, que caracterizam os vértices do triângulo. Conclui-se que o sistema fuzzy é apropriado para a previsão de safras agrícolas da aveia, modeladas com funções de pertinências do tipo triangulares ou trapezoidais, porém, para um melhor ajuste de pontos e base de regras, recomenda-se a utilização de variáveis de entrada altamente necessárias para o modelo, diminuindo assim, sua complexidade.

**Palavras-chave:** Lógica Fuzzy. Funções de Pertinência. *Avena sativa* L. Nitrogênio.

**Abstract:** Fuzzy logic is an artificial intelligence model that assists in decision making. The objective of the study is to use the fuzzy logic of the Mamdani type to determine pertinence functions that efficiently simulate the productivity of oat grains by using nitrogen under different environmental conditions. The study was carried out in Augusto Pestana (RS) in six agricultural harvests (2011 to 2016), in a randomized block experimental design with four replications, for nitrogen doses 0, 30, 60, 90 and 120 kg/ha. The fuzzy models were implemented in the Matlab software, with pertinence functions of the triangular and trapezoidal type. The fuzzy results with triangular and trapezoidal relevance function showed simulation results very close to the grain yield observed in the field, using as input variables the nitrogen dose and the agricultural year condition. The results of the membership function of the triangular type present a simpler and easier

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa

**ODS:** 12 - Consumo e produção responsáveis

to understand interface, having only three parameters to define, which characterize the vertices of the triangle. It is concluded that the fuzzy system is suitable for forecasting oat agricultural crops, modeled with triangular or trapezoidal pertinence functions, however, for a better adjustment of points and rules base, it is recommended to use variables of highly necessary input for the model, thus reducing its complexity.

**Keywords:** Fuzzy logic. Relevance Functions. *Avena sativa* L.. Nitrogen.

## INTRODUÇÃO

Sistemas de conjuntos nebulosos, conhecidos como lógica fuzzy, tem sido utilizado para tratar de problemas com características complexas, sendo capaz de capturar informações incertas, em geral, determinadas por expressões linguísticas, e convertê-las para um formato numérico de fácil manipulação, tornando-se solução para problemas até então não solucionáveis por técnicas clássicas (ZADEH, 1965; BANNERJEE et al., 2018).

A lógica fuzzy, introduzida no ano de 1965 por Lotfi Zadeh se diferencia da lógica clássica que é bivalente, pois assume para o valor verdade qualquer valor real entre 0 e 1, onde o valor 0 indica que não pertence ao conjunto; o valor 1 indica que pertence totalmente ao conjunto e os valores entre 0 e 1 indicam um grau de pertinência intermediário, ou seja, é multivalente. Oferece um conjunto de regras e valores que são guias para o processador de dados, sobre a forma como estes dados serão manipulados a fim de se obter a saída desejada. É aplicada para o controle de processos, aproximando o pensamento humano pelo modo de tomada de decisões feito por máquinas.

O sistema baseado em regras fuzzy é composto por quatro componentes: um processador de entrada que realiza a fuzzificação dos dados de entrada, um conjunto de regras nebulosas, denominada de base de regras, um módulo de inferência fuzzy e um processador de saída que defuzzifica o número fuzzy e fornece um número real como saída (JAFELICE et al., 2012). O processador de entrada ou módulo de fuzzificação, modela matematicamente as variáveis de entrada, sendo atribuídos para cada variável termos linguísticos que representam o estado desta variável, associado a um conjunto fuzzy por uma função de pertinência.

Várias são as funções de pertinências, porém, os números fuzzy mais utilizados são os triangulares e trapezoidais. A função de pertinência para um número fuzzy  $F$  triangular é dado da forma,

Evento: XXV Jornada de Pesquisa  
ODS: 12 - Consumo e produção responsáveis

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

o gráfico da função de pertinência triangular (Figura 1) tem a forma de um triângulo, com base em um intervalo [a,c] e um vértice fora da base (b,1), sendo assim, os números reais a, b e c definem o número fuzzy triangular, não sendo necessariamente simétricos.

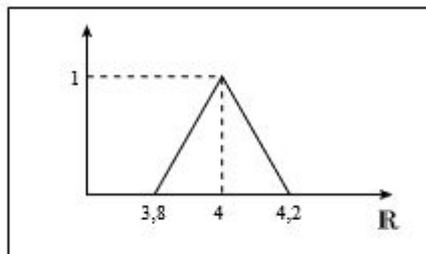


Figura 1. Gráfico da função de pertinência triangular

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

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

o gráfico da função de pertinência trapezoidal tem a forma de um trapézio (Figura 2), com base em um intervalo [a, d] e vértices fora da base (b,1) e (c,1).

Evento: XXV Jornada de Pesquisa  
 ODS: 12 - Consumo e produção responsáveis

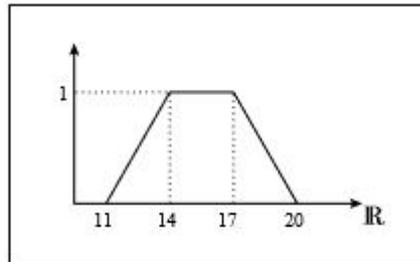


Figura 2. Gráfico da função de pertinência trapezoidal

Um módulo importante do sistema fuzzy é a determinação da base de regras, a qual constitui junto com o módulo de inferência, o núcleo do sistema. Neste módulo se determinam regras que relacionam as variáveis e suas classificações linguísticas. Nos sistemas fuzzy cada proposição tem a forma, se “estado” então “resposta”. Cada “estado” e “resposta” são determinados por variáveis linguísticas. A base de regras traduz matematicamente informações que formam a base de conhecimentos do sistema fuzzy, de modo que, quanto mais precisas forem tais informações, menos difusas será a relação fuzzy (BARROS; BASSENAZI, 2006).

O sistema fuzzy necessita da escolha do método de inferência, onde os operadores matemáticos serão selecionados para definir a relação fuzzy que modela a base de regras, fornecendo a saída fuzzy a partir de cada entrada com relação à base de regras. O método de inferência de Mamdani, é definido pelo produto cartesiano fuzzy das regras Se (antecedente) então (consequente), agregando às regras o operador lógico OU (máximo) e o operador lógico E (mínimo), dados pelo conectivo “e” utilizado nesse trabalho, representado por:

$$\wedge: \{0,1\} \times \{0,1\} \rightarrow \{0,1\}$$

$$(p, q) \mapsto \wedge(p, q) = p \wedge q = \min\{p, q\}$$

ou, pelo conectivo “ou”, representado por:

$$\vee: \{0,1\} \times \{0,1\} \rightarrow \{0,1\}$$

$$(p, q) \mapsto \vee(p, q) = p \vee q = \max\{p, q\}$$

O processo de defuzzificação, é a fase onde o valor do conjunto fuzzy será traduzido em um valor numérico real. Muitos os métodos de defuzzificação podem ser adotados, dentre eles, o de centro de massa, pela bissetriz, e pelo médio, menor e maior valor da função máxima de associação agregada.

Muitos estudos voltados a resolução de problemas da área agrícola são realizados com o uso da lógica fuzzy. Vasconcelos (2019), utilizou a lógica fuzzy para modelar a produtividade de cana-de-açúcar irrigada em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada, constatando que a produtividade da água para produção de colmos e açúcar foi significativa na presença da torta de filtro combinada com fontes de P e na associação de torta de filtro e doses de P, respectivamente, em particular, reforçando o potencial da torta de filtro tanto como fonte adicional de P, quanto material

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa

**ODS:** 12 - Consumo e produção responsáveis

eficiente em reter água (irrigação de salvamento). Mamann et al. (2018) adequaram o modelo de lógica fuzzy para simulação da produtividade biológica e grãos de trigo nas condições de uso de hidrogel, nitrogênio e temperatura máxima no sistema soja/trigo, concluindo que o modelo fuzzy gerado possibilitou estimar os valores de produtividade biológica e grãos significativos. Também Trautmann et al. (2019) usaram a lógica fuzzy para simulação da produtividade de grãos de trigo nas condições de uso de nitrogênio junto aos efeitos de temperatura do ar e precipitação pluviométrica em sistema soja/trigo concluindo que o modelo fuzzy gerado possibilita estimar os valores de produtividade grãos.

Dessa forma, a utilização da lógica fuzzy pode representar um modelo eficiente de previsibilidade da produtividade de grãos que permite considerar efeitos controlados e não controlados na simulação de processos biológicos em condições reais de cultivo.

A aveia branca é um cereal de inverno produzido mundialmente, destacando-se em termos de produção e de área cultivada. O Brasil é um dos principais produtores de aveia branca da América do Sul, sendo que a Região Sul responde pela maior produção nacional (SCHIAVO et al., 2015). Possui grãos de destaque na alimentação humana, com elevado teor de proteínas e fibras solúveis, que auxiliam na redução de enfermidades cardiovasculares e do colesterol LDL, o que certifica à aveia o título de alimento medicinal (COELHO et al., 2018).

O manejo da aveia branca envolve fatores controlados e não controlados, com dinâmicas de atuação variáveis entre si e que refletem no desenvolvimento da cultura (SCREMIN et al., 2017). A adubação nitrogenada é o fator controlado de maior impacto para a produtividade e qualidade da aveia, sendo o nutriente quantitativamente mais absorvido pela cultura (TANG et al., 2018). Porém, o agricultor, muitas vezes não tem conhecimento da dose adequada do insumo, pois as indicações técnicas não levam em consideração os fatores meteorológicos que influenciam decisivamente para que a adubação nitrogenada seja eficiente. Os elementos meteorológicos atuantes no sistema agrícola representam os fatores não controlados que intervêm de forma intensa na ação do nitrogênio (SCREMIN et al., 2017).

Ao considerar fatores controlados e não controlados, estamos tratando de sistemas complexos e que exigem entendimento para a tomada de decisões. Nesta perspectiva, temos a utilização da lógica fuzzy, que permite fazer simulações, dando suporte no desenvolvimento, otimização e validação de novas tecnologias (BRACARENSE et al., 2013 BANNERJEE et al., 2018). Portanto, o objetivo do estudo é utilizar a lógica fuzzy do tipo Mamdani para determinar funções de pertinência que simulam com eficiência a produtividade de grãos de aveia pelo uso de nitrogênio em distintas condições ambientais.

## METODOLOGIA

Os dados experimentais do presente estudo foram coletados nos anos de 2011 a 2016 no município de Augusto Pestana-RS. As sementeiras foram realizadas entre a primeira e a segunda semana de junho com semeadora-adubadora sob um sistema de sucessão soja/aveia. Cada parcela foi constituída de 5

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa

**ODS:** 12 - Consumo e produção responsáveis

linhas com 5 metros de comprimento cada, e espaçamento entre linhas de 0,20 m, correspondendo a uma unidade experimental de 5 m<sup>2</sup>. O experimento seguiu um delineamento experimental de blocos casualizados com quatro repetições, seguindo um esquema unifatorial, tendo como fator doses de nitrogênio nos níveis 0 kg ha<sup>-1</sup>, 30 kg ha<sup>-1</sup>, 60 kg ha<sup>-1</sup>, 90 kg ha<sup>-1</sup> e 120 kg ha<sup>-1</sup> com o fertilizante nitrogenado ureia.

A colheita dos experimentos 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.

Dados meteorológicos obtidos pela Estação Total Automática instalada a 200 metros da implantação do experimento, capturou a precipitação pluviométrica (mm), resultado do somatório da quantidade de precipitação de água durante um determinado período; a temperatura diária mínima e máxima (°C), que foi utilizada para caracterização do ano agrícola em favoráveis, desfavoráveis ou intermediários à produtividade de grãos de aveia.

O sistema baseado em regras fuzzy (SBRF), foi implementado pelo Toolbox Fuzzy Logic do Matlab, tendo como variáveis de entrada a dose de nitrogênio (kg ha<sup>-1</sup>) e categoria de ano de cultivo determinada pela caracterização meteorológica, e como variável de saída a produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>). A programação foi realizada pelo método de inferência de Mamdani, com emprego do conectivo “e (E,,)”, funções de pertinência do tipo triangular e trapezoidal e defuzzificação pelo método do centro de massa.

Foram determinados as classes e os intervalos de classe para cada variável de entrada e saída, assim como, a base de regras que contempla a lógica de incertezas fuzzy. A variável anos de cultivos foi classificada em desfavorável (AD), intermediário (AI) e favorável (AF), codificando-os em 0, 1 e 2, respectivamente. A adubação nitrogenada foi considerada em um intervalo de 0 a 120, classificados em muito baixa (MB), baixa (B), moderada (MD), alta (A) e muito alta (MA). Na variável de saída os intervalos de imagem representaram o valor máximo e o mínimo dos dados coletados experimentalmente, considerando a médias dos anos de avaliação por categoria de ano favorável, desfavorável e intermediário. Portanto, para a produtividade de grãos considerou-se o domínio de intervalo de 1500 a 4500 classificadas em cinco intervalos equidistantes, sendo, muito baixa (MB), baixa (B), razoável (RZ), alta (A) e muito alta (MA).

Dois sistemas fuzzy foram desenvolvidos, um com funções de pertinência do tipo triangular e outro com funções de pertinência do tipo trapezoidais, ambos com uma base de 15 regras. Os resultados gerados por estes distintos sistemas fuzzy foram analisados através do erro absoluto resultante entre o dado real observado e o dado simulado pela lógica fuzzy, utilizados para comparação e análise do melhor método para simulação da produtividade de grãos de aveia.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira análise dos dados traz as variáveis que descrevem o estado do sistema a ser controlado (variáveis de entrada) sendo a dose de nitrogênio e a caracterização meteorológica do ano de cultivo. Foi definido para a variável “dose de nitrogênio” funções de pertinência do tipo triangular (Figura 3) e trapezoidal (Figura 4), ambas assumindo os termos linguísticos “muito baixa, baixa, média, alta e muito alta”, que são definidos como conjuntos fuzzy. No caso da variável “condição de ano de cultivo”, os termos linguísticos utilizados foram “desfavorável, intermediário e favorável” tanto para a função de pertinência do tipo triangular (Figura 5) como também para a função de pertinência do tipo trapezoidal (Figura 6).

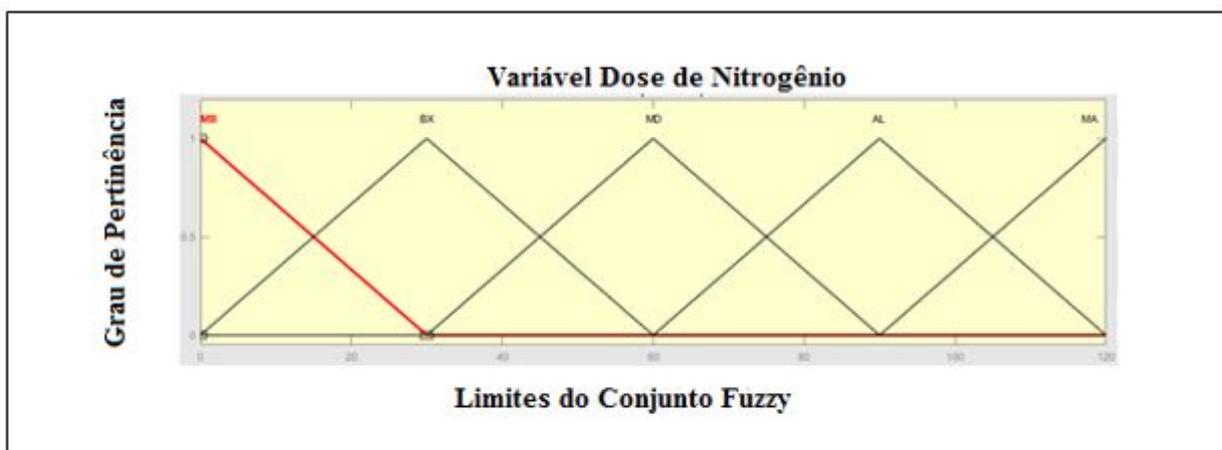


Figura 3. Conjuntos fuzzy triangular da variável dose de nitrogênio.

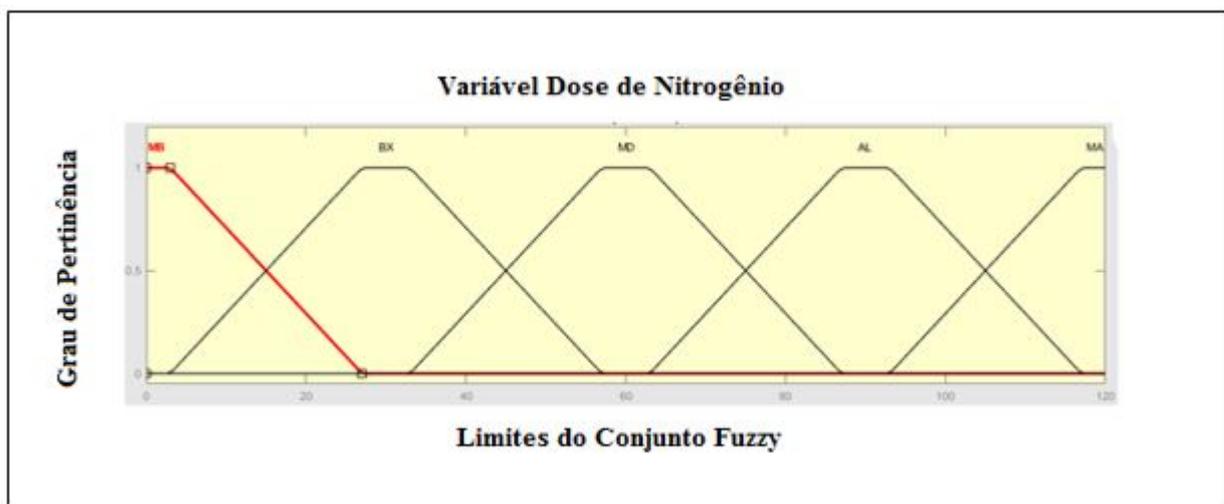


Figura 4. Conjuntos fuzzy trapezoidal da variável dose de nitrogênio

Evento: XXV Jornada de Pesquisa  
ODS: 12 - Consumo e produção responsáveis

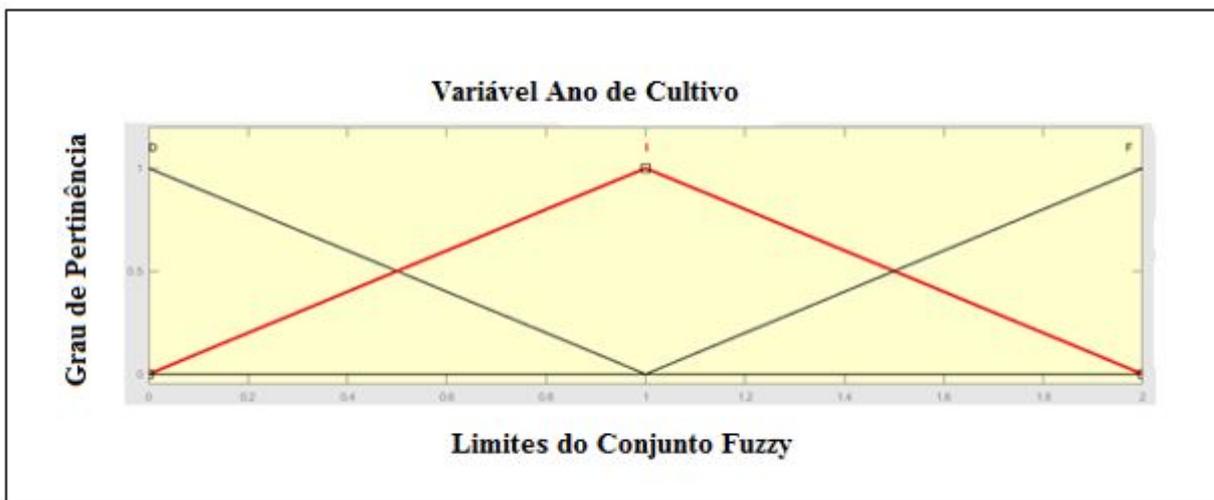


Figura 5. Conjuntos fuzzy triangular da variável ano de cultivo

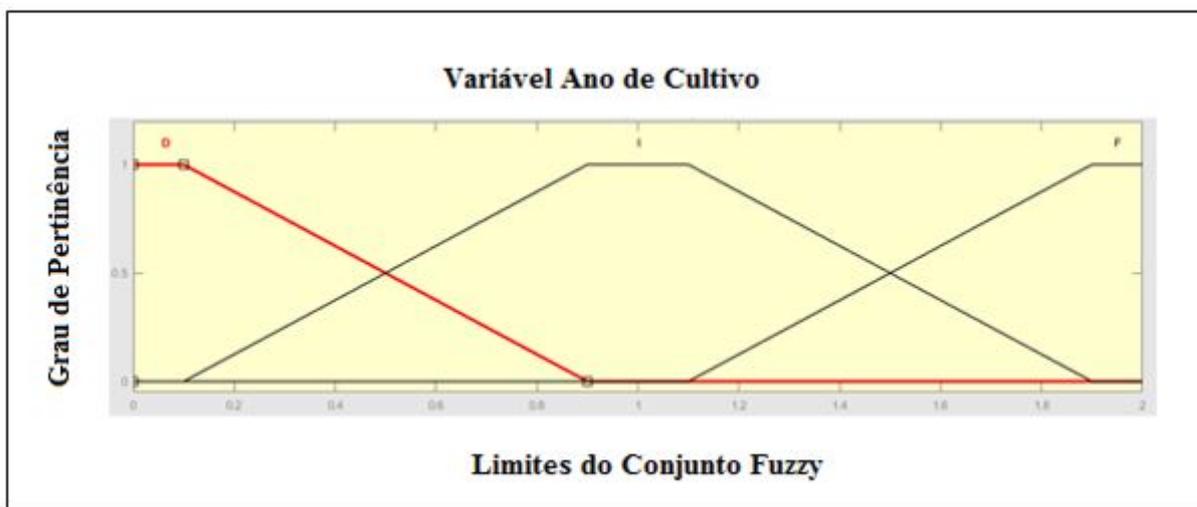


Figura 6. Conjuntos fuzzy trapezoidal da variável ano de cultivo

A variável que descreve a saída do controlador é denominada “produtividade de grãos”, e é definida pelos termos linguísticos “muito baixo, baixo, aceitável, alto e excelente” com função de pertinência do tipo triangular (Figura 7), e trapezoidal (Figura 8).

Evento: XXV Jornada de Pesquisa  
 ODS: 12 - Consumo e produção responsáveis

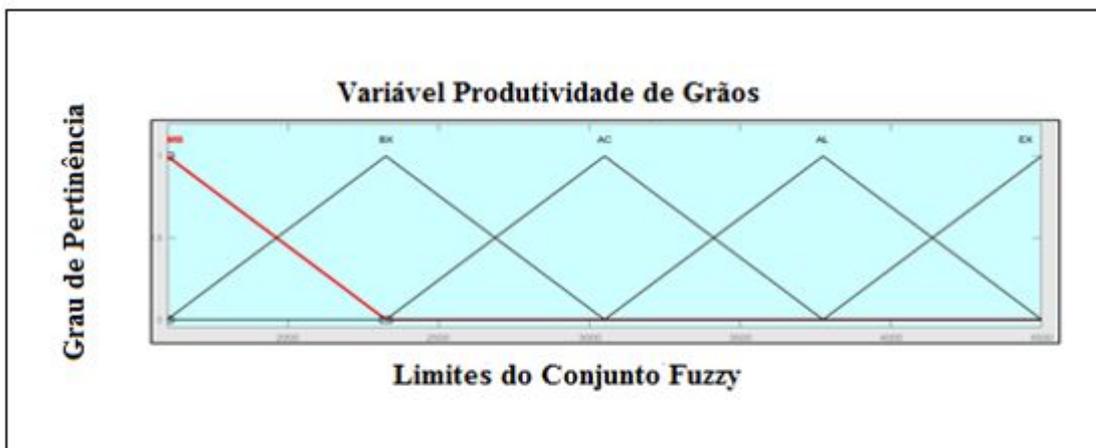


Figura 7. Conjuntos fuzzy triangular da variável produtividade de grãos



Figura 8. Conjuntos fuzzy trapezoidal da variável produtividade de grãos

A Tabela 1 traz o conjunto de regras utilizadas para o desenvolvimento do controlador fuzzy com as variáveis de entrada dose de nitrogênio e ano de cultivo formado por 15 regras. Esta base de regras é utilizada tanto para o sistema com função de pertinência triangular, como para o sistema com função de pertinência trapezoidal.

Evento: XXV Jornada de Pesquisa  
ODS: 12 - Consumo e produção responsáveis

Tabela 1. Base de regras para produtividade de grãos pela dose de nitrogênio e ano de cultivo

| Regra | Se a “dose de nitrogênio” é | E o “ano de cultivo” é | Então a “produtividade de grãos” será |
|-------|-----------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 1     | MB                          | F                      | AC                                    |
| 2     | BX                          | F                      | AC                                    |
| 3     | MD                          | F                      | AL                                    |
| 4     | AL                          | F                      | EX                                    |
| 5     | MA                          | F                      | AL                                    |
| 6     | MB                          | D                      | MB                                    |
| 7     | BX                          | D                      | BX                                    |
| 8     | MD                          | D                      | BX                                    |
| 9     | AL                          | D                      | AC                                    |
| 10    | MA                          | D                      | BX                                    |
| 11    | MB                          | I                      | BX                                    |
| 12    | BX                          | I                      | AC                                    |
| 13    | MD                          | I                      | AC                                    |
| 14    | AL                          | I                      | AL                                    |
| 15    | MA                          | I                      | AC                                    |

MB= muito baixa, BX= baixa, MD= moderada, AL= alta, MA= muito alta, F= favorável, D= desfavorável, I= intermediário, AC= aceitável, EX= excelente.

Os dados acima foram implementados no módulo computacional Fuzzy Logic Toolbox do MATLAB. A Tabela 2, apresenta os valores da produtividade de grãos observadas em campo experimental e simuladas pela lógica fuzzy com funções de pertinências do tipo triangular e trapezoidal, por categoria de ano agrícola e seus respectivos erros absolutos.

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa  
**ODS:** 12 - Consumo e produção responsáveis

Tabela 2. Produtividade de grãos de aveia simulada pela lógica fuzzy com funções de pertinências triangulares e trapezoidais

| Dose Nitrogênio | Ano | PGo  | PGs  |      | EA <sub>triag</sub> | EA <sub>trapez</sub> |
|-----------------|-----|------|------|------|---------------------|----------------------|
|                 |     |      | FTG  | FTP  |                     |                      |
| 0               | F   | 3080 | 3050 | 3070 | 30                  | 10                   |
| 30              | F   | 3413 | 3050 | 3070 | 363                 | 343                  |
| 60              | F   | 3957 | 3780 | 3790 | 177                 | 167                  |
| 90              | F   | 4389 | 4270 | 4290 | 119                 | 99                   |
| 120             | F   | 3850 | 3780 | 3790 | 70                  | 60                   |
| 0               | D   | 1678 | 1830 | 1830 | 152                 | 152                  |
| 30              | D   | 2114 | 2330 | 2340 | 216                 | 226                  |
| 60              | D   | 2339 | 2330 | 2340 | 9                   | 1                    |
| 90              | D   | 2660 | 3050 | 3070 | 391                 | 411                  |
| 120             | D   | 2282 | 2330 | 2340 | 48                  | 58                   |
| 0               | I   | 2586 | 2330 | 2340 | 256                 | 246                  |
| 30              | I   | 2807 | 3050 | 3070 | 243                 | 263                  |
| 60              | I   | 3028 | 3050 | 3070 | 22                  | 42                   |
| 90              | I   | 4040 | 3780 | 3790 | 260                 | 250                  |
| 120             | I   | 3279 | 3050 | 3070 | 229                 | 209                  |

F= ano favorável; D= ano desfavorável; PGo= produtividade de grãos observada (kg/ha); PGs= produtividade de grãos simulada (kg/ha); FTG= fuzzy triangular; FTP= fuzzy trapezoidal; EA<sub>triag</sub>= Erro absoluto fuzzy triangular; EA<sub>trapez</sub>= Erro absoluto fuzzy trapezoidal.

Observa-se que os resultados tanto da fuzzy com função de pertinência triangular como da fuzzy com pertinência trapezoidal mostraram resultados de simulação muito próximos da produtividade de grãos observada em campo.

Para a condição de ano favorável, as doses extremas, ou seja, 0 kg/ha e 120 kg/ha apresentaram o menor erro absoluto independentemente do tipo de função de pertinência utilizada (triangular ou trapezoidal). Para a condição de ano desfavorável, destaque se dá a dose de 60 kg/ha, a qual apresentou o menor erro absoluto. Este fato, se repete também para a condição de ano intermediário, de modo que o erro absoluto é calculado pela diferença da produtividade de grãos observada com a produtividade de grãos simulada.

De modo geral, as simulações obtiveram diferenças entre 0,38% a 14,7% com a função de pertinência triangular e de 0,04% a 15,5% com a função de pertinência trapezoidal. Destaca-se que, neste modelo fuzzy está sendo analisado valores de produtividades médias com seis anos de observação, utilizando somente as variáveis de entrada, dose de nitrogênio e condição de ano agrícola, desta forma, ressalta-se que, as duas funções de pertinência utilizadas se mostram apropriadas para simular a produtividade de grãos de aveia. Além disso, o erro relativo de cada condição avaliada, é em média 5,98% para as funções de pertinência triangulares e 5,93% para as funções de pertinência trapezoidais, mostrando que, para a simulação da produtividade de grãos da aveia, com as variáveis de entrada a dose de nitrogênio e a condição de ano agrícola, ambas funções de pertinência da lógica



**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa

**ODS:** 12 - Consumo e produção responsáveis

fuzzy mostram resultados semelhantes e confiáveis.

Percebe-se nas literaturas estudadas que as funções de pertinência mais utilizadas para os conjuntos fuzzy são a triangular e a trapezoidal. Pimenta (2009, p.8) diz que, devido a sua formulação simples e eficiência computacional, as funções do tipo triangular e trapezoidal são amplamente utilizadas, especialmente em implementações com requisitos de funcionamento em tempo real. As funções de pertinência triangular, segundo Pedrycz (1994; *apud* VAZ, 2006, pg.76), trazem algumas características inerentes que justificam sua utilização em processos de modelagem que utilizam a lógica fuzzy. Dentre essas características pode-se citar, a simplicidade na forma da função de pertinência; a informação satisfatória acerca do termo linguístico; e, a distribuição linear entre os termos limites do conjunto.

Verifica-se que a função de pertinência triangular é a mais utilizada pois apresenta uma função simples e fácil de ser entendida, possuindo somente três parâmetros a definir, que caracterizam os vértices do triângulo. Conforme Simões (2007), deve-se analisar quais variáveis realmente devem ser utilizadas, pois o número de variáveis afeta de uma certa forma o grau de complexidade do modelo. Vale ressaltar que as duas funções de pertinência apresentadas nesse trabalho obtiveram resultados muito próximos para a diferença entre a produtividade de grãos observada e a produtividade de grãos simuladas, sendo eficientes para previsão de safras.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cada dia que passa a lógica fuzzy vem ganhando força estando presente nas mais diversas áreas do conhecimento. Na ciência agrária é empregada com a finalidade de auxiliar o produtor no gerenciamento de suas propriedades, dando apoio na tomada de decisão, trazendo melhor desempenho econômico e financeiro ao seu negócio.

Para modelar matematicamente a lógica fuzzy, foi utilizado como ferramenta de auxílio o software Toolbox Matlab, que proporcionou implementar com facilidade o sistema fuzzy para simulação a produtividade de grãos.

Observou-se que ambos os resultados da lógica fuzzy com função de pertinência triangular e com função de pertinência trapezoidal, mostraram resultados de simulação muito próximos da produtividade de grãos observada em campo, quando utilizado como variáveis de entrada a dose de nitrogênio junto a condição de ano agrícola.

Os resultados da função de pertinência do tipo triangular apresentam uma interface mais simples e fácil de ser entendida, possuindo somente três parâmetros a definir, que caracterizam os vértices do triângulo.

Desta forma, o sistema fuzzy é apropriado para a previsão de safras agrícolas, modeladas com funções de pertinências do tipo triangulares ou trapezoidais, porém, para um melhor ajuste de pontos e base de regras, recomenda-se a utilização de variáveis de entrada altamente necessárias para o modelo, diminuindo assim, a complexidade do modelo.

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa  
**ODS:** 12 - Consumo e produção responsáveis

## REFERÊNCIAS

BANERJEE, G. et al. Artificial intelligence in agriculture: A literature survey. **International Journal of Scientific Research in Computer Science Applications and Management Studies** v.7, n.3, p. 1-5, 2018.

BARROS, L.C.; BASSANEZI, R.C.. **Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática**. UNICAMP/IMECC, Campinas, SP, v.5, p. 392, 2006.

BRACARENSE, J.C.; SANTOS, C.V.; MAYERLE, S.F. Tomada de decisão sob condições de risco e incerteza: uma aplicação da lógica fuzzy à bovinocultura de corte da região Serrana de Santa Catarina. **Teoria e Evidência Econômica**, v.41, p. 73-101, 2013.

COELHO, A.P.; ROSALEN, D.L.; FARIA, R.T. Vegetation indices in the prediction of biomass and grain yield of white oat under irrigation levels. **Pesq. Agropec. Trop.** v.48, n.2, p.109-117, 2018.

JAFELICE, R.S.M.; BARROS, L.C.; BASSANEZI, R.C. Teoria dos Conjuntos Fuzzy com aplicações. **Notas em Matemática Aplicada**, v.17, p.119, 2012.

MAMANN, A.T.W. et al. Lógica fuzzy na simulação da produtividade de trigo por nitrogênio e hidrogel. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics**, v. 6, n. 1, 2018.

PEDRYCZ, W. **Why Triangular Membership functions**, v.64, n.1, 1994.

PIMENTA, A.H.M. Geração genética de classificador fuzzy intervalar do tipo 2. **Dissertação** (Mestrado), Pós Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, p.8. 2009

SCHIAVO, J. Produção e qualidade de sementes de aveia branca: efeito de cultivares, sistema de cultivo antecessor e doses de nitrogênio. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, p.94, 2015.

SCREMIN, O.B. et al. Nitrogen and hydrogel combination in oat grains productivity. **International Journal of Development Research**, v.7, n.7, p.13896-13903, 2017.

SIMÕES, M. G. **Controle e modelagem fuzzy** – São Paulo: Blucher: FAPESA, 2007.

TANG, P.C. et al. 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. B; et al. Lógica fuzzy como proposta inovadora na simulação da produtividade de grãos de trigo pelas condições meteorológicas e uso de nitrogênio. **A**

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa

**ODS:** 12 - Consumo e produção responsáveis

**produção do conhecimento nas ciências exatas e da terra 2 [recurso eletrônico] /** Organizadora Ingrid Aparecida Gomes. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (A produção do Conhecimento nas Ciências Exatas e da Terra; v. 2).

VASCONCELOS, R.L. Modelagem fuzzy da produtividade de cana-de-açúcar irrigada em função da aplicação da torta de filtro e da adubação fosfatada. **Tese** (Doutorado em Agronomia Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas; Unesp, Botucatu, SP, 2019.

VAZ, A. M. Estudo das funções de pertinência para conjuntos fuzzy utilizados em controladores semafóricos fuzzy. **Dissertação** (Mestrado em Transportes) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, p.76, 2006.

ZADEH, L.A. Fuzzy Sets. **Information and control**, v.8, p.338-353, 1965.

**Parecer CEUA:** 2.260.474