

MODELAGEM FUZZY PARA SUPORTE AO MANEJO DA IRRIGAÇÃO E USO DE COBERTURA MORTA EM CULTIVO DE RABANETE

ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA¹; ANTONIO VANKLANE RODRIGUES DE ALMEIDA¹

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Rua Campus do Pici S/N - Bloco 804, 60440-554, Fortaleza – CE, e-mail: alexandro@ufc.br, vanklaneprece@hotmail.com

1 RESUMO

A agricultura irrigada é fundamental para a produção de alimentos no mundo, porém o elevado uso da água torna-se um desafio, diante disto deve-se buscar soluções para amenizar os impactos demandados por tal uso, como uso de cobertura morta e um correto manejo da irrigação, além de ferramentas para um adequado suporte a decisão sobre produção das culturas com o uso da água. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema baseado em regras *fuzzy* (SBRF) para a modelagem matemática do manejo da irrigação e uso de cobertura morta na cultura do rabanete (*Raphanus Sativus*), a partir de um experimento agrônômico realizado em campo, foi considerado como variáveis de entrada no SBRF o manejo da irrigação através de diferentes lâminas de água aplicada em função da evapotranspiração da cultura (ETc) (25, 40, 55, 70, 85 e 100% da ETc), e dos níveis de cobertura morta de bagana de carnaúba (0, 25; 50; 75 e 100% de bagana de carnaúba), enquanto que as variáveis de saída foram: número de folhas, massa fresca da parte aérea e a massa fresca da raiz. Após a definição das variáveis de entrada e saída, foi determinada a base de regras do sistema, e na inferência foi adotado método de Mamdani, e para a fuzzyficação adotou-se o método centróide. No modelo *fuzzy* para a variável massa fresca da raiz, observou-se que com o uso de 100% da ETc e 100% da cobertura morta obtém-se os maiores valores (52,2 g planta⁻¹) para esta variável, sendo considerada a parte comercial desta hortaliça. No presente estudo, evidenciou-se a modelagem *fuzzy* pode ser uma ferramenta interessante para suporte ao uso adequado da água com vistas ao manejo da irrigação e cobertura morta vegetal em hortaliças.

Palavras-chaves: *Raphanus Sativus*, uso eficiente da água, suporte a decisão.

SILVA, A. O. DA; ALMEIDA, A. V. R. DE
FUZZY MODELING TO SUPPORT IRRIGATION MANAGEMENT AND MULCH
USE IN RADISH CULTIVATION

2 ABSTRACT

Irrigated agriculture is fundamental for food production in the world, but the high use of water becomes a challenge. In view of this, solutions must be sought to mitigate the impacts required by such use, such as the use of mulch and correct management irrigation, as well as tools for adequate decision support on crop production using water. Aiming to mitigate the impacts caused by the use of water in agriculture, this work aims to develop a system based on fuzzy rules (SBRF) for the mathematical modeling of irrigation management and the use of mulch in

radish (*Raphanus Sativus*) cultivation based on an agronomic experiment carried out in the field, irrigation management through different applied water depths (25, 40, 55, 70, 85 and 100% of ETc) was considered as input variables in the SBRF, in which ETc represents crop evapotranspiration and mulch levels (0, 25; 50; 75 and 100% of carnauba bagana), while the output variables were the number of leaves, fresh mass of the aerial part and the fresh mass of the root. After defining the input and output variables, the system's rule base was determined, and the Mamdani method was adopted for inference, and the centroid method was adopted for fuzzyfication. The fuzzy model for the MFR variable, it is observed that with the use of 100% of ETc and 100% of mulch, the highest values (52.2 g plant⁻¹) for this variable are obtained, considering the commercial part of this vegetable. In the present study, it was demonstrated that fuzzy modeling can be an interesting tool to support the appropriate use of water with a view to irrigation management and mulch in vegetables.

Keywords: *Raphanus Sativus*, efficient use of water, decision support.

3 INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada é uma prática essencial para produção de alimentos no mundo, sendo responsável por 44% da área agrícola mundial, se aproximando ao valor de 310 milhões de hectares irrigados em todo globo (FAO, 2013) com maior concentração no continente asiático, contudo a sustentabilidade dos sistemas irrigados tem sido questionada todos os anos, já que a agricultura irrigada é responsável hoje pelo consumo de aproximadamente 70% de toda a água utilizada nas atividades humanas (BERNARDO *et al.*, 2019; FAO, 2017).

Visando o uso mais eficiente da água, a utilização de técnicas que reduzam o processo de evaporação e mantenham a umidade adequada no solo, são recomendados para auxiliar no manejo da irrigação na agricultura, neste sentido, o uso de coberturas mortas oriundas de material vegetal pode ser utilizado (ALMEIDA *et al.*, 2020) para cumprir esta função. Dentre as coberturas mortas vegetais (CMV) utilizadas em regiões semiáridas do nordeste brasileiro, podemos destacar a bagana de carnaúba. Oriunda das folhas de carnaúba (*Copernicia prunifera*), a bagana é o resultado do resíduo gerado pela extração da cera existente em suas folhas, onde é amplamente utilizada como adubo e

cobertura morta, no qual o seu uso aliado ao manejo correto da irrigação pode aumentar a produtividade de hortaliças como rabanete (ALMEIDA *et al.*, 2020), tomate (SILVA *et al.*, 2019) e etc.

A prática da irrigação depende basicamente da cultura, do clima e das características do solo (SILVA *et al.*, 2020), portanto o manejo da água em sistemas irrigados deve considerar esses fatores para otimização da produção das culturas (MORRILLO-VELARDE, 2010; GEERTS; RAES, 2009; SEPASKHAH; KAMGAR-HAGHIGHI, 1997). Contudo, o manejo da irrigação associado ao uso de CMV carece de informações que permitam uma adequada tomada de decisão sobre a quantidade de CMV a ser utilizada e a possível redução do uso da água (SILVA *et al.*, 2019). Para tentar dar suporte a esta decisão, a modelagem matemática pode ser uma alternativa viável, já que através de modelos e diversas simulações com prognósticos e considerando as incertezas, pode-se levar a resultados satisfatórios (SIMÕES; SHAW, 2007) com suporte a uma decisão correta.

Neste sentido, a modelagem através da lógica *fuzzy* pode ser considerada uma opção importante para tarefas de tomadas de decisão, pois as variáveis individuais não são definidas em termos exatos, sendo, portanto, uma opção para o planejamento do manejo

da irrigação e uso da CMV, minimizando os custos e consequentemente preservando os recursos naturais. Giusti e Marsili-Libelli (2015) aplicando a teoria *fuzzy* desenvolveram um modelo para a determinação da taxa de reposição hídrica ideal e assim otimizar o recurso hídrico da região. Outras aplicações com vistas ao uso eficiente da água já foram estudadas, dentre estas, podemos destacar trabalhos como os de Putti *et al.* (2021), no qual estes autores demonstram a possibilidade do uso de modelos *fuzzy* para o suporte ao manejo correto da irrigação.

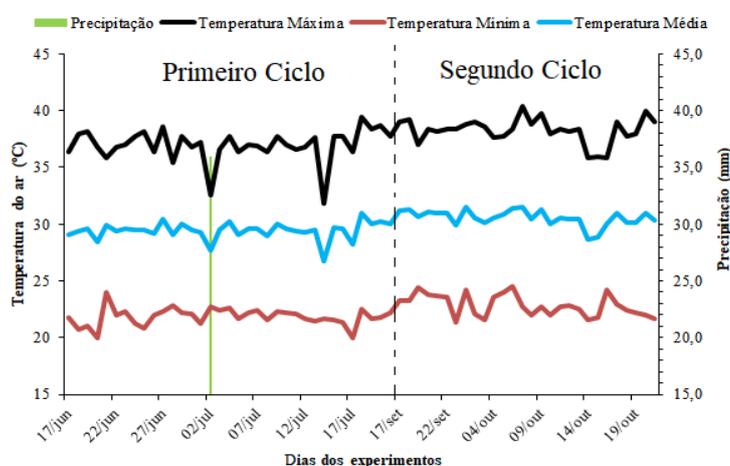
Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi elaborar um sistema baseado em regras *fuzzy* (SBRF) com vistas a modelar matematicamente o efeito de lâminas de irrigação e o uso de coberturas mortas na produção de rabanete irrigado, visando o suporte a tomada de decisão.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição do experimento

Para a elaboração do SBRF proposto, foi realizado experimento agrônômico em campo, na região de Pentecoste-CE. O experimento foi conduzido no período de 17 de junho à 21 de outubro de 2018 em uma área pertencente ao PRECE (Programa de Educação em Células Cooperativas), no município de Pentecoste, Estado do Ceará, com coordenadas geográficas de 39°12'46" de longitude oeste e 03°55'20" de latitude sul, e 56 m de altitude. A região apresenta um clima de acordo com a classificação de Köppen do tipo BSw'h', quente e semiárido, com chuvas irregulares distribuídas de fevereiro a maio, precipitação pluviométrica média anual de 860 mm, evaporação de 1.475 mm (evaporímetro de Piche), temperatura média anual em torno de 26,8° C e umidade relativa média do ar de 73,7%. Dados diários de precipitação e de temperatura por ocasião dos experimentos são apresentados na Figura 1, onde a temperatura média do primeiro ciclo foi de 28,6 °C e 29,7°C no segundo ciclo, a umidade relativa média foi de 50,9% no primeiro ciclo e 59,8% no segundo ciclo.

Figura 1. Dados de temperaturas máximas, médias e mínimas; e de precipitações registrados nos dois ciclos de produção do experimento.



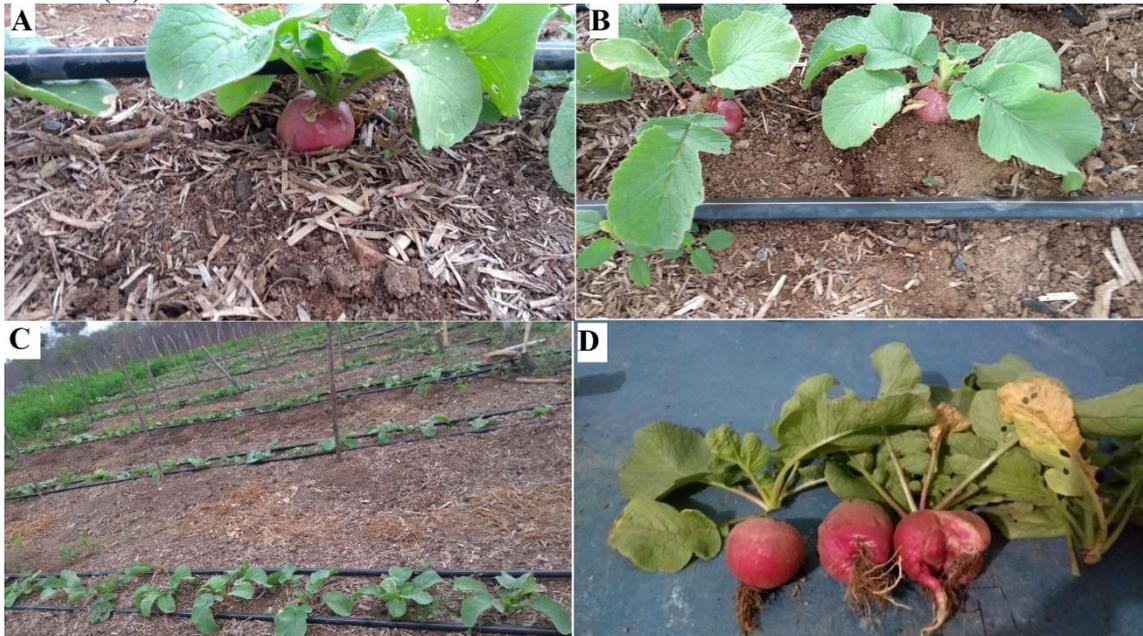
Fonte: Autor (2021)

O experimento foi realizado em um delineamento em blocos ao acaso com parcelas subdivididas e constituído de quatro repetições com cinco tratamentos primários, compreendidos nas parcelas e cinco tratamentos secundários dispostos nas subparcelas, totalizando 100 parcelas experimentais. Os tratamentos primários foram constituídos por lâminas de irrigação com 50%; 75%; 100%; 125% e 150% da evapotranspiração da culturas (ETc) e os tratamentos secundários por cinco diferentes níveis de cobertura morta vegetal, constituída de bagana de carnaúba (0%; 25%; 50%; 75% e 100%) as parcelas

experimentais com bagana (Figura 2A) e sem bagana, assim como a unidade experimental (Figura 2C) e colheita (Figura 2D), podem ser observadas na Figura 2. Cabe ressaltar que o nível de 100% equivale a 16 t ha^{-1} (SOUSA *et al.*, 2017).

A parcela experimental foi de $6,0 \text{ m}^2$ ($1,0 \text{ m} \times 6,0 \text{ m}$) e a subparcela de $1,20 \text{ m}^2$ ($1,0 \text{ m} \times 1,20 \text{ m}$) com espaçamento de $0,15 \text{ m}$ entre plantas e $0,2 \text{ m}$ entre linhas. Cada subparcela apresentava 18 plantas, onde as nove plantas do centro das subparcelas serviram como amostras para determinação das variáveis.

Figura 2. Visão experimental do rabanete irrigado em experimento: tratamento com bagana de carnaúba (A), tratamento sem bagana de carnaúba (B), visão geral do experimento (C) e colheita do rabanete (D).



Fonte: Autor (2021)

As parcelas e subparcelas foram dispostas em camalhões com 20 m de comprimento, $0,7 \text{ m}$ de largura e espaçamento de $0,30 \text{ m}$. Afins de preparo da área foi realizada uma limpeza retirando-se

todos os restos vegetais. Precisamente aos 30 dias antes da instalação do experimento, foi incorporado ao solo 20 kg m^{-2} de composto orgânico (Tabela 1) incorporado na camada de $0 - 0,30 \text{ m}$ de profundidade do solo.

Tabela 1. Composição química do composto orgânico utilizado

pH	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn	Mn
H ₂ O	mg kg ⁻¹	mg dm ⁻³	-----	cmolc dm ⁻³	-----	-----	mg dm ⁻³	-----	-----
6,9	314,7	1690	14,0	9,20	1,14	26,9	0,4	20,4	100,3

Para determinação da ET_c , inicialmente foram obtidos os dados diários de evapotranspiração de referência (ET_o) estimada através do tanque Classe “A”, conforme a seguinte equação:

$$ET_o = ECA \times K_p \quad (1)$$

Em que ET_o é a evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹), ECA é a evaporação do tanque (mm.dia⁻¹) e K_p é o coeficiente do tanque Classe “A”.

A evapotranspiração da cultura foi determinada utilizando o coeficiente da cultura (K_c) de acordo com Doorenbos e Pruitt (1997), e fracionando-se a lâmina aplicada de acordo com o tratamento, conforme a seguinte equação:

$$ET_c = ET_o \times K_c \times f \quad (2)$$

Em que: ET_c é a evapotranspiração da cultura (mm.dia⁻¹), ET_o é a evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹), K_c é o coeficiente da cultura (und) e f é a

fração da lâmina a ser aplicada (%), sendo utilizado neste trabalho os valores 50; 75; 100; 125 150%.

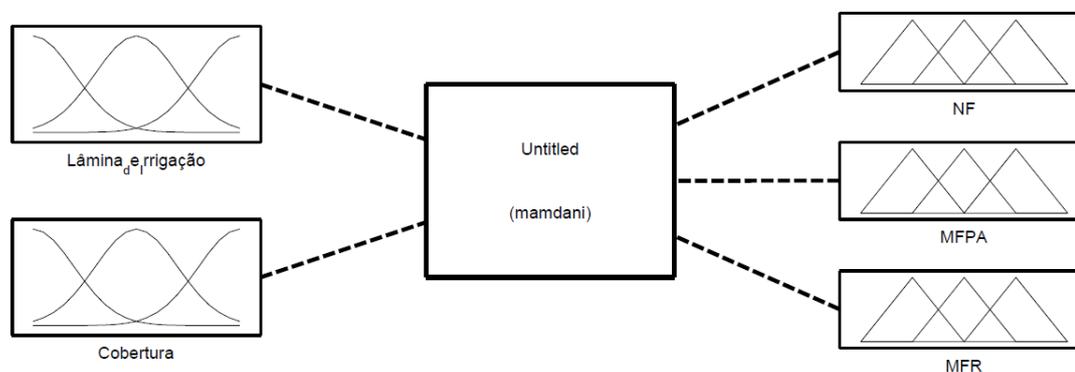
O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento com emissores autocompensantes do tipo fita gotejadora de 16 mm, espaçados em 0,20 m, com vazão de 2,20 L h⁻¹ e pressão de serviço de 98 kPa.

Aos 30 dias após semeadura (DAS) para cada ciclo experimental, as plantas foram colhidas e avaliadas as seguintes variáveis de produção: número de folhas (NF), contadas manualmente em cada parcela experimental; massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa fresca da raiz (MFR), em (g planta⁻¹) pesadas imediatamente após colheitas em balança com precisão de 0,01 g.

4.2 Método de elaboração do modelo fuzzy

Para a criação do SBRF, definiu-se um processador de entrada (ou fuzzificador), um conjunto de regras linguísticas, um método de inferência fuzzy e um processador de saída (ou defuzzificador), gerando um número real como saída (Figura 3).

Figura 3. Sistema baseado em regras fuzzy proposto para a modelagem matemática de efeito das lâminas de irrigação e cobertura morta na cultura do rabanete (*Raphanus Sativus*) com duas variáveis de entrada (lâmina de irrigação e cobertura morta) e três variáveis de saída (número de folhas (NF), massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa fresca da raiz (MFR)).



Fonte: Autor (2021)

Este SBRF representa uma função:

$$F: \{50,150\} \times [0, 100] \rightarrow \mathbb{R}^3, F(x, y) = (f_1(x, y), f_2(x, y), f_3(x, y)) \quad (3)$$

No qual o produto cartesiano que constitui o domínio representa as lâminas de irrigação ($\{50,150\}$, onde cada ponto do intervalo representa um percentual da ETc associado à irrigação efetuada) e as CMV ($[0, 100]$, onde cada ponto do intervalo representa um percentual da CMV aplicada). O contra-domínio \mathbb{R}^3 representa as três variáveis de resposta avaliadas: número de folhas (NF), massa fresca da parte aérea (MFPA, g planta⁻¹) e massa fresca da raiz (MFR, g planta⁻¹).

Os resultados estão apresentados em gráficos tridimensionais, subdivididos em 3 grupos, cada grupo representando um efeito das variáveis de resposta, onde os gráficos das funções são representados por:

$$F_L^C: [50,150] \times [0, 100] \rightarrow \mathbb{R}, F_L^C(x, y) = f_1(50,0), f_2(50,25), f_3(50,50), f_4(50,75), \dots, f_{25}(150,100)$$

nos quais os contra-domínios são relativos ao número de folhas (NF) (Grupo 1); massa fresca da parte aérea (Grupo 2) e massa fresca da raiz (Grupo 3).

Para o estabelecimento do processador de entrada, é necessária a definição dos conjuntos *fuzzy* nos domínios de cada variável de entrada: lâmina de irrigação (L) e cobertura morta (C).

Para cada variável de entrada “Lâminas de Irrigação”, foram considerados cinco conjuntos *fuzzy* denominados $L_i, 1 \leq i \leq 5$ e $C_i, 1 \leq i \leq 5$. Tal definição deve-se ao fato de, no experimento agrônomico realizado, existirem cinco lâminas de irrigação e cinco níveis de cobertura morta, dimensionadas de acordo com taxas da ETc: $(10 + 15i)\%, 1 \leq i \leq 5$, e bagana de carnaúba $(25 + 25i)\%, 1 \leq i \leq 5$.

As funções de pertinência (trapezoidais) dos conjuntos L_i e C_i e foram definidas de modo que cada taxa tenha grau de pertinência 1 ao seu respectivo conjunto *fuzzy*: $(u_{L_i}(10 + 15i) = 1)$ ou $(u_{C_i}(25 +$

$25i) = 1)$ e que seu suporte possua três intervalos de mesma amplitude Δ , conforme pode ser exemplificado para a

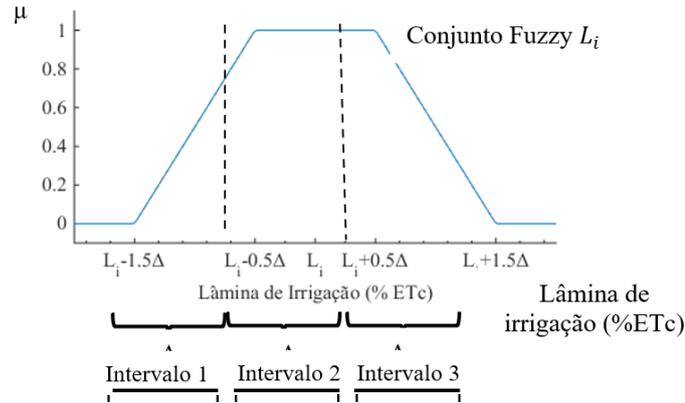
Figura , tendo os seguintes delimitadores:

$$[L_i - 1,5\Delta ; L_i - 0,5\Delta ; L_i + 0,5\Delta ; L_i + 1,5\Delta] \rightarrow \text{Lâminas de irrigação} \quad (4)$$

$$[C_i - 1,5\Delta ; C_i - 0,5\Delta ; C_i + 0,5\Delta ; C_i + 1,5\Delta] \rightarrow \text{Cobertura morta}, \quad (5)$$

Considerando-se que L_i ou C_i é o ponto médio do suporte da função de pertinência associada ao conjunto *fuzzy* que pertence com grau 1 (Figura 4).

Figura 4. Função de pertinência genérica para a determinação dos conjuntos *fuzzy* para a variável lâmina de irrigação.



Fonte: Autor (2021)

Em virtude de amplitude de Δ ser a mesma à todos os suportes de todas as

funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* L_i , (Figura 5), tem-se que:

$$L_{i+1} - L_i = 2\Delta \Rightarrow [10 + 15(i + 1)] - [10 + 15i] = 2\Delta \Rightarrow 15[(i + 1) - i] = 2\Delta \Rightarrow 15 = 2\Delta \Rightarrow \Delta = 7,5. \tag{6}$$

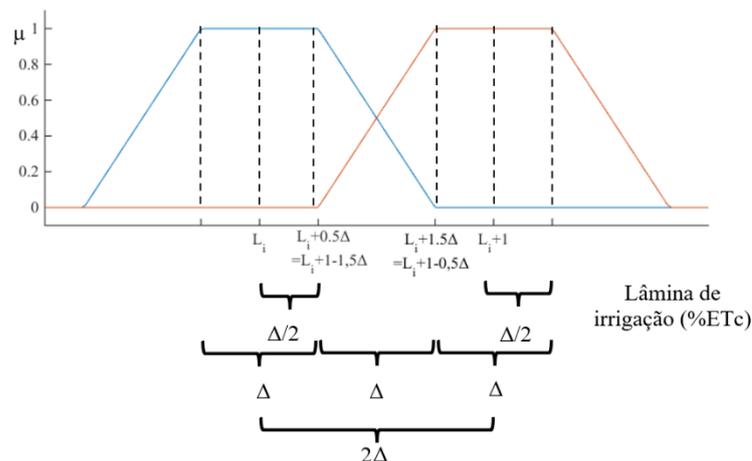
Ou

$$C_{i+1} - C_i = 2\Delta \Rightarrow [25 + 15(i + 1)] - [25 + 15i] = 2\Delta \Rightarrow 15[(i + 1) - i] = 2\Delta \Rightarrow 15 = 2\Delta \Rightarrow \Delta = 7,5. \tag{7}$$

Tal cálculo, permite estabelecer a definição de todas as funções de pertinência

dos conjuntos *fuzzy* tanto para L_i exemplificado na Figura 5, como para C_i .

Figura 5. Interseção genérica das funções de pertinência da variável lâmina de irrigação.



Fonte: Autor(2021)

Os delimitadores das funções de pertinência podem ser observados na Tabela 2. A metodologia proposta seguiu as

orientações contidas em Putti *et al.* (2021), para conjuntos de dados relacionados a produção de laranja sob diferentes doses de

lodo de esgoto e água residuária, adaptando-se a mesma para uso nos níveis de cobertura vegetal.

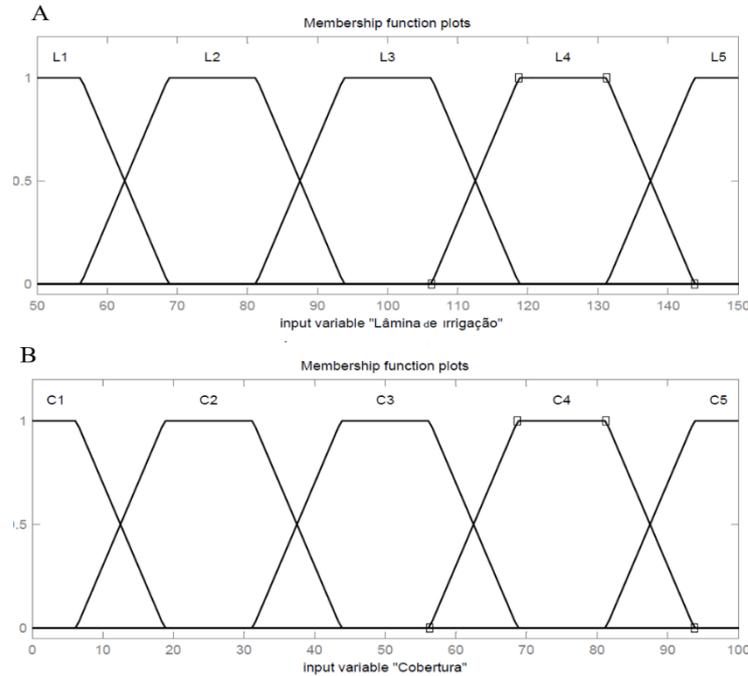
Tabela 2. Delimitadores das funções de pertinência trapezoidais dos conjuntos *fuzzy* L_i ou C_i , $1 \leq i \leq 5$, para as variáveis de entrada “Lâmina de Irrigação” e “Cobertura Morta”.

Conjunto Fuzzy	Tipo	Delimitadores
L ₁	Trapezoidal	$[50-1.5\Delta; 25-0.5\Delta; 50+0.5\Delta; 25+1.5\Delta]=[31,25; 43,75; 56,25; 68,75]$
L ₂	Trapezoidal	$[75-1.5\Delta; 40-0.5\Delta; 75+0.5\Delta; 40+1.5\Delta]=[56,25; 68,75; 81,25; 93,75]$
L ₃	Trapezoidal	$[100-1.5\Delta; 55-0.5\Delta; 100+0.5\Delta; 55+1.5\Delta]=[81,25; 93,75; 106,25; 118,75]$
L ₄	Trapezoidal	$[125-1.5\Delta; 70-0.5\Delta; 125+0.5\Delta; 70+1.5\Delta]=[106,25; 118,75; 131,25; 143,75]$
L ₅	Trapezoidal	$[150-1.5\Delta; 85-0.5\Delta; 150+0.5\Delta; 85+1.5\Delta]=[131,25; 143,75; 156,25; 168,75]$
C ₁	Trapezoidal	$[0-1.5\Delta; 0-0.5\Delta; 0+0.5\Delta; 0+1.5\Delta]=[-18,75; -6,25; 6,25; 18,25]$
C ₂	Trapezoidal	$[25-1.5\Delta; 25-0.5\Delta; 25+0.5\Delta; 25+1.5\Delta]=[6,25; 18,25; 31,25; 43,75]$
C ₃	Trapezoidal	$[50-1.5\Delta; 50-0.5\Delta; 50+0.5\Delta; 50+1.5\Delta]=[31,25; 43,75; 56,25; 68,75]$
C ₄	Trapezoidal	$[75-1.5\Delta; 75-0.5\Delta; 75+0.5\Delta; 75+1.5\Delta]=[56,25; 68,75; 81,25; 93,75]$
C ₅	Trapezoidal	$[100-1.5\Delta; 100-0.5\Delta; 100+0.5\Delta; 100+1.5\Delta]=[81,25; 93,75; 106,25; 118,75]$

Na Figura 6, pode-se observar os gráficos de pertinência gerados através dos valores de entrada (Tabela 2) gerados pelos

delimitadores das funções de pertinência, para as variáveis lâmina de irrigação (Figura 6A) e cobertura morta (Figura 6B).

Figura 6. Gráficos das funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* L_i e C_i , $1 \leq i \leq 5$, das variáveis de entrada: Lâmina de Irrigação (A), no intervalo [50,150] e Cobertura Morta [0,100].



Fonte: Autor (2021)

Para cada variável de saída: número de folhas (NF), massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa fresca da raiz (MFR), foram definidos 25 conjuntos *fuzzy* denominados F_n , $1 \leq n \leq 25$.

Com o objetivo de generalizar a metodologia das variáveis de saída de construção dos conjuntos *fuzzy* e suas respectivas funções de pertinência, adotou-se a utilização de 25 conjuntos *fuzzy* denominados, F_n , $1 \leq n \leq 25$. Para isto, foi necessário o cálculo de diversos delimitadores que possibilitassem definir a

forma triangular de cada função de pertinência de cada conjunto *fuzzy* F_n , $2 \leq n \leq 24$ e trapezoidal das funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* F_1 e F_{25} .

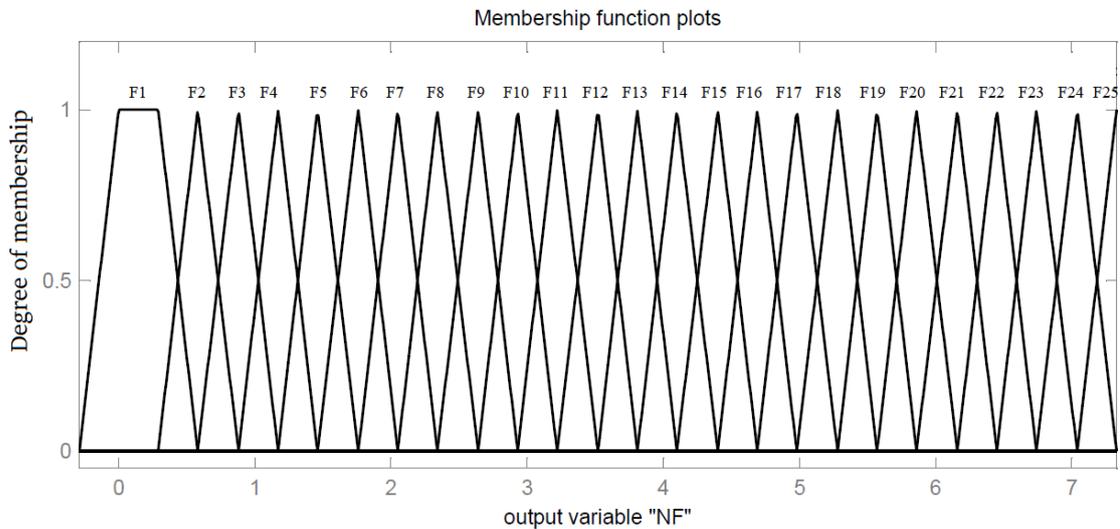
As funções de pertinência carecem do cálculo de delimitadores, que definiremos neste trabalho como sendo percentis dos conjuntos de dados aferidos de cada variável de saída. Tais percentis em $x\%$, denotados por $P(x\%)$, dependem de uma constante k , uma vez que os delimitadores necessários são da forma $P(mk)$, $0 \leq m \leq 25$. A constante k é calculada de forma:

$$25k = 100\% \Rightarrow k = \frac{100\%}{25} \Rightarrow k = 4,00\%. \quad (8)$$

A Figura 7 apresenta a proposta da metodologia de criação de funções de pertinência para as variáveis de saída. Destaca-se as funções de pertinência trapezoidais F_1 e F_{25} , nas quais para cada

uma delas, os dois intervalos disjuntos do suporte cujo ponto não tem grau de pertinência 1 foram definidos pela mesma amplitude.

Figura 7. Funções de pertinência das variáveis de saída segundo a proposta metodológica de utilização de percentis.



Fonte: Autor (2021)

Para a obtenção da base de regras do sistema *fuzzy*, considerou-se as 25 (5×5) combinações entre os conjuntos *fuzzy* das duas variáveis de entrada. Assim, foram criados 25 pares da forma (lâmina de irrigação x cobertura morta) conforme metodologia desenvolvida em Cremasco, Gabriel Filho e Cataneo (2010) e aplicada em Putti *et al.* (2021).

Para cada tipo de cobertura vegetal e cada conjunto *fuzzy* para o fator de entrada “Lâmina de Irrigação”, associado ao valor calculado estatisticamente da variável de saída, tal valor deve ser associado ao conjunto *fuzzy* com maior grau de pertinência. Assim, para cada combinação, foi associado a três conjuntos *fuzzy* relacionados cada um deles às variáveis de saída.

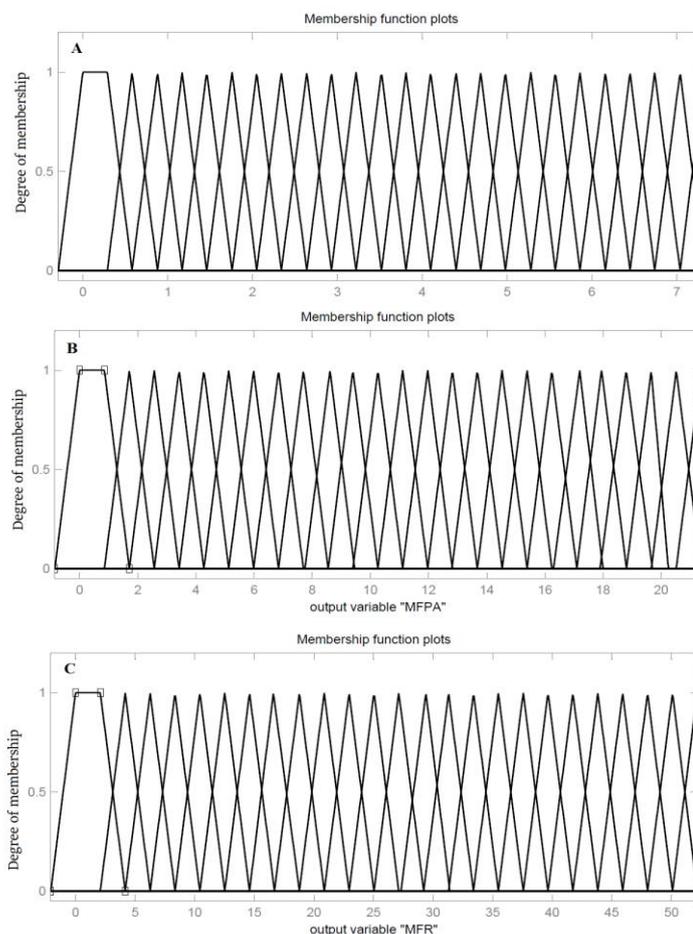
O método de inferência utilizado para o cálculo do valor numérico das

variáveis de saída, de acordo com a base de regras, foi o de Mamdani (MAMDANI; ASSILIAN, 1975). Com o auxílio da ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do *software* MATLAB®, foi possível criar um sistema baseado em lógica *fuzzy* computacionalmente, sendo também determinada um gráfico tridimensional e um mapa de contorno da função associada de representação do sistema.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 8 pode-se observar as funções de pertinências dos conjuntos de saída para as variáveis “Número de Folhas (NF)”, “Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA)” e “Massa Fresca da Raiz (MFR)”. Com a elaboração dos percentis para o cálculo dos delimitadores dos conjuntos de pertinência foi possível modelar as variáveis de saídas.

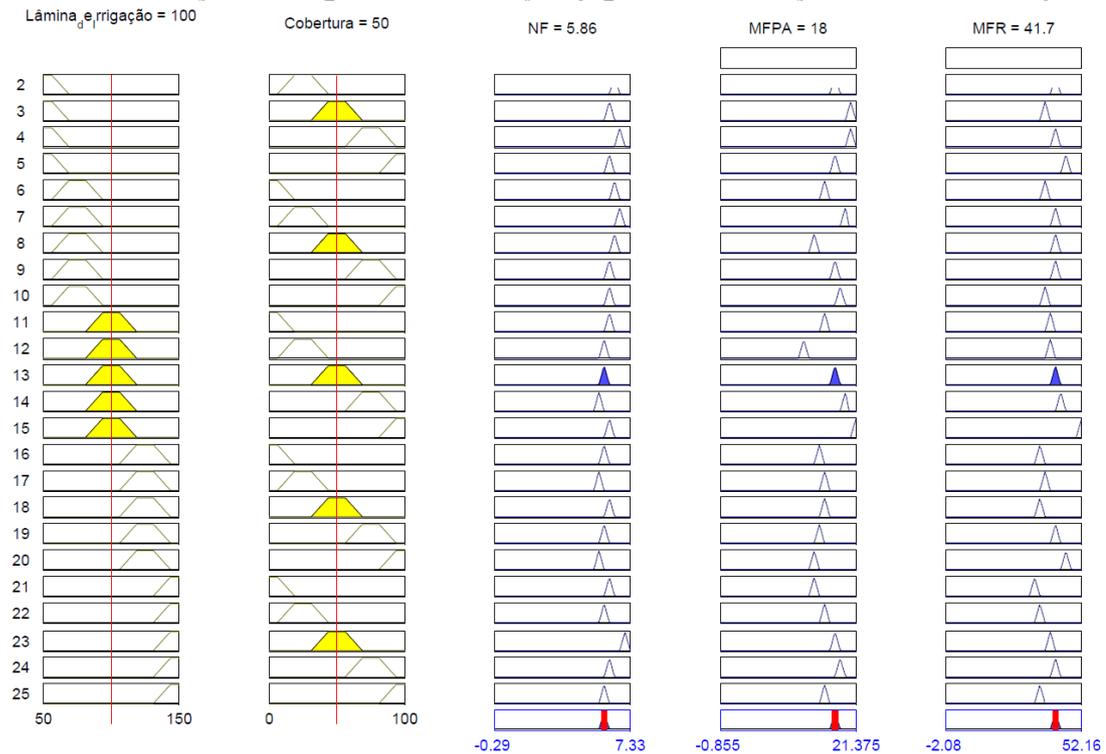
Figura 8. Funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* da variável de saída (A) Número de folhas (NF), (B) Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA, g planta⁻¹) (C) Massa Fresca da Raiz (MFR, g planta⁻¹) para a cultura do rabanete submetida a diferentes lâminas de irrigação e cobertura morta.



Fonte: Autor (2021)

Observa-se através do modelo gerado por meio das regras, a estimativa das variáveis analisadas com o uso de 100% da ETc e 50% da cobertura morta, obtendo-se

valores de 5,86 para NF, 18 g planta⁻¹ para MFPA e 41,7 g planta⁻¹ para MFR (Figura 9).

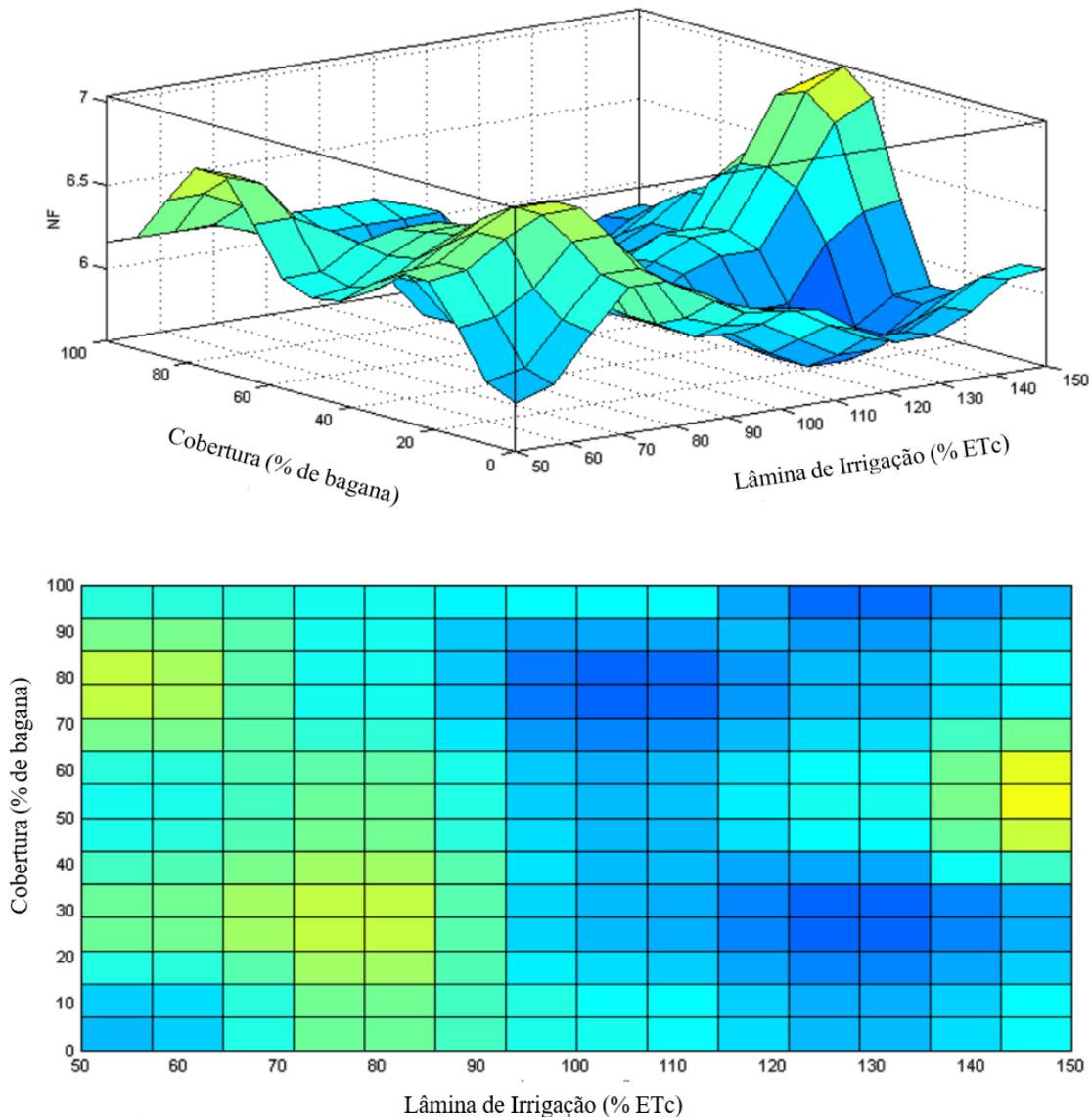
Figura 9. Visualização das regras do modelo *fuzzy* gerado em relação as variáveis respostas

Fonte: Autor (2021)

Para a variável NF, a Figura 10 demonstra o ajuste do modelo *fuzzy* para suporte a decisão. Conforme observado, elevadas lâminas (maiores que 100% da ETc), aumentaram o NF da cultura, em conjunto com o uso de 40 a 60% do uso de cobertura morta, ou seja a maior disponibilidade de água pode elevar ao aumento da NF. Contudo, quando da necessidade de economia de água o uso de 50 a 60% da ETc com o uso de 70 a 80% da

cobertura morta podem trazer benefícios, principalmente em regiões de escassez de água como as regiões semiáridas. Almeida *et al.* (2020), demonstram que o uso de bagana de carnaúba pode aumentar a produtividade da cultura do rabanete. Outras hortaliças estudadas também demonstram potencial incremento das suas variáveis com o aumento da lâmina de irrigação, dentre estes estudos, pode-se destacar o trabalho de Silva *et al.* (2021) com a cultura do tomate.

Figura 10. Modelo *fuzzy* para a variável Número de Folhas (NF) em função de diferentes lâminas de irrigação (%ETc) e cobertura morta para a cultura do Rabanete.

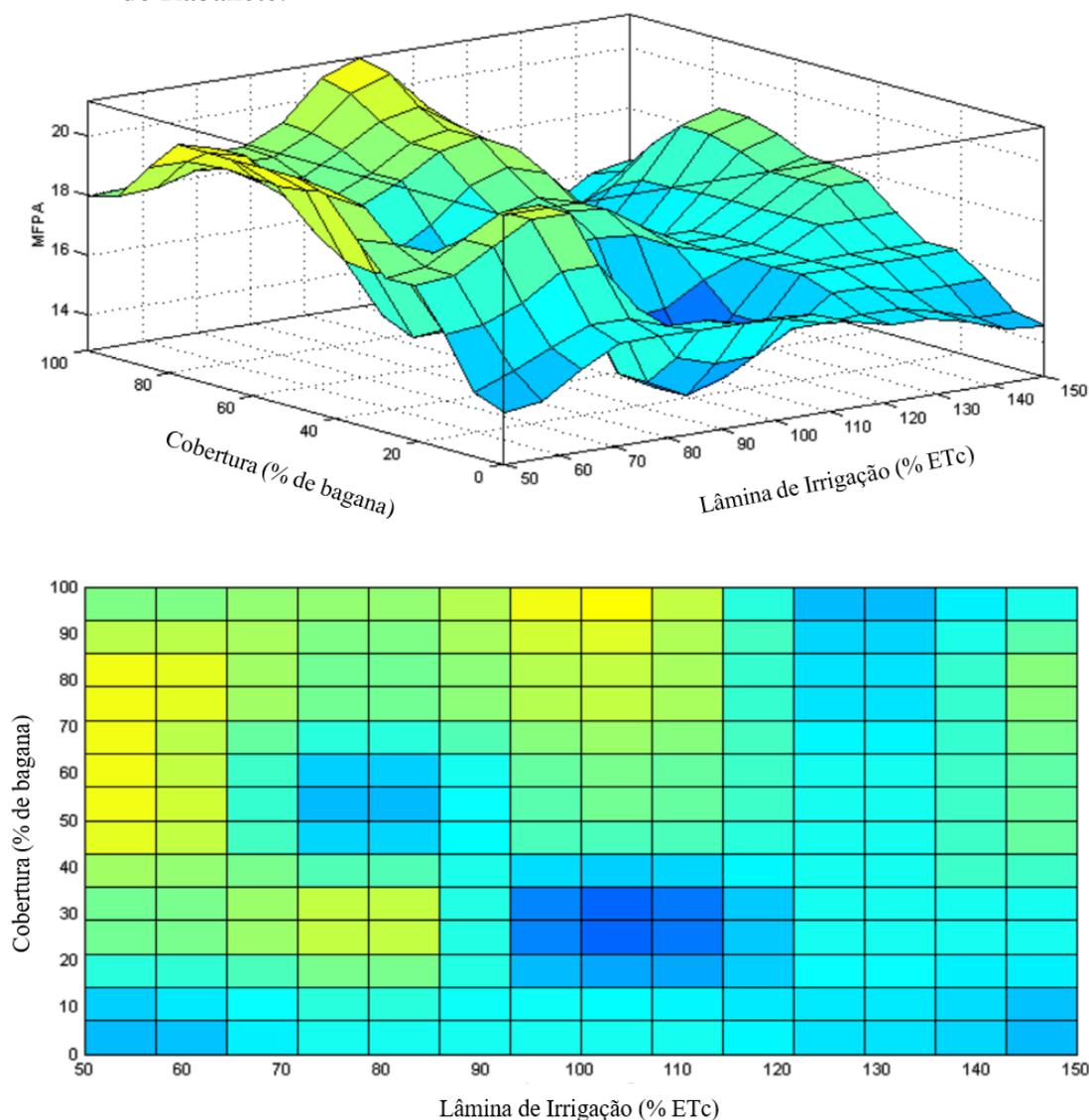


Fonte: Autor (2021)

O modelo *fuzzy* gerado para a variável MFPA pode ser observado na Figura 11. Conforme demonstrado, a combinação entre 100% da ETc e 100% da bagana de carnaúba proporcionou os maiores valores (21,4 g planta⁻¹) observados para a variável MFPA. Contudo, com vistas a economia do uso da água, o modelo indica o uso de 50% ou 60% da ETc com 80% da cobertura morta. Tal decisão não prejudicaria de maneira drástica a produção

de MFPA nas plantas, reduzindo o consumo de água pela metade. Frizzone (2007), demonstra em seus estudos que o planejamento do uso da irrigação deve ter como prioridade o uso da lâmina ótima a ser aplicada, visando o máximo rendimento e economia de insumos. Neste sentido a modelagem *fuzzy* pode servir como suporte ao produtor rural visando o correto uso da água.

Figura 11. Modelo *fuzzy* para a variável massa fresca da parte aérea (MFPA, g planta⁻¹) em função de diferentes lâminas de irrigação (%ETc) e cobertura morta para a cultura do Rabanete.



Fonte: Autor (2021)

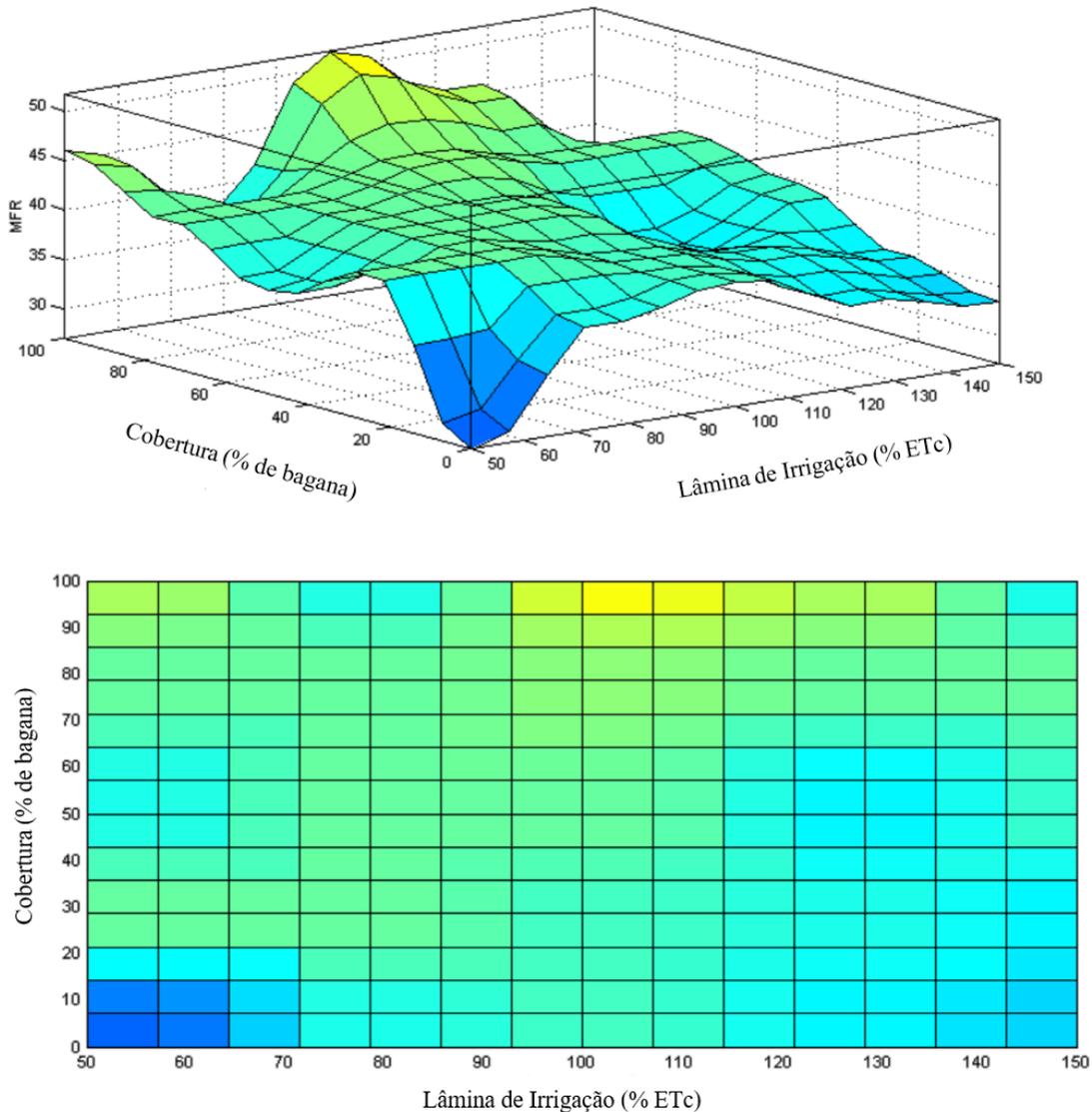
Em relação ao modelo *fuzzy* para a variável MFR (Figura 12), observa-se que com o uso de 100% da ETc e 100% da cobertura morta obtém-se os maiores valores (52,2 g planta⁻¹) para esta variável, sendo considerada a parte comercial desta hortaliça. Visando uma gestão do uso da água é possível de acordo com a proposta, reduzir em 10% a lâmina de água aplicada (90% da ETc) em consórcio com 100% da cobertura morta, obtendo-se valores de 45,6

g planta⁻¹. Apesar da redução na produção, a economia de 10% no uso da água pode chegar a valores de até 10 m³ de água ao mês, para áreas superiores a 0,5 ha, auxiliando assim pequenos produtores a aumentar a eficiência do uso da água na agricultura, apesar da redução na produtividade da cultura. Pejić *et al.* (2011), Mohammadian *et al.* (2008) e Katerji *et al.* (1997) observaram que o estresse provocado por falta de água e excesso de sais provocam redução nas

variáveis produtiva, assim como nas características fisiológicas das plantas. Contudo, segundo Almeida *et al.* (2020) e Silva *et al.* (2021), a redução do uso da água

é uma estratégia necessária na agricultura irrigada, principalmente em regiões com baixa disponibilidade hídrica.

Figura 12. Modelo *fuzzy* para a variável massa fresca da raiz (MFR, g planta⁻¹) em função de diferentes lâminas de irrigação (%ETc) e cobertura morta para a cultura do Rabanete.



Fonte: Autor (2021)

6 CONCLUSÕES

No presente estudo, evidenciou-se a modelagem *fuzzy* pode ser uma ferramenta interessante para suporte ao uso adequado da

água com vistas ao manejo da irrigação e cobertura morta vegetal em hortaliças.

Com uso da modelagem *fuzzy*, foi possível identificar que a produção da cultura do rabanete com o uso de lâminas de irrigação com 80 a 90% da ETc e 100% da

cobertura vegetal é satisfatória, aumentando assim a eficiência do uso da água.

7 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. V. R.; SILVA, A. O.; COSTA, R. N. T.; SANTOS, J. S. G.; SILVA, G. F. Use of carnauba palm bagana to reduce water consumption in the production of irrigated radish. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 4, p. 1071-1081, 2020.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 9. ed. Viçosa: UFV, 2019. 545 p.
- CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CATANEO, A. Metodologia de determinação de funções de pertinência de controladores *fuzzy* para avaliação energética de empresas de avicultura de postura. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 21-39, 2010.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop Water Requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- FAO. **Agricultura irrigada sustentável no Brasil**: identificação de áreas prioritárias. Brasília, DF: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 2017. 243 p.
- FAO. **World Land and Water prospects**. Rome: Land and Water Development Division, 2013. 170 p.
- FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 24-49, 2007.
- GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 9, p. 1275-1284, 2009.
- GIUSTI, E.; MARSILI-LIBELLI, E. A Fuzzy Decision Support System for irrigation and water conservation in agriculture. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v. 63, p. 1-12, 2015.
- KATERJI, N.; HOOM, J. W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M.; KARZEL, E. M. Osmotic adjustment of sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 34, p. 57-69, 1997.
- MORRILLO-VELARDE, R. Water management sugar beet. **Sugar Tech**, New York, v. 12, n. 1, p. 299-304, 2010.
- MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. **International journal of man-machine studies**, Amsterdam, v. 7, n. 1, p. 1-13, 1975. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0020-7373\(75\)80002-2](http://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020737375800022?via%3Dihub>. Acesso em: 15 nov. 2020.
- MOHAMMADIAN, R.; SADEGHIAN, S. Y.; RAHIMIAN, H.; MOGHADAM, S. Reduced water consumption of dormant-seeded sugar beet in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 5, p. 545-552, 2008.
- PEJIĆ, B.; ČUPINA, B.; DIMITRIJEVIĆ, M.; PETROVIĆ, S.; MILIĆ, S.; KRSTIĆ, D.; JAĆIMOVIĆ, G. Response of sugar beet to soil water deficit. **Romanian**

Agricultural Research, Fundulea, v. 28, p. 151-155, 2011.

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: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/3NHrGDwq6H5gfhCScmCPXpw/?lang=en>. Acesso em: 15 nov. 2020.

SEPASKHAH, A. R.; KAMGAR-HAGHIGHI, A. A. Water use and yields of sugar beet grown under every-other-furrow irrigation with different irrigation intervals. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 71-79, 1997.

SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. São Paulo: Blucher: FAPESP, 2007. 186 p.

SILVA, A. O.; ALMEIDA, A. V. R.; SILVA, V. B.; RABELO, J. S. Efficiency

of water use in irrigated tomato cultivars in the semi-arid regions. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, v. 10, n. 1-3, p. 25-37, 2021.

SILVA, A. O.; SILVA, B. A.; SOUZA, C. F.; AZEVEDO, B. M.; BASSOI, L. H.; VASCONCELOS, D. V.; BONFIM, G. V.; JUAREZ, J. M.; SANTOS, A. F.; CARNEIRO, F. M. Irrigation in the age of agriculture 4.0: management, monitoring and precision. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 51, p. 1-17, 2020.

SILVA, V. B.; RABELO, J. S.; COSTA, R. N. T.; SILVA, A. O.; ALMEIDA, A. V. R. Response of the cherry tomato to watering and ground cover under organic cultivation. **Australian Journal of Crop Science**, Queensland, v. 13, n. 2, p. 214-220, 2019.

SOUSA, P. G. R.; SOUSA, J. P. F.; SOUSA, A. M.; COSTA, R. N. Produtividade do mamoeiro cultivado sob aplicação de cinzas vegetais e bagana de carnaúba. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 1, p. 1201-1212, 2017.