



Modelagem fuzzy das características de desenvolvimento de brócolis influenciadas pela aplicação de biofertilizantes

Daniel dos Santos Viais Neto^a, Renata Nagima Imada^b, João César Martins de Castro^c, Daniel Domiciano^d e Luis Roberto Almeida Gabriel Filho^e

Resumo: Os brócolis são plantas cultivadas em diversas regiões do mundo. Seu cultivo necessita de grandes quantidades de fertilizantes, devido ao seu ciclo curto e à alta produtividade. Os biofertilizantes surgem como alternativa e visam sistemas agrícolas mais sustentáveis. O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos em algumas características do desenvolvimento da cultura de brócolis ninja, de diferentes doses de biofertilizantes, supermagro e urina de vaca, aplicadas após o transplântio, utilizando

-
- a Doutor em Agronomia. Professor na Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente – FATEC. E-mail: dv.neto@fatec.sp.gov.br.
 - b Doutoranda em Agronegócio e Desenvolvimento. Professora na Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente – FATEC. E-mail: renata.imada@fatec.sp.gov.br.
 - c Mestre em Agronomia. Professor na Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente – FATEC. E-mail: joao.castro@fatec.sp.gov.br.
 - d Graduação em Tecnologia em Agronegócio. Auxiliar de professor na Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente – FATEC. E-mail: daniel.domiciano@fatec.sp.gov.br.
 - e Doutor em Agronomia. Professor na Universidade Estadual Paulista – UNESP. E-mail: gabrielfilho@tupa.unesp.br.

modelagem fuzzy. Para tanto, produziu-se o biofertilizante supermagro e 144 mudas, estas foram transplantadas em uma casa de vegetação, divididas em 9 tratamentos e submetidas a diferentes pulverizações de biofertilizantes. Entre as datas após transplântio 65 e 85, todas as plantas foram aferidas em relação massa fresca e o diâmetro da inflorescência. Na sequência, realizou-se uma modelagem fuzzy, para analisar esses dados. Conclui-se que, na utilização de biofertilizantes, as aplicações de urina de vaca a 1% e o supermagro de 1 a 4%, apresentaram os maiores valores para as variáveis aferidas, compatíveis com o que foi medido no tratamento T1 (testemunho), que em termos exatos, foram os maiores para tais variáveis. Além disso, o sistema fuzzy mostrou-se eficiente na geração de resultados gráficos utilizados na análise agrônômica do experimento.

Palavras-chave: Supermagro. Urina de vaca. Hortaliças.

Fuzzy modeling of development characteristics of broccoli influenced by the application of biofertilizers

Daniel dos Santos Viais Neto^a, Renata Nagima Imada^b, João Cesar Martins de Castro^c, Daniel Domiciano^d e Luis Roberto Almeida Gabriel Filho^e

Abstract: Broccoli is a plant grown in different regions of the world. Its cultivation requires large amounts of fertilizers, due to its short cycle and high productivity. Biofertilizers appear as an alternative and aim at more sustainable agricultural systems. The objective of this work was to study the effects on some characteristics of the development of ninja broccoli culture, of different doses of biofertilizers, supermagro and cow urine, applied after transplanting, using fuzzy modeling. For this purpose, the supermagro biofertilizer was produced and 144 seedlings were transplanted into a greenhouse, divided into 9 treatments and subjected to different sprayings of biofertilizers. Between the dates after transplanting 65 and 85, all plants were measured in terms of fresh mass and inflorescence diameter. Next, a fuzzy modeling was

-
- a PhD in Agronomy. Professor at the Presidente Prudente Faculty of Technology – FATEC. E-mail: dv.neto@fatec.sp.gov.br.
 - b PhD student in Agribusiness and Development. Professor at the Presidente Prudente Faculty of Technology – FATEC. E-mail: renata.imada@fatec.sp.gov.br.
 - c Master in Agronomy. Professor at the Presidente Prudente Faculty of Technology – FATEC. Email: joao.castro@fatec.sp.gov.br.
 - d Bachelor degree in Technology in Agribusiness. Teaching assistant at the Presidente Prudente Faculty of Technology – FATEC. E-mail: daniel.domiciano@fatec.sp.gov.br.
 - e PhD en Agronomía. Profesor de la Universidad Estadual Paulista – UNESP. Correo electrónico: gabrielfilho@tupa.unesp.br.

performed to analyze these data. It is concluded that, in the use of biofertilizers, applications of 1% cow urine and 1 to 4% supermagro, presented the highest values for the measured variables, compatible with what was measured in treatment T1 (testimonial), which, in exact terms, were the highest for such variables. In addition, the fuzzy system proved to be efficient in generating graphical results used in the agronomic analysis of the experiment.

Keywords: Supermagro. Cow urine. Vegetables.

Modelado fuzzy de características del desarrollo del brócoli influenciadas por la aplicación de biofertilizantes

Daniel dos Santos Viais Neto^a, Renata Nagima Imada^b, João Cesar Martins de Castro^c, Daniel Domiciano^d e Luis Roberto Almeida Gabriel Filho^e

Resumen: El brócoli es una planta que se cultiva en diferentes regiones del mundo. Su cultivo requiere grandes cantidades de fertilizantes, debido a su ciclo corto y alta productividad. Los biofertilizantes aparecen como una alternativa y apuntan a sistemas agrícolas más sustentables. El objetivo de este trabajo fue estudiar los efectos sobre algunas características del desarrollo del cultivo de brócoli ninja, de diferentes dosis de biofertilizantes, supermagro y orina de vaca, aplicadas después del trasplante, mediante modelado difuso. Para ello se elaboró el biofertilizante supermagro y se trasplantaron a invernadero 144 plántulas, divididas en 9 tratamientos y sometidas a diferentes aspersiones de biofertilizantes. Entre las fechas posteriores al trasplante 65 y 85, todas las plantas fueron medidas en términos de

-
- a Doctor en Agronomía. Profesor de la Facultad Tecnológica Presidente Prudente – FATEC. Correo electrónico: dv.neto@fatec.sp.gov.br.
 - b Estudiante de Doctorado en Agronegocios y Desarrollo. Profesor de la Facultad Tecnológica Presidente Prudente – FATEC. Correo electrónico: renata.imada@fatec.sp.gov.br.
 - c Maestría en Agronomía. Profesor de la Facultad Tecnológica Presidente Prudente – FATEC. Correo electrónico: joao.castro@fatec.sp.gov.br.
 - d Licenciatura en Tecnología en Agronegocios. Ayudante de cátedra en la Facultad de Tecnología Presidente Prudente – FATEC. Correo electrónico: daniel.domiciano@fatec.sp.gov.br.
 - e Doctor en Agronomía. Profesor de la Universidad Estadual Paulista – UNESP. Correo electrónico: gabrielfilho@tupa.unesp.br.

masa fresca y diámetro de inflorescencia. A continuación, se realizó un modelado borroso para analizar estos datos. Se concluye que, en el uso de biofertilizantes, las aplicaciones de orina de vaca al 1% y supermagro al 1%, presentaron los valores más altos para las variables medidas, compatible con lo medido en el tratamiento T1 (testimonial), que, en términos exactos, fueron los más altos para dichas variables. Además, el sistema difuso demostró ser eficiente en la generación de resultados gráficos utilizados en el análisis agronómico del experimento.

Palabras clave: Supermagro. Orina de vaca. Vegetales.

1. Introdução

Os brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*) são plantas cultivadas em diversas regiões do mundo, principalmente naquelas com temperaturas mais amenas. Em geral, a parte consumida é a inflorescência, que pode ser do tipo ramoso, líder de mercado in natura ou do tipo cabeça única, que vem ganhando espaço nesse mercado, embora tenha sido desenvolvido originalmente para industrialização (LALLA et al., 2010). Além disso, eles pertencem à família *Brassicaceae*, da qual também fazem parte a couve-flor, o repolho, a couve e espécies distintas como a mostarda, o nabo, o rabanete, o agrião, entre outras (EMPRAPA, 2015).

Entre as espécies pertencentes à família *Brassicaceae* cultivadas no Brasil, os brócolis são hortaliças de grande importante, pois seu consumo tem apresentado incrementos expressivos nos últimos anos, devido ao seu alto valor nutritivo e suas qualidades nutracêuticas (SHISHIDO, 2019; TREVISAN, 2013). Entre as variedades de brócolis, existem os brócolis de cabeça única, que são conhecidos popularmente como ninja, japonês ou americano. Apesar dos nomes utilizados no comércio, os brócolis são plantas europeias, da região do mediterrâneo (SOUZA, 2013).

De modo geral, as hortaliças necessitam de grandes quantidades de fertilizantes, devido ao seu ciclo curto e à alta produtividade. Os biofertilizantes surgem como alternativa ao uso dos fertilizantes químicos convencionais e visam sistemas agrícolas mais sustentáveis, com níveis satisfatórios de produtividade e um menor impacto ambiental associado (BONFIM; FONTENELLE, 2017). Além disso, são compostos biologicamente ativos resultantes da fermentação, promovida pelos chamados microrganismos eficientes, em meio líquido de resíduos orgânicos de origem animal e vegetal (FONTENELLE et al., 2017).

Sob os aspectos biológicos do solo, os fertilizantes orgânicos aumentam a biodiversidade de microrganismos úteis que agem na solubilização de fertilizantes diversos, de maneira a liberar nutrientes para as plantas, além disso, aumentam a quantidade de microrganismos que auxiliam no controle de nematoides, que são pragas que atacam as raízes das plantas (ARAÚJO et al., 2014).

Um dos biofertilizantes orgânico é o supermagro, que segundo Abreu Junior (1998), funciona como repelente de insetos, fertilizante foliar e atua no controle de doenças. Ele é recomendado para frutíferas e hortaliças. O mesmo autor ainda afirma que, ele quelatiza os nutrientes e evita o vazio biológico.

Outro possível biofertilizante orgânico é a urina de vaca, muito rico em diversos nutrientes, entre eles o nitrogênio e potássio, ambos em alta concentração (VÉRAS et al., 2015). Além disso, a urina não é tóxica, pode ser adquirida a baixo custo e seu uso não causa risco à saúde de produtores e consumidores, estando praticamente pronta para uso, bastando apenas acrescentar água (WERNER et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2010). Seu uso correto faz desta um bom produto natural, diminuindo a necessidade de agrotóxicos e adubos químicos, reduzindo os custos de produção, nutrindo as plantas, aumentando o número de brotações, de folhas, de flores e a produção, além de ser indicada para quase todas as culturas, com efeito rápido e eficiente (PEREIRA et al., 2010).

A fim de investigar a otimização de tais recursos utilizados na área agrícola, no caso biofertilizantes (supermagro e urina de vaca), 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 (VIAIS NETO et al., 2018).

O presente estudo justifica-se pela necessidade da análise do comportamento do manejo de um sistema orgânico de produção,

e também do emprego de biofertilizantes, tendo a aplicação na cultura de brócolis ninja. Também, há a necessidade de mais estudos que mostrem os efeitos da aplicação de biofertilizantes nesta cultura, o que em geral é somente realizado em alguns níveis fixos experimentais de dosagem, portanto, foi proposto a utilização da teoria *fuzzy*, com o intuito de determinar resultados em diversos outros pontos não verificados experimentalmente, possibilitando uma extrapolação (VIAIS NETO, 2016).

Frente ao exposto, este trabalho teve por objetivo estudar os efeitos em algumas características do desenvolvimento da cultura de brócolis ninja, de diferentes doses de biofertilizantes, supermagro e urina de vaca, aplicadas após o transplante, utilizando modelagem *fuzzy*.

2. Metodologia

Neste tópico foi apresentado a descrição do experimento realizado, tendo como foco a cultivar de brócolis ninja e a modelagem *fuzzy*, que fora utilizada como instrumento avaliador das características do desenvolvimento desta cultura.

2.1 Descrição do experimento

No primeiro momento, foi produzido o biofertilizante enriquecido (supermagro), que apresenta como ingredientes básicos: água, leite, melão e esterco de vaca (Tabela 1), além de alguns sais minerais (Tabela 2) e alguns ingredientes complementares (Tabela 3), seguindo as recomendações dadas em Abreu Junior (1998).

Tabela 1 – Ingredientes básicos inclusos no biofertilizante

Ingredientes	Unidade	Quantidade
Esterco fresco de vaca	L	40
Água	L	140
Leite	L	9
Melão	L	9

Fonte: Adaptado de Abreu Junior (1998).

Todo o processo, foi realizado em uma propriedade rural do município de Presidente Prudente, onde se adquiriu o esterco fresco de vaca e o leite necessário.

Tabela 2 – Sais minerais inclusos no biofertilizante em ordem

Ordem	Ingredientes	Unidade	Quantidade
1	Sulfato de zinco	kg	3
2	Sulfato de magnésio	kg	1
3	Sulfato de manganês	kg	0,3
4	Sulfato de cobre	kg	0,3
5	Cloreto de cálcio	kg	2
6	Bórax	kg	1
7	Molibdato de sódio	kg	0,1
8	Sulfato de cobalto	kg	0,05
9	Sulfato de ferro	kg	0,1

Fonte: Adaptado de Abreu Junior (1998).

Tabela 3 – Complementares inclusos no biofertilizante

Ingredientes	Unidade	Quantidade
Yoorin Master	kg	0,2
Restos moídos de fígado	kg	0,2

Fonte: Adaptado de Abreu Junior (1998).

Para a obtenção do biofertilizante, em um tambor de 200 litros, foi adicionado 40 litros de esterco fresco de vaca; 100 litros de água; 1 litro de leite e 1 litro de melaço, na sequência, misturou-se bem e deixou fermentar durante três dias. Após este processo, foi adicionado ao composto, já em fermentação no tambor, 1 litro de leite, 1 litro de melaço, um dos sais minerais dissolvidos em água (obedecendo à ordem da Tabela 2) e partes dos ingredientes complementares (Tabela 3). Este último procedimento foi realizado a cada cinco dias e apenas no acréscimo do último sal mineral, não foram adicionados melaço e leite.

Após a adição de todos os sais minerais (Tabela 2) na ordem sugerida, o composto dentro do tambor, foi completado com água até chegar em 180 litros. Depois manteve-se o recipiente fechado para o composto fermentar durante mais 30 dias. Foi adaptado na

tampa do tambor, uma mangueira para a saída de gás, que naturalmente se forma, evitando uma possível explosão do recipiente. Esta mangueira foi inserida num recipiente com água para evitar o mau cheiro no local (Figura 1).

Figura 1 – Recipiente onde foi realizado a mistura dos ingredientes do biofertilizante



Fonte: Autores.

Entre os ingredientes complementares, foi utilizado o Yoorin Master, que é um fertilizante fosfatado que contém fósforo, cálcio, magnésio, silício e micronutrientes na forma de fritas, de alta eficiência agrônômica, e é recomendado para agricultura orgânica (YOORIN FERTILIZANTES, 2020).

Destacam-se também, na Tabela 4, os custos dos principais

ingredientes utilizados na composição do biofertilizante enriquecido (supermagro), não foi computado a água, o leite, o esterco de vaca e os ingredientes complementares. Vale salientar que, alguns desses itens não foi possível adquirir apenas as quantidades desejadas.

Tabela 4 – Custo dos principais ingredientes do biofertilizante aferidos em dezembro de 2020

Ingredientes	Unidade	Quantidade	Custo (R\$)
Melaço	L	9	43,29
Sulfato de zinco	kg	3	13,08
Sulfato de magnésio	kg	1	3,50
Sulfato de manganês	kg	0,3	2,46
Sulfato de cobre	kg	0,3	8,10
Cloreto de cálcio	kg	2	20,00
Bórax	kg	1	4,46
Molibdato de sódio	kg	0,1	9,21
Sulfato de cobalto	kg	0,05	17,45
Sulfato de ferro	kg	0,1	6,60
		Total	128,15

Fonte: Autores.

Após o término do processo de elaboração do biofertilizante, a parte utilizada no experimento foi envazada em uma embalagem plástica de 5 litros, e posteriormente, foi diluída e aplicada na cultura de brócolis ninja.

O experimento foi realizado entre os meses de março e junho de 2021. O local escolhido foi uma das casas de vegetação (Figura 2) instaladas em uma área com altitude média de 452 m, latitude igual a 22°08'23" Sul, longitude igual a 51°23'05" Oeste e situadas na Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente – FATEC.

No início de março de 2021, foram produzidas mudas de brócolis ninja, em duas bandejas com 128 células cada, num total de 256 mudas (Figura 3), utilizando-se substrato comercial recomendado para a produção de mudas de hortaliças, a saber, *Carolina Soil*, que possui em sua composição, os seguintes

elementos: turfa de *sphagnum*, perlita expandida, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK (traços).

Foram utilizadas sementes de brócolis híbrido BC1691 da *Seminis*. A semeadura ocorreu no dia 01/03/2021, e foi inserida uma semente por célula. As bandejas ficaram abrigadas em um local controlado. A irrigação foi realizada de acordo com a necessidade da planta.

Figura 2 – Casa de vegetação em que foi realizado o plantio das mudas de brócolis



Fonte: Autores.

Figura 3 – Plantio de 256 mudas de brócolis



Fonte: Autores.

Nesse período, também se realizou uma análise do solo, cuja coleta se deu na camada de 0 – 0,20 m de profundidade, e tal análise indicou que o solo não apresentou necessidade de correção, devido ao nível de acidez estar adequado e os teores de nutrientes estarem satisfatório para atender as necessidades da cultura em questão (Tabela 5).

Tabela 5 – Análise feita em uma amostra de solo da casa de vegetação

Variáveis	Unidade	Valor
pH	(CaCl ₂)	6,3
M.O.	g dm ³	19
P(resina)	mg dm ⁻³	210
S	mg dm ⁻³	7
Al ³⁺	mmolc dm ⁻³	0
H+Al	mmolc dm ⁻³	15
K	mmolc dm ⁻³	4,1
Ca	mmolc dm ⁻³	142
Mg	mmolc dm ⁻³	51
SB	mmolc dm ⁻³	197
CTC	mmolc dm ⁻³	212
V	%	93
m	%	0
K	% na CTC	2
Ca	% na CTC	67
Mg	% na CTC	24
Ca:K	Relação no Solo	35
Ca:Mg	Relação no Solo	3
Mg:K	Relação no Solo	12
Boro	mg dm ⁻³	0,35
Cobre	mg dm ⁻³	3,1
Ferro	mg dm ⁻³	37
Manganês	mg dm ⁻³	3,6
Zinco	mg dm ⁻³	7,5

Fonte: Autores.

Após 30 dias, ou seja, no dia 31/03/21, foi realizado o transplântio de 144 mudas (as mais vigorosas aparentemente) para a casa de vegetação supracitada (Figura 4), cujo tipo de solo é argissolo. Ao todo, foram feitas 6 linhas de plantio com

distanciamento de 1 m entre linhas e em cada linha, um espaçamento de 0,5 m entre plantas. O local é provido de um sistema de irrigação por gotejo, que entrou em funcionamento por 15 minutos em média, 4 vezes ao dia, a saber, às 9h, 11h, 14h e 17h (Figura 4).

A área foi mantida livre de plantas daninhas, por meio de capinas, com o auxílio de enxada e/ou manualmente, entre plantas e entre linhas, para evitar danos a cultura. Tal controle foi realizado semanalmente.

Figura 4 – Mudas de brócolis transplantadas e detalhe do sistema de irrigação por gotejo



Fonte: Autores.

Antes do transplantio, foi realizado um sorteio entre as 3 primeiras linhas para a escolha da posição dos 9 tratamentos envolvidos no experimento, e outro sorteio para determinar a posição da repetição dos 9 tratamentos entre as 3 últimas linhas, na sequência os tratamentos foram demarcados (Figura 5). Os tratamentos aqui avaliados foram:

- T1: Testemunha;
- T2: Supermagro 2%;
- T3: Supermagro 4%;
- T4: Urina de vaca 1%;
- T5: Urina de vaca 2%;
- T6: Supermagro 2% e Urina de vaca 1%;

- T7: Supermagro 2% e Urina de vaca 2%;
- T8: Supermagro 4% e Urina de vaca 1%;
- T9: Supermagro 4% e Urina de vaca 2%.

Figura 5 – Demarcações dos tratamentos



Fonte: Autores.

Após 5 dias do transplântio (DAT), iniciaram-se as aplicações dos biofertilizantes, supermagro e urina de vaca. As aplicações de supermagro foram quinzenais, e ocorreram nos DAT: 5, 20, 35 e 50. Já as aplicações de urina de vaca, foram semanais e ocorreram nos DAT: 6, 13, 21, 27, 34, 41, 48 e 55. Tanto a aplicação de supermagro, quanto a de urina de vaca, foram folhar.

Também foi realizado a pulverização do inseticida biológico *Dimypel* nos DAT 42 e 56, para controle de lagartas. A dosagem utilizada em cada pulverização foi de 5 g por litro, de acordo com a recomendação do fabricante. Ao todo foram utilizados 20 g do produto.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, no esquema fatorial (3×3), considerando-se 3 doses de

supermagro e 3 doses de urina de vaca, no qual cada tratamento possuía duas parcelas de 8 plantas, totalizando 144 mudas de brócolis ($3 \times 3 \times 2 \times 8$).

Entre os DAT 65 e 85, todas as plantas em ponto de colheita foram aferidas em relação massa fresca da inflorescência (MFI) e diâmetro da inflorescência (DI), de maneira semelhante ao relatado em Shishido (2019):

- Massa fresca da inflorescência: o corte da haste a 3 cm do fim da inflorescência. Individualmente cada inflorescência será pesada em uma balança de precisão (Figura 6).
- Diâmetro da inflorescência: cada inflorescência será medida com o auxílio de uma régua graduada em milímetros de uma extremidade até a outra.

Figura 6 – Aferição da massa fresca da inflorescência



Fonte: Autores.

Após tabuladas as aferições das plantas, foram aproveitados no mínimo 8 aferições de cada tratamento, como mostra a Tabela

6.

Tabela 6 – Número de plantas aferidas e utilizadas de cada tratamento

Tratamentos	Nº de plantas aferidas	Nº de aferições utilizadas
T1	10	8
T2	13	13
T3	16	15
T4	8	8
T5	16	16
T6	15	15
T7	11	9
T8	16	15
T9	16	16
	Total	115

Fonte: Autores.

2.2 Modelagem fuzzy

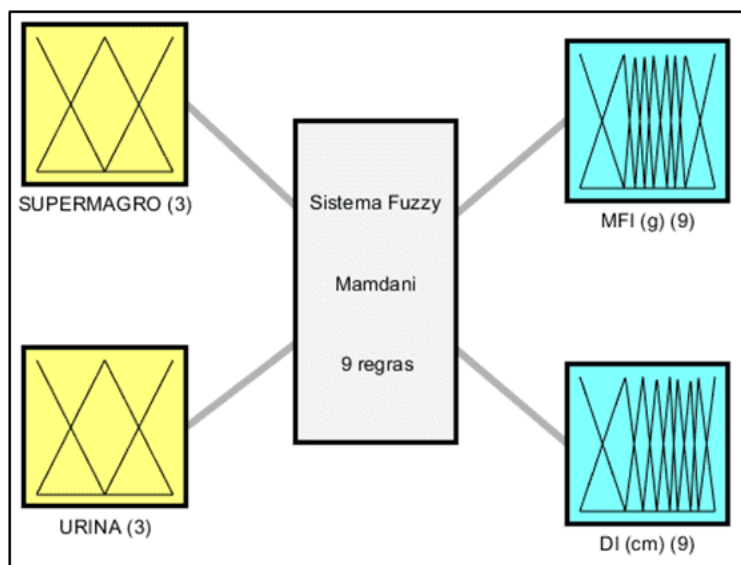
A partir dos dados aferidos no experimento com o manejo de diferentes doses de biofertilizantes, supermagro e urina de vaca, na cultura de brócolis ninja, foi realizada uma modelagem *fuzzy* dos efeitos nas variáveis massa fresca da inflorescência (MFI) e diâmetro da inflorescência (DI), entre 65 e 85 dias do transplantio.

Para tanto, foi considerado o seguinte modelo matemático/agronômico para representar a situação em questão: $F: X_1 \times X_2 \subseteq \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2, (x_1, x_2) \mapsto Y = F(x_1, x_2)$, onde $X_1 = [0,4], X_2 = [0,2], \mathbb{R}$ é o conjunto dos números reais, x_1 é o percentual de diluição do supermagro em água que foi aplicado na folhagem (%) e x_2 é o percentual de diluição da urina de vaca em água que foi aplicada na folhagem (%). Os extremos dos intervalos X_1 e X_2 estão de acordo com os valores mínimos e máximos do experimento. O valor de $Y = F(x_1, x_2) = (y_1, y_2)$ foi definido pelas médias das variáveis analisadas, sendo y_1 a massa fresca da inflorescência

(g) e Y_2 o diâmetro da inflorescência (cm).

Para elaborar tal sistema baseado em regras *fuzzy* (SBRF), foi definido um processador de entrada, um conjunto de regras linguísticas, um método de inferência *fuzzy* e um processador de saída, para no final, gerar um número real como saída (Figura 7).

Figura 7 – SBRF de avaliação da cultura de brócolis com 2 variáveis de entrada (supermagro e urina) e 2 variáveis de saída (massa fresca e diâmetro da inflorescência)



Fonte: Autores.

2.2.1 Conjuntos fuzzy das variáveis de entrada

Para as variáveis de entrada do SBRF, supermagro (%) e urina de vaca (%), foram definidos 3 conjuntos *fuzzy* denominados Baixo (C1), Médio (C2) e Alto (C3), cujos valores numéricos apresentados foram retirados da análise dos dados do experimento.

As funções de pertinência foram elaboradas de modo que as diluições de supermagro na água experimento (0, 2 e 4%)

apresentassem grau de pertinência igual a 1 aos conjuntos *fuzzy* C1, C2 e C3, respectivamente. O mesmo procedimento foi utilizado para as diluições de urina em águas adotadas no experimento (0, 1 e 2%). As definições das funções de pertinência das variáveis de entrada estão representadas na Tabela 7 e na Figura 8.

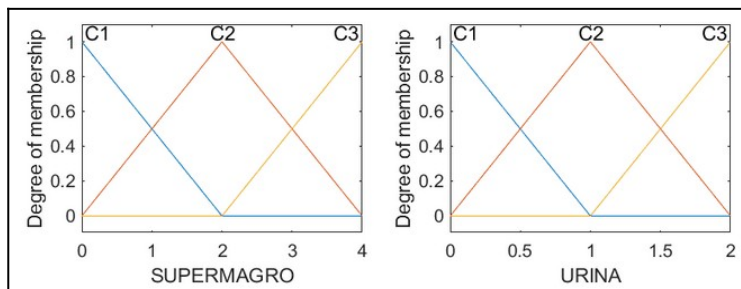
Deste modo, foi adotado para o conjunto “C1” no seu primeiro delimitador o ponto $P1-1$, afim de que o grau de pertinência 1 ocorra tanto para o supermagro 0% quanto para a urina 0%, visto que se trata de pontos observados experimentalmente. Analogamente, foi adotado para o conjunto “C3” no seu último delimitador o ponto $P3+1$. Assim, tanto o supermagro 4% quanto a urina 2% obtiveram grau de pertinência 1. Tal procedimento foi utilizado por Viais Neto et al. (2019a), Gabriel Filho et al. (2015), Putti et al. (2014) e Gabriel Filho et al. (2011).

Tabela 7 – Definição das funções de pertinência das variáveis de entrada

Conjuntos fuzzy	Tipo	SUPERMAGRO Delimitadores	URINA Delimitadores
C1	Triangular	[-1 0 2]	[-1 0 1]
C2	Triangular	[0 2 4]	[0 1 2]
C3	Triangular	[2 4 5]	[1 2 3]

Fonte: Autores.

Figura 8 – Funções de pertinência das variáveis de entrada Supermagro e Urina



Fonte: Autores.

2.2.2 Conjuntos fuzzy das variáveis de saída

Para as variáveis de saída do SBRF, massa fresca da inflorescência (MFI) e diâmetro da inflorescência (DI), foram definidos 9 conjuntos *fuzzy* denominados C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 e C9. Porém, para criar delimitadores que possibilitassem definir de forma triangular cada uma das funções de pertinência de cada um desses conjuntos *fuzzy* em questão, foi utilizado um método descrito em Cremasco et al. (2010), Gabriel Filho et al. (2011, 2015, 2016), Putti et al. (2014, 2017a, 2017b, 2021), Viais Neto et al. (2019a, 2019b), Martínez et al. (2020), Matulovic et al. (2021), Góes et al. (2021) e Boso et al. (2021a, 2021b).

2.2.3 Base de regras e método de inferência e defuzzificação

Para obter a base de regras, considerou-se as 9 (3×3) combinações entre os conjuntos *fuzzy* das duas variáveis de entrada. Assim se criou 9 pares da forma ‘supermagro’ $\times$ ‘urina’, conforme metodologia desenvolvida em Viais Neto et al. (2019a, 2019c) e Imada et al. (2021).

O método de inferência utilizado neste trabalho foi o Método de Mamdani que fora proposto por Mamdani e Assilian (1975). Já na defuzzificação, foi utilizado o Método do Centro de Gravidade, que pode ser compreendido como uma média ponderada (CREMASCO, 2008).

Para a elaboração do SBRF, foram utilizadas planilhas eletrônicas para programação da metodologia ora proposta, e o software Matlab® para a geração dos gráficos, cuja licença para seu uso, a FCE/UNESP, Campus de Tupã-SP, possui.

2.2.4 Validação

Foram desenvolvidos modelos de regressão polinomial múltipla quadrática para comparação do seu desempenho no experimento frente ao *fuzzy*. Após o ajuste, os modelos *fuzzy* e polinomial foram avaliados usando alguns dos indicadores

comuns usados para avaliar a precisão de um modelo de regressão. Para isso, duas métricas de cálculo de erros (erro médio absoluto - MAE e raiz do erro quadrático médio - RMSE) foram utilizadas para medir e comparar a precisão dos algoritmos, bem como o coeficiente de determinação (R^2).

3. Resultados e discussão

Buscando representar o sistema desenvolvido para a análise dos efeitos da aplicação de biofertilizantes, supermagro e urina de vaca, na cultura de brócolis ninja, foram gerados gráficos tridimensionais de respostas e seus respectivos mapas de contornos.

3.1 Sistema baseado em regras fuzzy

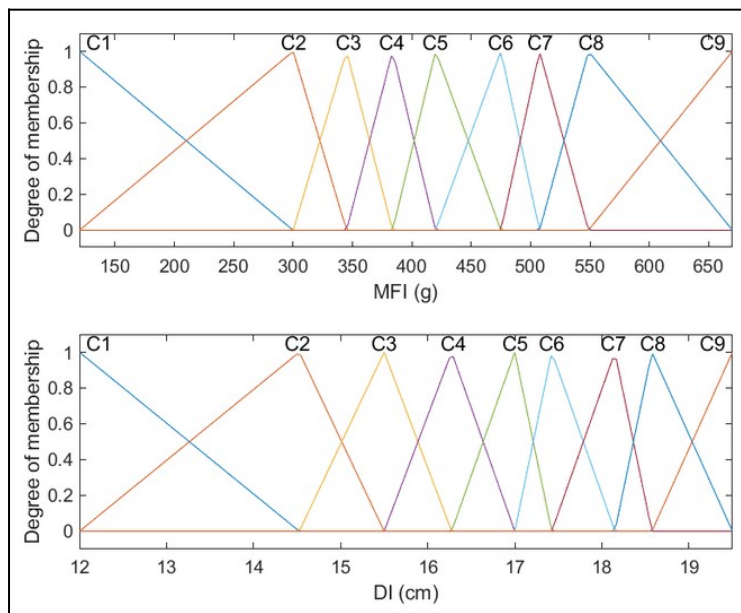
Foram elaboradas funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* das variáveis de saída do presente trabalho (Tabela 8 e Figura 9), nomeadamente massa fresca da inflorescência (MFI) e diâmetro da inflorescência (DI).

Tabela 8 – Definição das funções de pertinência das variáveis de saída

Conjuntos fuzzy	Tipo	MFI Delimitadores	DI Delimitadores
C1	Triangular	[119 120 300]	[11 12 14,525]
C2	Triangular	[120 300 345]	[12 14,525 15,5]
C3	Triangular	[300 345 384]	[14,525 15,5 16,275]
C4	Triangular	[345 384 420]	[15,5 16,275 17]
C5	Triangular	[384 420 475]	[16,275 17 17,425]
C6	Triangular	[420 475 508]	[17 17,425 18,15]
C7	Triangular	[475 508 549]	[17,425 18,15 18,575]
C8	Triangular	[508 549 670]	[18,15 18,575 19,5]
C9	Triangular	[549 670 671]	[18,575 19,5 20,5]

Fonte: Autores.

Figura 9 – Funções de pertinência das variáveis de saída



Fonte: Autores.

Também, foi elaborada a base de regras utilizada pelo sistema *fuzzy* para classificar as variáveis de saída de acordo com o tratamento escolhido (Tabela 9).

Vale ressaltar que a primeira linha da Tabela 8 é explicada da seguinte forma: “Se (Supermagro é C1 e Urina é C1), então (MFI é C7 e DI é C7)”. As demais linhas são interpretadas de forma análoga. Também é importante salientar que o retorno da base de regras para as variáveis de saída, não acionou os conjuntos *fuzzy* C1, C8 e C9, pois é avaliado a média das características da cultura para um determinado tratamento. Não obstante, individualmente, este sistema classifica qualquer planta cujas características estejam dentro dos limites máximo e mínimo estabelecidos na Tabela 8.

Tabela 9 – Base de regras do sistema fuzzy

Variáveis de entrada		Variáveis de saída	
Supermagro	Urina	MFI	DI
C1	C1	C7	C7
C1	C2	C6	C5
C1	C3	C5	C5
C2	C1	C2	C3
C2	C2	C6	C6
C2	C3	C2	C2
C3	C1	C6	C5
C3	C2	C6	C6
C3	C3	C4	C3

Fonte: Autores.

3.2 Resultados práticos

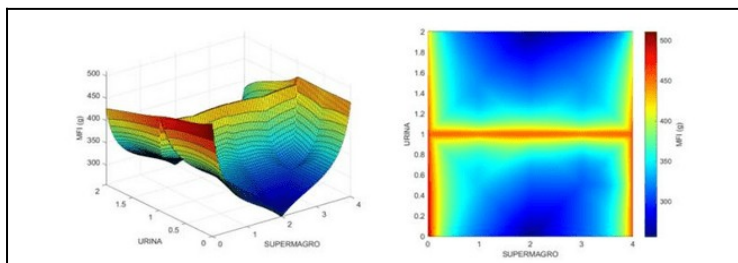
Utilizando os métodos de inferência e defuzzyficação adotados, obtém-se os gráficos tridimensionais e seus respectivos mapas de contorno das variáveis de saída como solução do sistema.

Em relação à massa fresca da inflorescência (MFI), verificou-se, a partir da modelagem *fuzzy*, que os maiores valores foram obtidos quando a cultura de brócolis foi submetida aplicações dos biofertilizantes, supermagro à 0 ou 4% e urina de vaca de 0 à 1,2%. Também é possível verificar, que para uma aplicação de 1% de urina de vaca, independe a quantia aplicada de supermagro (Figura 10).

Já em relação ao diâmetro da inflorescência (DI), constatou-se, por meio da modelagem *fuzzy*, que os maiores valores ocorreram para aplicações de urina de vaca de 0 à 1% e supermagro de 0 à 4%, com exceção de uma pequena região no entorno da aplicação de urina 0% e de supermagro 2%.

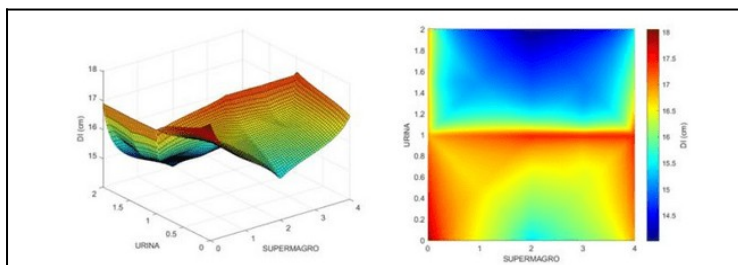
Semelhante a MFI, também é possível notar que para uma aplicação de 1% de urina de vaca, independe a quantia aplicada de supermagro (Figura 11).

Figura 10 – Massa fresca da inflorescência (MFI) para a cultura de brócolis ninja, submetido a diferentes doses de biofertilizantes, supermagro e urina de vaca



Fonte: Autores.

Figura 11 – Diâmetro da inflorescência (DI) para a cultura de brócolis ninja, submetido a diferentes doses de biofertilizantes, supermagro e urina de vaca



Fonte: Autores.

Considerando os valores aferidos experimentalmente, tanto para a massa fresca, quanto para o diâmetro da inflorescência, os maiores valores ocorreram no tratamento T1 (testemunha). Pressupõem que tal fato se deve a qualidade do solo em que fora feito o experimento, pois o mesmo um pH adequado para a cultura e não apresenta nenhum deficit de nutrientes, como explanado anteriormente. Porém, em caso de aplicação de um dos biofertilizantes utilizados neste experimento na cultura de

brócolis ninja, a urina de vaca a 1% e o supermagro de 1 à 4%, se mostrou mais adequada aos valores aferidos para a MFI e para o DI.

Outros trabalhos que também aferiram os efeitos de aplicação de biofertilizantes, sejam para avaliar características biométricas ou produção de mudas de outras culturas, não revelaram significância em seus experimentos, são eles: Pereira et al. (2010) constataram que em solo favorável para o cultivo da alface, a aplicação da urina de vaca não proporcionou um aumento no diâmetro e da matéria fresca da cultura; Pavinato et al. (2008) concluíram que a eficiência da fertilização foliar com o biofertilizante supermagro não pode ser comprovada em produção de massa seca de milho e de soja; Moraes et al. (2006), concluíram que o uso de biofertilizantes adicionados na água de subirrigação é desnecessário, pois o substrato é suficiente nutricionalmente para a produção de mudas de tomateiro e, Scherer (2006) concluiu que, em sistemas orgânicos com utilização de esterco na adubação, a aplicação de biofertilizantes (supermagro e urina de vaca) via adubação foliar na cultura do feijoeiro não aumenta a produtividade de grãos.

3.3 Validação

Como forma de validação, calcularam-se índices de ajuste de todos os modelos, sendo que o *fuzzy* foi melhor em todos casos, obtendo os menores valores dos erros (MAE e RMSE), e valores maiores do coeficiente de determinação (R^2). Em valores médios, os erros MAE e RMSE foram 3% e 1% menores, respectivamente, para os modelos *fuzzy*, frente aos de regressão, enquanto os modelos *fuzzy* tiveram coeficiente de determinação (R^2) 45% maior que o de regressão (Tabela 10).

Tabela 10 – Valores de erro absoluto médio (MAE), erro quadrático médio (RMSE) e coeficiente de determinação (R^2) para os modelos fuzzy e de regressão

Variáveis	Indicadores	Fuzzy	Regressão
MFI	MAE	81,15	83,31
	RMSE	103,66	104,29
	R^2	0,23	0,16
DI	MAE	1,27	1,30
	RMSE	1,62	1,62
	R^2	0,18	0,13

Fonte: Autores.

4. Conclusões

Na utilização de biofertilizantes na cultura de brócolis, considerado as condições do experimento realizado, as aplicações de urina de vaca a 1% e o supermagro de 1 à 4%, apresentaram os maiores valores para as variáveis de saída, a saber, massa fresca e diâmetro da inflorescência. Estes valores foram compatíveis com os aferidos no tratamento T1 (testemunho), que em termos exatos, foram os maiores para tais variáveis.

O sistema *fuzzy* mostrou-se eficiente na geração de resultados gráficos que facilitaram a análise agrônômica do experimento.

Para trabalhos futuros, pretende-se desenvolver experimento semelhante em diferentes solos, principalmente em solos com deficit de nutrientes, o que neste caso, o uso de biofertilizantes possivelmente mostrar-se-ia mais favorável.

Referências

ABREU JUNIOR, H. **Práticas alternativas de controle de pragas e doenças na agricultura**. Campinas, 1998, 115 p.

ARAÚJO, D. L. *et al.* Efeito de fertilizante à base de urina de

vaca e substratos em plantas de pimentão. **Terceiro Incluído**, v. 4, n. 2, p. 173-185, 2014. Disponível em: <http://doi.org/10.5216/teri.v4i2.35270>. Acesso em: 19 jan. 2024.

BONFIM, C. A.; FONTENELLE, M. R. Microrganismos benéficos em biofertilizantes. **Embrapa Hortaliças**, Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/22865878/microrganismos-beneficos-em-biofertilizantes>. Acesso em: 28 jul. 2020.

BOSO, A. C. M. R. *et al.* Fuzzy modeling of the effects of different irrigation depths on the radish crop. Part I: Productivity analysis. **Engenharia Agrícola**, v. 41, n. 3, p.11-318, 2021a. Disponível em: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n3p311-318/2021>. Acesso em: 19 jan. 2024.

BOSO, A. C. M. R. *et al.* Fuzzy modeling of the effects of different irrigation depths on the radish crop. Part II: Biometric variables analysis. **Engenharia Agrícola**, v. 41, n. 3, p. 319-329, 2021b. Disponível em: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n3p319-329/2021>. Acesso em: 19 jan. 2024.

CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CATANEO, A. Metodologia de determinação de funções de pertinência de controladores fuzzy para a avaliação energética de empresas de avicultura de postura. **Energia na Agricultura**, v. 25, n. 1. p. 21-39, 2010. Disponível em: <http://doi.org/10.17224/EnergAgric.2010v25n1p21-39>. Acesso em: 19 jan. 2024.

EMBRAPA. **A cultura dos brócolis**. Coleção Plantar, 74. Brasília, 2015. 153 p.

FONTENELLE, M. R. *et al.* Biofertilizante Hortbio®:

propriedades agronômicas e instruções para o uso. **Circular Técnica**, v. 162, 11 p., Brasília, 2017.

GABRIEL, C. P. C. **Aplicação da lógica fuzzy para avaliação do faturamento do consumo de energia elétrica e demanda de uma empresa de avicultura de postura**. 2008. 108 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/101828>. Acesso em: 19 jan. 2024.

GABRIEL FILHO, L. R. A. *et al.* Application of fuzzy logic for the evaluation of livestock slaughtering. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 4, p. 813-825, 2011. Disponível em: <http://doi.org/10.1590/S0100-69162011000400019>. Acesso em: 19 jan. 2024.

GABRIEL FILHO, L. R. A. *et al.* Software to assess beef cattle body mass through the fuzzy body mass index. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 1, p. 179-193, 2016. Disponível em: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p179-193/2016>. Acesso em: 19 jan. 2024.

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**, v. 35, n. 2, p. 350-367, 2015. Disponível em: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n2p350-367/2015>. Acesso em: 19 jan. 2024.

GÓES, B. C. *et al.* A. Fuzzy modeling of vegetable straw cover crop productivity at different nitrogen doses. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 7, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.1007/s40808-021-01125-4>. Acesso em: 19 jan. 2024.

GOMES, B. V. C.; DELMANTO JUNIOR, O. Benefícios do uso

de biofertilizante em plantações de alface (*Lactuca Sativa L.*). In: 12ª Jornada Científica e Tecnológica da FATEC de Botucatu. **Anais...**, Fatec de Botucatu, Botucatu, 2023.

IMADA, R. N. *et al.* Modelagem *fuzzy* para avaliação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar utilizando diferentes doses de polímeros e lâminas de irrigação. **Energia na agricultura**, v. 36, n. 1, p. 131-144, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.17224/energagric.2021v36n1p131-144>. Acesso em: 19 jan. 2024.

LALLA, J. G. *et al.* Competição de cultivares de brócolis tipo cabeça única em Campo Grande. **Horticultura Brasileira**. v. 28, n. 3, p. 360-363, 2010.

MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a *fuzzy* logic controller. **International Journal Man-Machine Studies**, v. 7, p. 1-13, 1975.

MATULOVIC, M. *et al.* Technology 4.0 with 0.0 costs: fuzzy model of lettuce productivity with magnetized water. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 43, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.51384>. Acesso em: 19 jan. 2024.

MARTÍNEZ, M. P. *et al.* Fuzzy inference system to study the behavior of the green consumer facing the perception of greenwashing. **Journal of Cleaner Production**, v. 242, n. 1, 116064, 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.060>. Acesso em: 19 jan. 2024.

MORAES, R.D. *et al.* Influência da biofertilização no crescimento de mudas de tomateiro em sistema flutuante. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v. 1, n. 1, p. 1571-1574, 2006.

OLIVEIRA, N. L. C. *et al.* Efeito da urina de vaca no estado nutricional da alface. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 4, p. 506-515, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000400011>. Acesso em: 19 jan. 2024.

PAVINATO, P. S. *et al.* Doses de biofertilizante foliar supermagro nas culturas da soja e do milho. In: FERTBIO: **Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental**, Londrina: Embrapa, 2008.

PEREIRA, P. M. *et al.* Efeitos da urina de vaca no cultivo da alface. In: Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação, V CONNEPI. **Anais...** IFAL, Maceió, 2010.

PUTTI, F. F. *et al.* Fuzzy modeling in orange production under different doses of sewage sludge and wastewater. **Engenharia Agrícola**, v. 41, n. 2, p. 204-214, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v41n2p204-214/2021>. Acesso em: 19 jan. 2024.

PUTTI, F. F. *et al.* A Fuzzy mathematical model to estimate the effects of global warming on the vitality of *Laelia purpurata* orchids. **Mathematical Biosciences**, v. 288, p. 124-129, 2017a. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.mbs.2017.03.005>. Acesso em: 19 jan. 2024.

PUTTI, F. F. *et al.* Fuzzy logic to evaluate vitality of *catasetum fimbriatum* species (Orchidacea). **Irriga**, v. 19, n. 3, p. 405-413, 2014. Disponível em: <http://doi.org/10.15809/irriga.2014v19n3p405>. Acesso em: 19 jan. 2024.

PUTTI, F. F. *et al.* Fuzzy modeling on wheat productivity under different doses of sludge and sewage effluent. **Engenharia**

Agrícola, v. 37, n. 6, p. 1103-1115, 2017b. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n6p1103-1115/2017>. Acesso em: 19 jan. 2024.

SCHERER, E. E. Resposta do feijoeiro à adubação foliar com biofertilizantes. **Agropecuária Catarinense**, v. 19, n. 1, p. 85-88, 2006.

SHISHIDO, S. I. **Desempenho agrônômico de híbridos de brócolis de cabeça única em função do espaçamento na região de Ponta Grossa – PR**. 2019. 28 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.

SOUZA, D. **Olericultura**. Instituto Formação. Barra da Estiva, 2013. 46 p. Disponível em: <http://www.ifcursos.com.br/sistema/admin/arquivos/19-35-46-apostilaOlericultura.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2020.

TREVISAN J. N. **Crescimento, desenvolvimento e produção de brócolis de cabeça única**. 2013. 105 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

VÉRAS, M. L. M. *et al.* Influência da aplicação de urina de vaca em pimentão (*Capsicum annuum* L.) em função de adubos orgânicos. **Agropecuária Técnica**, v. 36, n. 1, p. 222-228, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.25066/agrotec.v36i1.24736>. Acesso em: 19 jan. 2024.

VIAIS NETO, D. S. *et al.* Modelagem *fuzzy* dos efeitos de doses de biofertilizante e quantidades de esterco aplicados à cultura do pimentão. In: Simpósio Nacional de Tecnologia em Agronegócio, X SINTAGRO. **Anais...**, Fatec Presidente Prudente, Presidente Prudente, p. 10-15, 2018.

VIAIS NETO, D. S. *et al.* Fuzzy modeling of the effects of irrigation and water salinity in harvest point of tomato crop. Part I: description of the method. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 3, 2019a. Disponível em: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n3p294-304/2019>. Acesso em: 19 jan. 2024.

VIAIS NETO D. S. *et al.* Fuzzy modeling of the effects of irrigation and water salinity in harvest point of tomato crop. Part II: application and interpretation. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 3, p. 305-14, 2019b. Disponível em: <http://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n3p305-314/2019>. Acesso em: 19 jan. 2024.

VIAIS NETO, D. S. *et al.* Modelagem fuzzy para avaliação da produção de mudas de tomate-cereja utilizando diferentes doses de polímeros e níveis de irrigação. **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215, v. 14, n. 3, p. 93–103, 2019c.

WERNER, E. T. *et al.* Efeito da urina de vaca e do fosfito de cobre no crescimento de mudas de tomateiro. In: Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, 15., e Encontro Latino Americano de Pós-graduação, 11., 2013, Vale do Paraíba. **Resumos...**, 6p.

YOORIN Fertilizantes. Disponível em: <http://www.yoorin.com.br/pt/produtos/oorin>. Acesso em: 04 nov. 2020.