

MODELAGEM FUZZY PARA AVALIAÇÃO DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO DIFERENTES DOSES DE POLÍMEROS E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

RENATA NAGIMA IMADA¹, DANIEL DOS SANTOS VIAIS NETO², VALTER ALVES PRADELA³, LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO⁴

¹ Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente (FATEC), Rua Terezina, 75, Vila Paulo Roberto, 19046-230, Presidente Prudente, SP, Brasil, renata.imada@fatec.sp.gov.br

² Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente (FATEC), Rua Terezina, 75, Vila Paulo Roberto, 19046-230, Presidente Prudente, SP, Brasil, dv.neto@fatec.sp.gov.br

³ Escola Técnica Estadual "Profª Nair Luccas Ribeiro" (ETEC), Rua Pará, 506, Bairro da Estação, 19280-000, Teodoro Sampaio, SP, Brasil, valter.pradela@etec.sp.gov.br

⁴ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Engenharia, Rua Domingos da Costa Lopes, 780, Jd. Itaipu, 17602-496, Tupã, SP, Brasil, gabriel.filho@unesp.br

RESUMO: Com o aumento da demanda por biocombustíveis, o Brasil tem se destacado mundialmente na produção de cana-de-açúcar. Visando a redução de custos dessa cultura, o sistema de mudas pré-brotadas é um método que diminui o volume de matéria-prima necessário para o plantio. Além disso, a água é indispensável para a produção desse tipo de muda e, para suprir essa necessidade, é possível adicionar polímeros ao substrato. Em virtude disso, o presente trabalho objetivou analisar, por meio de uma modelagem *fuzzy*, os efeitos na formação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar de diferentes doses de polímero em mistura com o substrato e diferentes lâminas de irrigação diária, 60 dias após o plantio dos minirrebolos. Para tanto, foi realizada a modelagem matemática de um experimento realizado em casa de vegetação na Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente. No modelo *fuzzy* desenvolvido, as variáveis de entrada foram: polímero e irrigação. Já as variáveis de saída estudadas foram: comprimento da parte aérea, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa fresca de raízes e massa seca de raízes. A análise dos efeitos do polímero e da irrigação foi realizada por meio de superfícies tridimensionais e mapas de contorno das variáveis de saída. Tal modelagem visou gerar resultados também em diversos pontos não aferidos experimentalmente, possibilitando assim, analisar todos os cenários do desenvolvimento vegetativo e fisiológico de tais mudas. Constatou-se que variáveis relacionadas à parte aérea das mudas são positivamente afetadas pela adição de polímero, enquanto a massa de raízes tem o comportamento inverso. Em geral, conclui-se que a região próxima a 3 g L⁻¹ de polímero misturado ao substrato, combinado com lâminas de irrigação diárias entre 10 a 15 mm, verificam-se as maiores respostas das variáveis biométricas estudadas, objetivando ter um menor consumo hídrico.

Palavras-chave: lógica *fuzzy*, massa fresca, massa seca.

FUZZY MODELING FOR EVALUATION OF PRE-SPROUTED SUGARCANE SEEDLINGS USING DIFFERENT DOSES OF POLYMERS AND IRRIGATION WATER DEPTH

ABSTRACT: With the increase of the demand for biofuel, Brazil has been globally known as sugarcane producer. Seeking the reduction of costs of that culture, the system of pre-sprouted seedlings is a method that decreases the necessary raw material volume to the planting. Besides, the water is indispensable for the production of that seedling type and to supply that need it is possible to add polymeric to the substratum. Because of that, the present work aimed at analyzing, through a modeling fuzzy, the effects in the formation of pre-sprouted sugarcane seedlings of different polymeric doses mixed with the substratum and different water depth of daily irrigation, 60 days after the planting of the small stalks. Thus, it was used the mathematical modeling of an experiment that took place in a greenhouse in São Paulo State Technology College (Fatec). In the fuzzy model

developed, the input variables were: polymeric and irrigation. And the output variables studied were: length of the aerial part, aerial part fresh mass, aerial part dry mass, roots fresh mass and roots dry mass. The analysis of polymeric and irrigation effects was accomplished through three-dimensional graphs and maps of the output variables outline. Such modeling aimed at having results also in several points that were not checked experimentally, making possible to analyze all sceneries of the vegetative and physiologic development of such seedlings. It was verified that variables related to the aerial part of the seedlings are positively affected for the addition of polymeric, while the mass of roots has the opposite behavior. In general, it is concluded that the area close to 3 g L⁻¹ of polymeric mixed to the combined substratum with daily irrigation water depth among 10 to 15 mm had the largest answers of the studied biometrics variables, with the objective to have a lower hydric consumption.

Keywords: fuzzy logic, fresh mass, dry mass.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o país aumentou consideravelmente sua produção de cana-de-açúcar, destacando-se entre as potências mundiais na área (ABREU et al., 2011). O cultivo da cana-de-açúcar, por seu potencial na produção de etanol, proporciona uma fonte de energia renovável e permite reduzir a emissão de gases poluentes, assim, a demanda para produção de tais combustíveis torna a cana-de-açúcar uma cultura com papel importante no cenário agrícola mundial, tendo grande importância econômica e social para o agronegócio brasileiro (MARQUES et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2016). Além disso, a Conab aponta que a produção de cana-de-açúcar tem auxiliado o aumento na oferta e a redução de custos na geração de energia elétrica, ampliando a sustentabilidade do setor (CANA-DE-AÇÚCAR, 2019).

Em vista dessa importância, de acordo com Martins et al. (2015), a forma de plantio da cana-de-açúcar pouco mudou durante muitos anos, sendo importante buscar o aperfeiçoamento do seu cultivo, visando a diminuição dos custos e aumento da produção. A utilização de mudas pré-brotadas (MPB) é direcionada para aumentar a eficiência e os ganhos econômicos na implantação de viveiros (PINTO et al., 2016), ela traz grandes vantagens, como mudas de alta qualidade e maior uniformidade do canavial, além de minimizar a disseminação de pragas de solo, reduzir até 90% da quantidade de mudas que vão para o campo e induzir o melhor aproveitamento dos recursos hídricos e

nutricionais devido à forma de distribuição espacial das mudas (LANDELL et al., 2012).

Segundo Pradela (2016), a avaliação da influência do polímero em mistura com o substrato pode proporcionar maior produtividade e, por consequência, maior lucratividade, geração de empregos e prosperidade no agronegócio canavieiro. Sendo assim, busca-se avaliar a influência de diferentes níveis de irrigação, combinados com o uso de substrato em mistura com diferentes doses de polímero, na formação de mudas pré-brotadas, pois a cana-de-açúcar necessita de grandes quantidades de água para suprir suas necessidades e definir as melhores situações para seu desenvolvimento pode melhorar a produtividade da cana-de-açúcar e reduzir custos.

Para a realização de tal análise, a fim de investigar a otimização de recursos utilizados na área agrícola, tem-se a lógica *fuzzy*, uma teoria matemática que permite a modelagem aproximada ao raciocínio humano, pois imita a habilidade humana de tomar decisões em um ambiente de incerteza e imprecisão, trabalhando com informações qualitativas e descritas de forma não exata. Isso acontece porque enquanto na lógica clássica os objetos pertencem ou não a um determinado conjunto, a lógica *fuzzy* retorna um grau de pertinência à tal conjunto.

Ainda, por meio da lógica *fuzzy*, são criados sistemas *fuzzy*, que são um tipo de sistema inteligente devido ao fato de automatizar a tomada de decisão, seja ela imitando o raciocínio humano, seja analisando dados na busca de padrões. Nesse sentido,

elaborou-se uma modelagem matemática *fuzzy* e sua implementação computacional com dados experimentais de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.

O objetivo deste trabalho foi analisar os efeitos na formação das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar de diferentes doses de polímero em mistura com o substrato e diferentes lâminas de irrigação diária, 60 dias após o plantio dos minirrebolos, utilizando modelagem *fuzzy*. Tal modelagem visou gerar resultados também em diversos pontos não aferidos experimentalmente, possibilitando assim, analisar diferentes cenários do desenvolvimento vegetativo e fisiológico de tais mudas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Experimento agrônômico

A análise estatística dos dados experimentais necessários para a elaboração do modelo *fuzzy* proposto foi feita em Pradela (2016). O experimento foi realizado com temperatura média 26°C e umidade relativa do ar de 67%, em uma casa de vegetação localizada na altitude 452 m, latitude 22°08'23" Sul, longitude 51°23'05" Oeste e situada na Faculdade de Tecnologia de Presidente

Prudente – FATEC. O cultivar da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) utilizado foi o RB 867515.

Segundo Pradela (2016), o processo para a produção das mudas consistiu em três etapas e durou 60 dias. Na primeira etapa foram obtidos os minirrebolos de canas com 0,03 m de comprimento e gemas saudáveis. Os minirrebolos foram tratados termicamente e com fungicida, posteriormente plantados em bandejas e levados para a estufa para germinação. Características da irrigação desta etapa: irrigação por aspersores (micro aspersão); lâmina de 15 mm, com 4 irrigações diárias.

A segunda etapa (10 DAP - dias após o plantio) caracterizou-se pela mesma irrigação da etapa anterior, com a eliminação dos minirrebolos não germinados, enquanto as gemas brotadas foram transferidas em tubetes para a casa de vegetação, utilizando-se 6 doses de polímero (0; 1; 2; 3; 4; 8 g L⁻¹).

Na terceira etapa (mudas com 21 dias no tubete), as mudas foram transferidas para condição de pleno sol e submetidas a 3 lâminas de irrigação diária (5, 10 e 15 mm), com 4 irrigações diárias (Figura 1). Além disto, em Pradela (2016) estão explicitados os métodos de determinação das variáveis biométricas aferidas aqui utilizadas.

Figura 1. Mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar cultivar RB 86 7515.



O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, no esquema fatorial (6×3), com 6 doses de polímero (0; 1; 2; 3; 4; 8 g L⁻¹) e 3 lâminas de irrigação (5, 10 e 15 mm). Adotou-se 5 repetições (mudas em tubetes) de cada tratamento, totalizando 90 ($6 \times 3 \times 5$) mudas. Vale ressaltar que em Pradela (2016), buscando-se tecer outras conclusões agrônomicas, foram considerados mais tratamentos de polímeros.

2.2 Modelagem fuzzy

A modelagem *fuzzy* buscou analisar os efeitos nas variáveis biométricas após 60 dias do plantio dos minirrebolos. As variáveis analisadas foram o comprimento da parte aérea (CPA), a massa fresca da parte aérea (MFPA), a massa seca da parte aérea (MSPA), a massa fresca de raízes (MFR) e a massa seca de raízes (MSR).

O modelo matemático é representado pela função: $F: X_1 \times X_2 \subseteq \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^5$, $(x_1, x_2) \mapsto Y = F(x_1, x_2)$, com $X_1 = [0,8]$, $X_2 = [5,15]$, com x_1 representando a quantidade de polímero adicionada no substrato

(g L⁻¹) e x_2 representando a lâmina de irrigação adotada (mm). Os limites inferiores e superiores de X_1 e X_2 são respectivamente os valores mínimos e máximos utilizados no experimento. A saída do modelo $Y = F(x_1, x_2) = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5)$ representa as medianas das variáveis biométricas da muda pré-brotada de cana-de-açúcar, sendo y_1 o comprimento da parte aérea, y_2 a massa fresca da parte aérea, y_3 a massa seca da parte aérea, y_4 a massa fresca de raízes e y_5 a massa seca de raízes.

O sistema baseado em regras *fuzzy* (SBRF) é representado na Figura 2, com variáveis de entrada: Polímero (g L⁻¹) e Irrigação (mm). Para a variável Polímero, tem-se 6 conjuntos *fuzzy*: Baixo 1 (B1), Baixo 2 (B2), Médio 1 (M1), Médio 2 (M2), Alto 1 (A1) e Alto 2 (A2) de acordo com a Tabela 1. Enquanto que para a variável Irrigação foram definidos 3 conjuntos *fuzzy*: Baixo (B), Médio (M) e Alto (A) (Tabela 2). Os valores numéricos apresentados foram baseados nos dados do experimento realizado em Pradela (2016).

Figura 2. SBRF de avaliação das mudas de cana-de-açúcar com 2 variáveis de entrada (Polímero e Irrigação) e 5 variáveis de saída (CPA-comprimento da parte aérea, MFPA-massa fresca da parte aérea, MSPA-massa seca da parte aérea, MFR-massa fresca de raízes e MSR-massa seca de raízes)

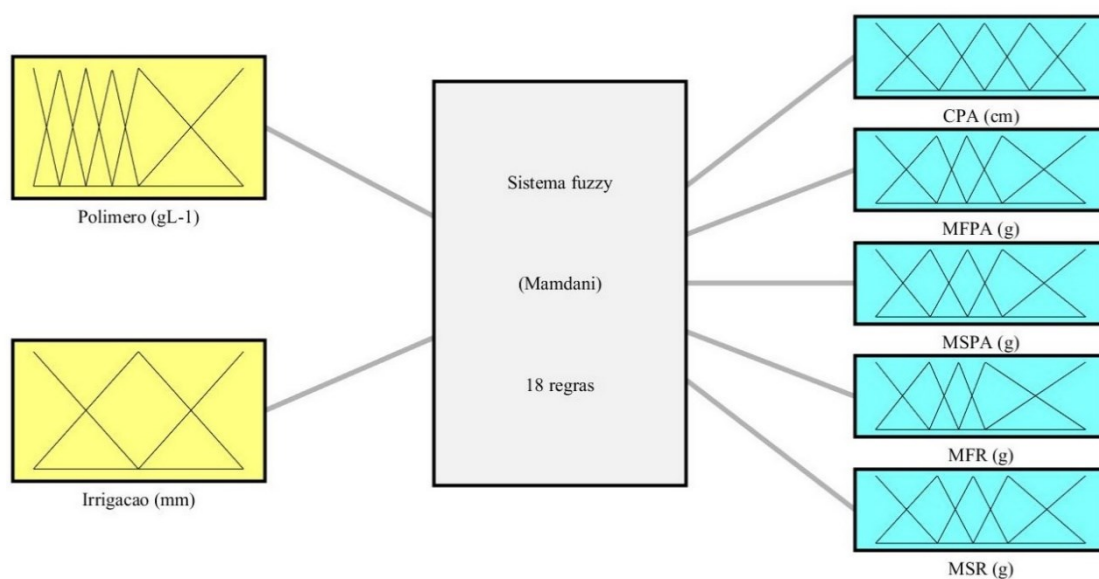


Tabela 1. Definição das funções de pertinência do tipo triangular dos conjuntos *fuzzy* da variável de entrada Polímero.

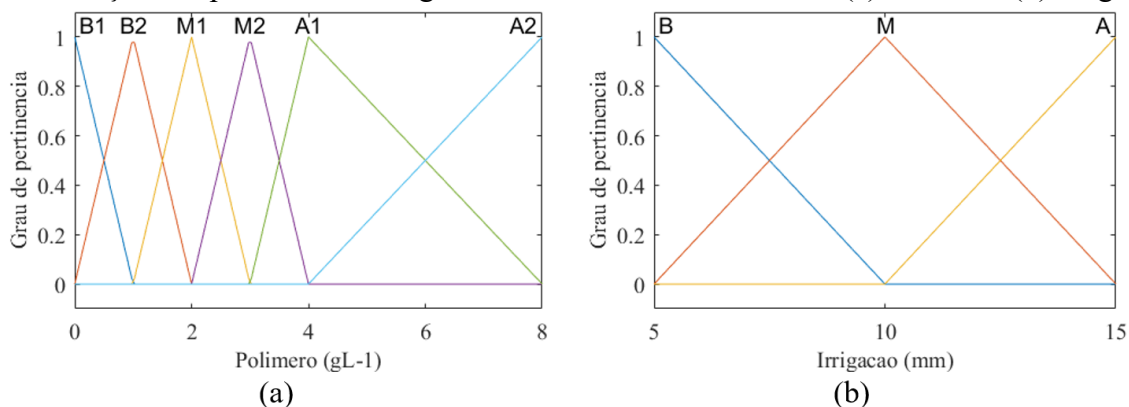
Conjuntos <i>fuzzy</i>	Tipo	Delimitadores Polímero
B1	Triangular	[-1, 0, 1]
B2	Triangular	[0, 1, 2]
M1	Triangular	[1, 2, 3]
M2	Triangular	[2, 3, 4]
A1	Triangular	[3, 4, 8]
A2	Triangular	[4, 8, 12]

Tabela 2. Definição das funções de pertinência do tipo triangular dos conjuntos *fuzzy* da variável de entrada Irrigação.

Conjuntos <i>fuzzy</i>	Tipo	Delimitadores Irrigação
B	Triangular	[0, 5, 10]
M	Triangular	[5, 10, 15]
A	Triangular	[10, 15, 20]

As funções de pertinência das variáveis de entrada foram definidas de acordo com a

metodologia proposta a partir da determinação das medianas dos tratamentos (Figura 3).

Figura 3. Funções de pertinência triangulares das variáveis de entrada: (a) Polímero (b) Irrigação.

As variáveis biométricas da muda pré-brotada de cana-de-açúcar após 60 dias do plantio dos minirrebolos são as variáveis de saída, a saber: comprimento da parte aérea (cm), massa fresca da parte aérea (g), massa seca da parte aérea (g), massa fresca de raízes (g) e massa seca de raízes (g).

Para a determinação das funções de pertinência triangulares, utilizou-se semelhante metodologia desenvolvida em Cremasco,

Gabriel Filho e Cataneo (2010), Gabriel Filho et al. (2011, 2016), Gabriel Filho, Pigatto e Lourenzani (2015), Pereira et al. (2008), Putti et al. (2014, 2017a, 2017b, 2021), Viais Neto et al. (2018, 2019a, 2019b), Martínez et al. (2020), Matulovic et al. (2021), Góes et al. (2021) e Boso et al. (2021a, 2021b). A definição das funções de pertinência das variáveis de saída é mostrada na Tabela 3.

Tabela 3. Delimitadores genéricos das funções de pertinência das variáveis de saída.

Conjuntos <i>fuzzy</i>	Tipo	Delimitadores
MB	Triangular	$[P(0\%) - (P(25\%) - P(0\%)), P(0\%), P(25\%)]$
B	Triangular	$[P(0\%), P(25\%), P(50\%)]$
M	Triangular	$[P(25\%), P(50\%), P(75\%)]$
A	Triangular	$[P(50\%), P(75\%), P(100\%)]$
MA	Triangular	$[P(75\%), P(100\%), P(100\%) + (P(100\%) - P(75\%))]$

Fonte: Viais Neto et al. (2018).

A base de regras consistiu-se em 18 (6×3) combinações entre os conjuntos *fuzzy* das 2 variáveis de entrada (Polímero × Irrigação), conforme metodologia desenvolvida em Gabriel Filho et al. (2011, 2012) e Viais Neto et al. (2018, 2019a, 2019b). Os métodos de inferência e defuzzyficação utilizados foram, respectivamente, os Método de Mamdani e do Centro de Gravidade.

O *software* utilizado para a programação das estruturas desenvolvidas foi o

Matlab®, com a ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do *software*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

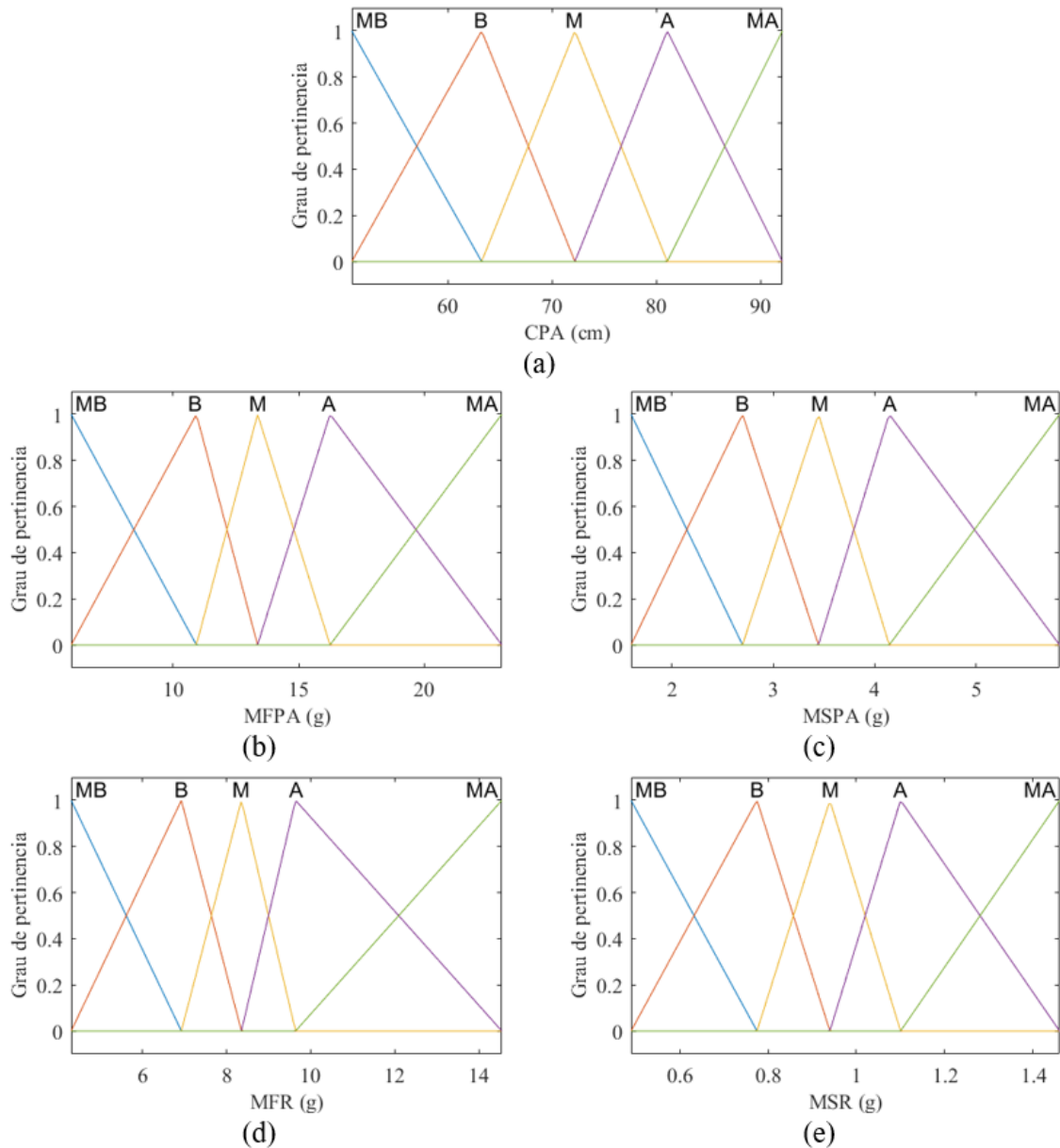
3.1 Sistema baseado em regras *fuzzy*

A partir dos resultados dos percentis estabelecidos na Tabela 4, foram elaboradas as funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* das variáveis de saída (Figura 4).

Tabela 4. Percentis das variáveis biométricas das mudas de cana-de-açúcar.

Percentil (%)	CPA	MFPA	MSPA	MFR	MSR
0%	50,80	5,950	1,600	4,310	0,490
25%	63,25	10,933	2,698	6,928	0,775
50%	72,20	13,365	3,445	8,355	0,940
75%	81,05	16,248	4,143	9,640	1,100
100%	92,10	23,080	5,820	14,540	1,460

Figura 4. Funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* das variáveis de saída da muda pré-brotada de cana-de-açúcar submetida a diferentes doses de polímeros aplicados no substrato e diferentes lâminas de irrigação diária, após 60 dias do plantio dos minirrebolos: (a) Comprimento da parte aérea, (b) Massa fresca da parte aérea, (c) Massa seca da parte aérea, (d) Massa fresca de raízes e (e) Massa seca de raízes.



A base de regras do sistema *fuzzy* é estabelecida de acordo com a Tabela 5, na qual todas possíveis combinações entre conjuntos

fuzzy de entrada possuem uma resposta em cada variável biométrica de saída.

Tabela 5. Base de regras do sistema *fuzzy* das biométricas de mudas pré-botadas de cana-de-açúcar.

Variáveis de entrada			Variáveis de saída			
POLÍMERO	IRRIGAÇÃO	CPA	MFPA	MSPA	MFR	MSR
B1	B	B	B	B	A	A
B2	B	B	B	MB	B	B
M1	B	B	B	MB	M	B
M2	B	M	B	B	A	B
A1	B	B	B	B	B	B
A2	B	M	M	B	M	B
B1	M	M	M	M	M	A
B2	M	A	B	B	B	M
M1	M	M	M	A	B	M
M2	M	M	A	A	A	A
A1	M	M	M	A	A	M
A2	M	B	A	A	M	B
B1	A	M	A	A	M	A
B2	A	M	M	M	A	A
M1	A	A	A	A	B	M
M2	A	A	A	A	A	A
A1	A	A	M	A	B	B
A2	A	A	MA	MA	B	B

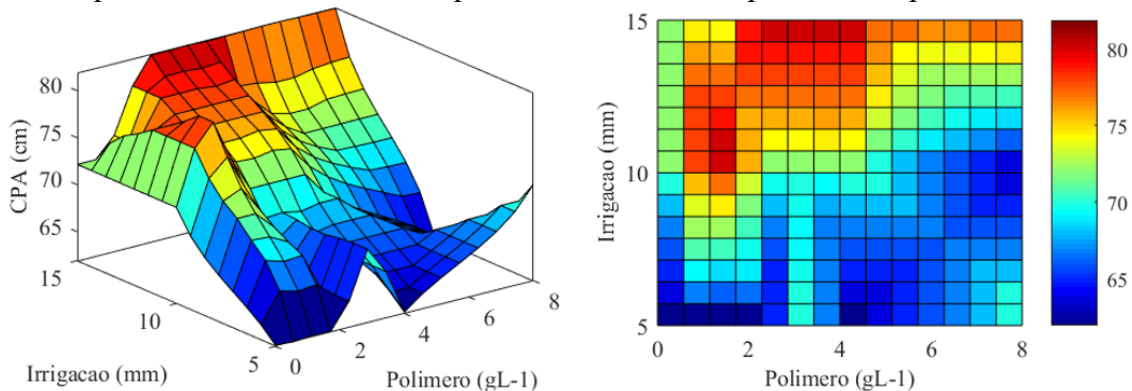
3.2 Resultados práticos

Os resultados práticos foram discutidos a partir dos mapas de contorno e superfícies geradas de acordo com cada variável biométrica.

Verificou-se no comprimento da parte aérea da muda (CPA) (Figura 5), tal como

Pradela (2016), que seus maiores valores ocorreram na maior disponibilidade de água. Tais valores ocorreram para lâminas de irrigação de 10 a 15 mm e adição de polímero ao substrato de 1 a 4 g L⁻¹. Em situações de restrição hídrica, os maiores comprimentos da parte aérea ocorrem para baixas adições de polímeros (cerca de 1 a 3 g L⁻¹) no substrato.

Figura 5. Superfície tridimensional e mapa de contorno do comprimento da parte aérea.



Melo e Santos (2018) analisaram o efeito do uso de polímero em diferentes

cultivares de cana-de-açúcar, sendo que as lâminas e turnos de irrigação foram definidos

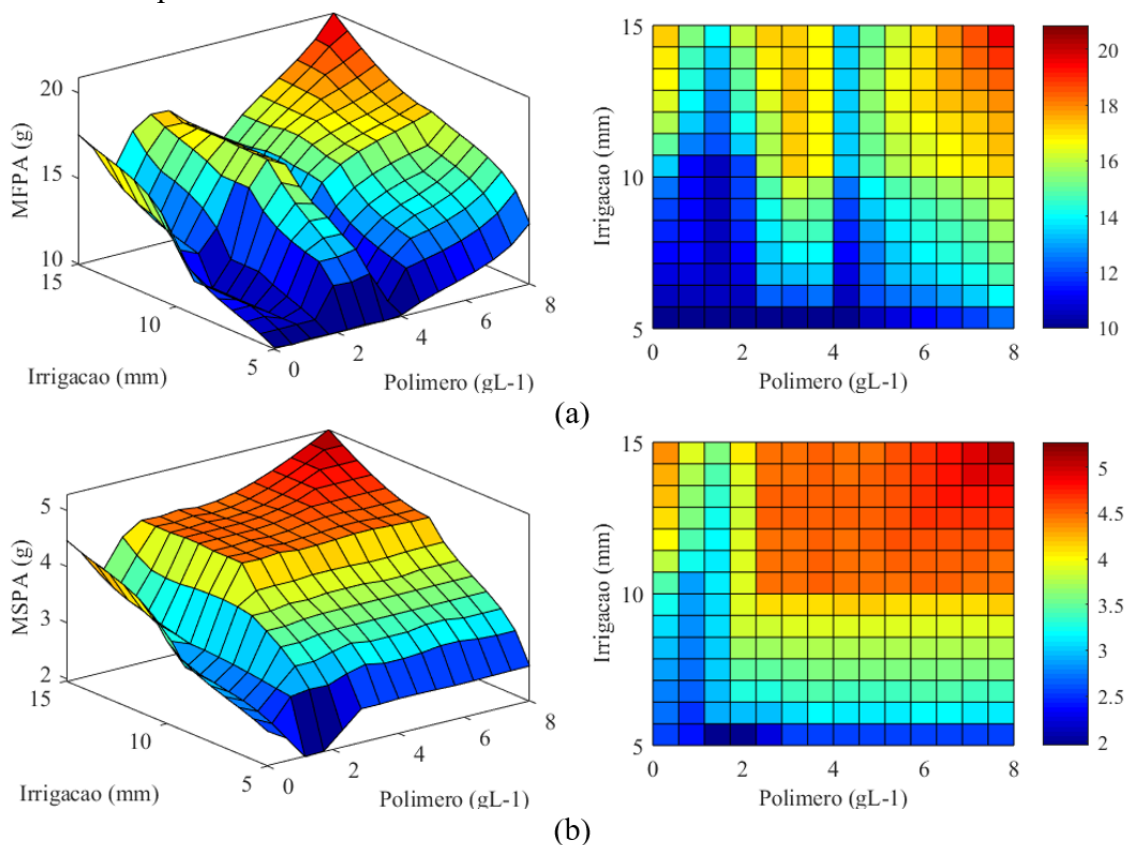
de acordo com o desenvolvimento das plantas. Nesse estudo, a cultivar aqui avaliada, apresentou melhores resultados para as doses de 10 e 20 g L⁻¹ de polímero, com relação à variável altura das mudas. Enquanto em Marques et al. (2017), os maiores valores para o comprimento da parte aérea se deram a partir da dose de 2 g L⁻¹ até 20 g L⁻¹. Em contrapartida, Batista et al. (2016) não constataram diferenças estatísticas na altura das mudas de cana-de-açúcar submetidas a diferentes intervalos de aplicação de água com diferentes doses de polímeros.

Para a massa fresca da parte aérea (MFPA) (Figura 6a), observa-se que a lâmina de irrigação igual a 15 mm e adição de polímero ao substrato de 8 g L⁻¹ resultaram no maior

valor dessa variável, similar ao constatado em Pradela (2016). Além disso, verifica-se que para valores de lâmina de irrigação abaixo de 10 mm, o aumento da adição de polímero ao substrato melhora o desempenho desta variável. De maneira similar, Marques et al. (2017), constataram melhoras na massa da parte aérea com a utilização da dosagem de 8 g L⁻¹ de polímero.

Os maiores valores da massa seca da parte aérea (MSPA) (Figura 6b), deram-se para lâminas de irrigação de 10 a 15 mm e adição de polímero ao substrato entre 3 e 8 g L⁻¹. Batista et al. (2016) também constataram que maiores volumes de água proporcionaram maior massa seca em mudas de cana-de-açúcar.

Figura 6. Superfície tridimensional e mapa de contorno da (a) Massa fresca da parte aérea e (b) Massa seca da parte aérea.



Tais observações estão em consonância com os resultados obtidos por Alves, Clemente e Rodrigues (2015), que verificaram que há uma relação positiva entre o uso de polímero misturados ao substrato e o aumento tanto da massa fresca quanto da massa seca da parte

aérea da cana-de-açúcar em seu desenvolvimento inicial.

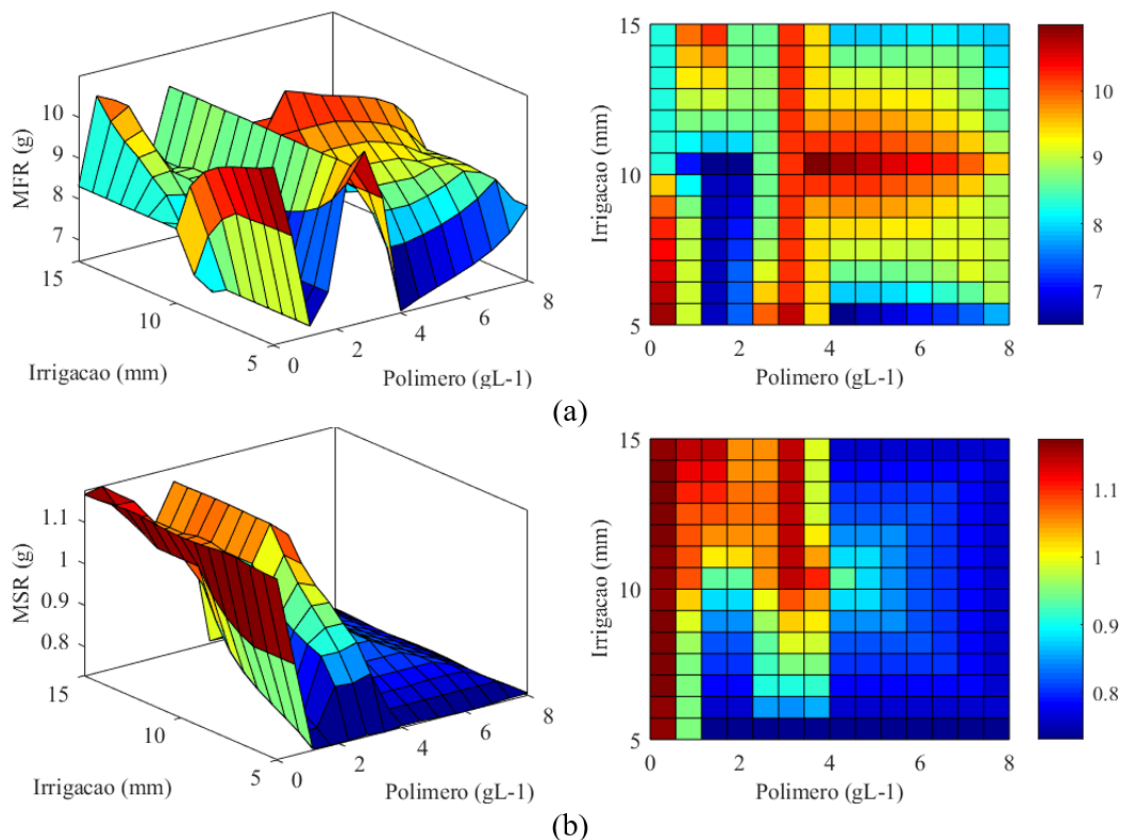
Em relação às variáveis biométricas referentes às raízes das mudas pré-brotadas, após 60 dias do plantio, percebe-se que a massa fresca das raízes (MFR) (Figura 7a) teve uma uniformidade em seu valor, independente da

lâmina de irrigação diária, para doses de polímero misturadas ao substrato iguais a 3 g L^{-1} . Verifica-se que um desempenho similar ocorreu para a não adição de polímero ao substrato e lâminas de irrigação diária de 5 a 10 mm, nesse caso, possivelmente, devido à necessidade hídrica e de nutrientes da planta (VIAIS NETO et al., 2018). Também importa o fato de que a região com 8 a 12 mm de lâminas

de irrigação diária e 3 a 7 g L^{-1} de adição de polímero ao substrato mostra-se a com maiores valores da variável MFR.

Já a massa seca de raízes (MSR) (Figura 7b), de modo geral, tem seu valor reduzido com o aumento na dosagem de polímero adicionado ao substrato, principalmente para valores de lâmina de irrigação diária abaixo de 10 mm.

Figura 7. Superfície tridimensional e mapa de contorno da (a) Massa fresca, e (b) Massa seca de raízes.



Além disso, observa-se que tratamentos com valores altos de polímero tem grande retenção hídrica, uma vez que seus valores correspondentes à matéria seca foram os menores encontrados em relação aos demais tratamentos.

Santos et al. (2020), verificaram que a utilização de polímeros não proporcionou resultado estatisticamente significativo para as variáveis peso fresco e peso seco da raiz de mudas de cana-de-açúcar. Diferentemente, Alves, Clemente e Rodrigues (2015) concluíram que a massa fresca e a massa seca do sistema radicular obtiveram os maiores valores para tratamentos com maior lâmina de

irrigação e maior quantidade de polímeros aplicado em grânulos secos.

Por fim, observa-se nesse estudo que em aplicações de polímeros próximas a 3 g L^{-1} , tem-se altos valores de MFR e MSR, o que permite afirmar que em tal região temos uma razoável retenção hídrica.

4 CONCLUSÕES

Conclui-se, pelas observações de todos os mapas de contorno gerados, que a região próxima a 3 g L^{-1} de polímero misturado ao substrato combinado com lâminas de irrigação diárias entre 10 e 15 mm retornam as maiores

respostas das variáveis biométricas estudadas. Uma vez que se objetiva ter um menor consumo hídrico, recomenda-se então a dosagem de 3 g L⁻¹ de polímero com 10 mm de irrigação diária.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente pela permissão da realização do experimento na casa de vegetação utilizada. Agradecem também o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processo nº 315228/2020-2) pela bolsa de produtividade em pesquisa PQ concedida ao último autor.

6 REFERÊNCIAS

- ABREU, D.; MORAES, L. A.; NASCIMENTO, E. N.; OLIVEIRA, R. A. A produção da cana-de-açúcar no Brasil e a saúde do trabalhador rural. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p. 49-61, 2011.
- ALVES, J. E. C.; CLEMENTE, C. V.; RODRIGUES, P. H. V. Polímero hidroretentor no desenvolvimento inicial da cultura da cana-de-açúcar. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, Piracicaba, v. 5, n. 1, p. 66-72, 2015.
- BATISTA, L. E.; BULGARELLI, M. I.; RUIZ, J. G. C. L.; MARTINELLI, P. R. P. Uso de gel hidroabsorvente no plantio de mudas de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO IFSP, 2016, Matão. **Anais [...]**. Matão: IFSP, 2016. p. 1-7.
- BOSO, A. C. M. R.; CREMASCO, C. P.; PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Fuzzy modeling of the effects of different irrigation depths on the radish crop. Part I: Productivity analysis. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 41, n. 3, p. 311-318, 2021a. DOI: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n3p311-318/2021>. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/eagri/a/3NpHXttsWDjkFM8Xy9DxjPd>. Acesso em: 01 jul. 2021.
- BOSO, A. C. M. R.; CREMASCO, C. P.; PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Fuzzy modeling of the effects of different irrigation depths on the radish crop. Part II: Biometric variables analysis. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 41, n. 3, p. 319-329, 2021b. DOI: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n3p319-329/2021>. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/eagri/a/PxvmszsRg5Zfr4RMgTQcf4k>. Acesso em: 01 jul. 2021.
- CANA-DE-AÇÚCAR. **Acompanhamento da Safra Brasileira: cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 6, n. 2, p. 1-58, ago. 2019. Safra 2019/20, Segundo levantamento. Disponível em: http://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/28151_8e3691370bb3e9f573aeca293ebc9a9. Acesso em: 09 mar. 2021.
- CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CATANEO, A. Methodology for determination of fuzzy controller pertinence functions for the energy evaluation of poultry industry companies. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 21-39, 2010. DOI: <http://doi.org/10.17224/EnergAgric.2010v25n1p21-39>. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/43>. Acesso em: 02 abr. 2021.
- GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; PUTTI, F. F.; CHACUR, M. G. M. Application of fuzzy logic for the evaluation of livestock slaughtering. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31,

n. 4, p. 813-825, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-69162011000400019>. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/eagri/a/zpv4ysHczwH3Rf6Zs3GkKFy>. Acesso em: 07 jun. 2019.

GABRIEL FILHO, L. R. A.; HALMEMAN, M. C. R.; SERAPHIM, O. J.; HALMEMAN, R. J.; CREMASCO, C. P. Aplicação da lógica fuzzy para avaliação da eficiência e racionalidade de usinas sucroalcooleiras. *In: BEDREGAL, B.; ROVEDA, J. A. F.; MARCOS, J.; SANTIAGO, R. H. N.; BARROS, L. C.; SEIXAS, W. (org.) Recentes Avanços em Sistemas Fuzzy*. 1. ed. São Carlos: SBMAC, 2012. p. 405-423.

GABRIEL FILHO, L. R. A.; PIGATTO, G. A. S.; LOURENZANI, A. E. B. S. Fuzzy rule-based system for evaluation of uncertainty in cassava chain. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 350-367, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n2p350-367/2015>. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/eagri/a/KjHnBpVywDXXpSZM4M76WVL>. Acesso em: 02 abr. 2021.

GABRIEL FILHO, L. R. A.; PUTTI, F. F.; CREMASCO, C. P.; BORDIN, D.; CHACUR, M. G. M.; GABRIEL, L. R. A. Software to assess beef cattle body mass through the fuzzy body mass index. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 179-193, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p179-193/2016>. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/eagri/a/Zd4HJdYGF5pzBhZwpnK5kvv>. Acesso em: 02 abr. 2021.

GÓES, B. C.; GOES R. J.; CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Fuzzy modeling of vegetable straw cover crop productivity at different nitrogen doses. **Modeling Earth Systems and Environment**, Cham, v. 7, p. 1-7, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1007/s40808-021-01125-4>. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s40808-021-01125-4>. Acesso em: 02 abr. 2021.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SCARPARI, M. S.; GARCIA, J. C.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N.; MENDONÇA, J. R.; KANTHACK, R. A. D.; CAMPOS, M. F.; BRANCALIÃO, S. R.; PETRI, R. H.; MIGUEL, P. E. M. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB) oriundas de gemas individualizadas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2012. (Documentos IAC, n. 109). Disponível em: http://www.udop.com.br/ebiblio/pagina/arquivos/2013_sistema_multiplicacao_cana_com_mudas_pre_brotadas.pdf. Acesso em: 11 mar. 2021.

MARQUES, T. A.; MELO, B. L.; FLUMINHAN JÚNIOR, A.; SILVA, P. A. Biofábricas de mudas de cana-de-açúcar. **Bionergia em Revista: Diálogos**, Piracicaba, v. 8, n. 2, p. 8-18, 2018.

MARQUES, T. A.; PRADELA, V. A.; ALVES, V. C.; GODINHO, A. M. M.; ANDRADE JUNIOR, O. É possível melhorar a produção de mudas de cana com polímeros? **Bioenergia em Revista: Diálogos**, Piracicaba, v. 7, n. 1, p. 19-25, 2017.

MARTÍNEZ, M. P.; CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; BRAGA JUNIOR, S. S.; BEDNASKI, A. V.; QUEVEDO-SILVA, F.; PADGETT, R. C. M. L. Fuzzy inference system to study the behavior of the green consumer facing the perception of greenwashing. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 242, n. 1, p. 116064, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.060>. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652619307498>. Acesso em: 02 abr. 2021.

MARTINS, A. P. C.; ALBRECHT, L. P.; CASTALDO, J.; CARNEIRO, R.; ZUCARELI, V. Novas tecnologias no plantio de cana-de-açúcar. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 4, n. especial, p. 301-317, 2015.

MATULOVIC, M.; PUTTI, F. F.; CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Technology 4.0 with 0.0 costs: fuzzy model of lettuce productivity with magnetized water. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 43, p. e51384, 2021. DOI: <http://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.51384>. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/51384/751375151808>. Acesso em: 21 maio 2021.

MELO, B. L.; SANTOS, L. A. M. Polímero em mudas de cana-de-açúcar: biometria. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, Piracicaba, v. 8, n. 2, p. 19-28, 2018.

OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B.; SANTOS, B. L. S.; WALKER, A. M. Biometria de cultivares de cana-de-açúcar sob diferentes reposições hídricas no vale do Submédio São Francisco. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 1, p. 48-58, 2016. DOI: <http://doi.org/10.17224/EnergAgric.2016v31n1p48-58>. Disponível em: <http://energia.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/1900>. Acesso em: 13 mar. 2021.

PEREIRA, D. F.; BIGHI, C. A.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P. C. Sistema fuzzy para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 624-633, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-69162008000400002>. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/eagri/a/PfgW9jrxhJZxfkrwBfQppVw>. Acesso em: 02 abr. 2021.

PINTO, L. E. V.; SPÓSITO, T. H. N.; GODINHO, A. M. M.; MARTINS, F. B. Produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em função de diferentes substratos. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 12, n. especial, p. 93-99, 2016. DOI: <http://doi.org/10.5747/ca.2016.v12.nesp.000177>. Disponível em: <http://www.unoeste.br/site/enepe/2016/suplementos/area/Agrariae/Produ%C3%A7%C3%A3o%20Sucroalcooleira/PRODU%C3%87%C3%83O%20DE%20MUDAS%20PR%C3%89-BROTADAS%20DE%20CANA-DE-A%C3%87%C3%9ACAR%20EM%20FUN%C3%87%C3%83O%20DE%20DIFERENTES%20SUBSTRATOS.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2021.

PRADELA, V. A. **Polímeros como condicionadores de substrato em mudas associados a três lâminas de irrigação**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2016.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; BONINI NETO, A.; BONINI, C. S. B.; REIS, A. R. A Fuzzy mathematical model to estimate the effects of global warming on the vitality of *Laelia purpurata* orchids. **Mathematical Biosciences**, New York, v. 288, p. 124-129, 2017a. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.mbs.2017.03.005>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025556416302607?via%3Dihub>. Acesso em: 02 abr. 2021.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; SILVA, A. O.; LUDWIG, R.; REMASCO, C. P. Fuzzy logic to evaluate vitality of *catasetum fimbriatum* species (Orchidacea). **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 3, p. 405-413, 2014. DOI: <http://doi.org/10.15809/irriga.2014v19n3p405>. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/722>. Acesso em: 02 abr. 2021.

PUTTI, F. F.; KUMMER, A. C. B.; GRASSI FILHO, H.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P. Fuzzy modeling on wheat productivity under different doses of sludge and sewage effluent. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, n. 6, p. 1103-1115, 2017b. DOI: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n6p1103-1115/2017>. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/eagri/a/gLrdbHkXrYSXTSnYQpBtfkg>. Acesso em: 02 abr. 2021.

PUTTI, F. F.; LANZA, M. H.; GRASSI FILHO, H.; CREMASCO, C. P.; SOUZA, A. V.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Fuzzy modeling in orange production under different doses of sewage sludge and wastewater. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 41, n. 2, p. 204-214, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v41n2p204-214/2021>. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/eagri/a/3NHrGDwq6H5gfhCScmCPXpw>. Acesso em: 21 maio 2021.

SANTOS, W. G.; FREITAS, S. F.; OLIVEIRA, R. S.; MENDES, M. C.; SOUSA, L. Q. P.; FERREIRA, K. L. C.; OLIVEIRA, M. A. C. Uso de hidrogel em mudas de cana-de-açúcar. **Revista Científica Eletrônica Race Interdisciplinar**, Itumbiara, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2020.

VIAIS NETO, D. S.; CREMASCO, C. P.; BORDIN, D.; PUTTI, F. F.; SILVA JUNIOR, J. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Fuzzy modeling of the effects of irrigation and water salinity in harvest point of tomato crop. Part I: description of the method. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 39, n. 3, p. 294-304, 2019a. DOI: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n3p294-304/2019>. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/eagri/a/PVfRm7VFjs4ksx9tPy7YjBD>. Acesso em: 13 mar. 2021.

VIAIS NETO, D. S.; CREMASCO, C. P.; BORDIN, D.; PUTTI, F. F.; SILVA JUNIOR, J. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Fuzzy modeling of the effects of irrigation and water salinity in harvest point of tomato crop. Part II: application and interpretation. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 39, n. 3, p. 305-314, 2019b. DOI: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n3p305-314/2019>. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/eagri/a/RpXCMBhcSsh5NvRk3mcy7PK>. Acesso em: 13 mar. 2021.

VIAIS NETO, D. S.; PRADELA, V. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; MARIA, A. C. G.; OLIVEIRA, G. S. Modelagem fuzzy para avaliação da produção de mudas de tomate cereja utilizando diferentes doses de polímeros e níveis de irrigação. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 14, n. 3, p. 93-103, 2018. DOI: <http://doi.org/10.5747/ca.2018.v14.n3.a231>. Disponível em: <http://journal.unoeste.br/index.php/ca/article/view/2253/2431>. Acesso em: 16 mar. 2019.