

Utilização da lógica fuzzy para a produção de um substrato específico para a alface

Emmanuel Zullo Godinho^{1*}, Amanda Alves Arruda², Fernando de Lima Caneppele³

¹Doutor em Agronomia – Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista, Brasil. *Autor correspondente: profemmanuelzullo@gmail.com

²Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual Paulista, Brasil.

³Doutor, Livre-docente, Universidade de São Paulo, Brasil.

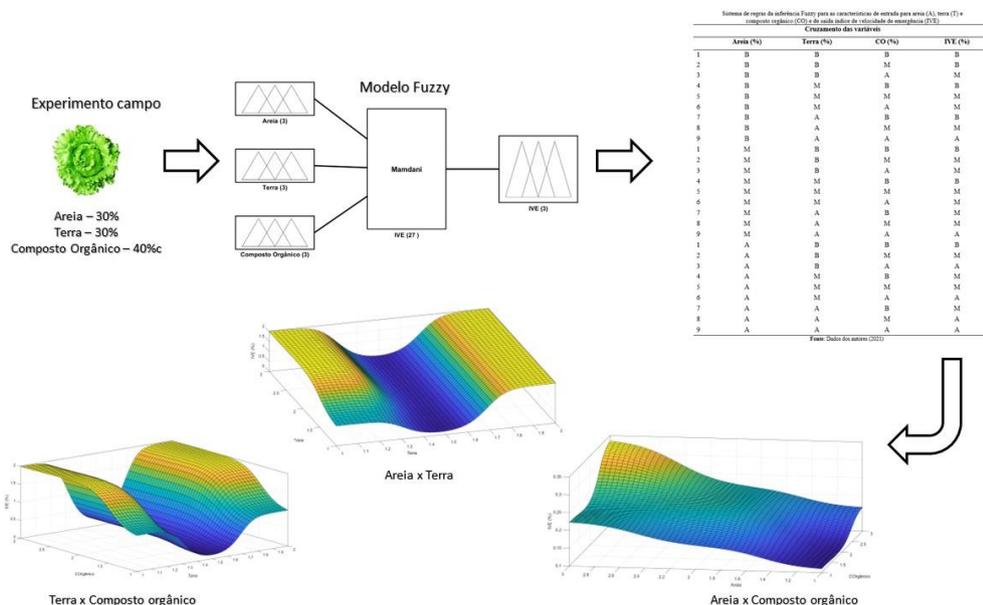
Histórico do Artigo: Submetido em: 23/12/2022 – Revisado em: 20/05/2023 – Aceito em: 10/07/2023

RESUMO

Diante dos desafios da olericultura nacional, que precisa reduzir perdas produtivas decorrentes dos problemas ambientais, como por exemplo excesso de chuva, baixas temperaturas, além de plantio em solos considerados pobres, este trabalho propõe um desenvolver um conjunto Fuzzy que possa otimizar as porcentagens de uso na produção de um substrato com areia, terra e composto orgânico bovino. O modelo Fuzzy foi elaborado com base em dados experimentais de campo. Para cada variável, foram atribuídos conjuntos Fuzzy que as caracterizaram juntamente com suas funções de pertinência. Foram utilizadas como variáveis de entrada, a areia, terra e composto orgânico com intervalo de [0 a 40], em porcentagem e a variável de saída índice de velocidade de emergência com intervalo de [0 a 2%]. A interpretação do uso da lógica fuzzy neste experimento utilizando dados reais de campo conseguiu otimizar as melhores proporções do uso de areia, terra e composto orgânico para a produção de um substrato específico para a alface. Sendo utilizado 20% para cada matéria-prima, obtendo-se 1% no índice de velocidade de emergência. Este modelo desenvolvido com a lógica Fuzzy permitiu estimar quais as melhores condições de índice de velocidade de emergência utilizando areia, terra e composto orgânico para a germinação e emergência da alface, visto que pode otimizar as melhores proporções de uso das matérias-primas, para que não venha afetar o meio externo para a semente.

Palavras-Chaves: Areia. Composto orgânico. *Lactuca sativa*. Lógica nebulosa. Terra.

RESUMO GRÁFICO – GRAPHICAL ABSTRACT



Godinho, E.Z., Arruda, A.A., Caneppele, F.L. (2023). Utilização da lógica fuzzy para a produção de um substrato específico para a alface. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.11, n.3, p.65-75.



Direitos do Autor. A Revista Brasileira de Meio Ambiente utiliza a licença *Creative Commons - CC BY 4.0*.

Use of fuzzy logic to produce a specific substrate for lettuce

ABSTRACT

Faced with the challenges of national horticulture, which needs to reduce production losses resulting from environmental problems, such as excessive rain, low temperatures, in addition to planting in soils considered poor, this work proposes to develop a Fuzzy set that can optimize the percentages of use in the production of a substrate with sand, earth and bovine organic compost. The Fuzzy model was elaborated based on experimental field data. For each variable, Fuzzy sets were assigned that characterized them along with their membership functions. The input variables were sand, earth and organic compost with a range of [0 to 40], in percentage and the output variable emergence speed index with a range of [0 to 2%]. The interpretation of the use of fuzzy logic in this experiment using real field data managed to optimize the best proportions of the use of sand, earth and organic compost for the production of a specific substrate for lettuce. Being used 20% for each raw material, obtaining 1% in the index of speed of emergence. This model developed with fuzzy logic allowed estimating the best conditions for the emergence speed index using sand, earth and organic compost for the germination and emergence of lettuce, since it can optimize the best proportions of use of raw materials, so that do not affect the external environment for the seed.

Keywords: Sand. Organic compost. *Lactuca sativa*. Fuzzy logic. Earth.

1. Introdução

A mudança nos processos produtivos de alimentos é considerada constante e maior com as mudanças climáticas ocorridas nos últimos anos, diante disso a aplicação de novas técnicas e tecnologias é fundamental, pois os produtores visam aumento de produtividade e melhores resultados econômico-financeiros (Godinho et al., 2019).

Essas tecnologias estão sendo relacionadas desde o planejamento do plantio ao beneficiamento das sementes (Caneppele et al., 2020). Principalmente quando se fala em hortaliças, pois, a semeadura é um dos momentos mais importantes para se obter melhores respostas em produtividade (Freitas et al., 2013).

Cada vez mais os pesquisadores acadêmicos e de empresas estão estudando sobre o Índice de Velocidade de Emergência IVE, um dos indicadores de maior representatividade em uma produção, apresentando dados em porcentagem de germinação de sementes tanto em solo (campo), como em bandejas e laboratorial (Moura et al. (2017). Mas para que se possa obter melhores respostas quanto ao IVE, a utilização de substrato de qualidade e com melhor indicação é fundamental (Santos Cabral et al., 2016).

Substratos são acomodações de sementes e mudas que disponibilizam nutrientes, água e um local apto para o desenvolvimento inicial das plântulas (Ferreira; Souza & Santos, 2014). Os melhores substratos devem apresentar, dentre outras importantes características, fácil disponibilidade de aquisição e transporte, ausência de patógenos, riqueza em nutrientes essenciais, pH adequado, boa textura e estrutura (Boldt, 2014).

Os substratos podem ser formados por diversas matérias-primas como areia, terra, composto orgânico dos diversos estilos (animal, vegetal, agroindústria) (Araújo et al., 2017). Para cada matéria-prima utilizada em um substrato tem uma função determinada, como por exemplo, a areia tem como função principal a maior disponibilidade de oxigenação para as raízes (Ribelatto et al., 2017), a terra quando argilosa tem a maior disponibilidade de liberação de alguns nutrientes específicos e o composto orgânico a liberação de matéria orgânica (microorganismos) no solo (Godinho e Caneppele, 2019). Por isso, saber quais a quantidade utilizada em uma amostra é fundamental.

Dessa maneira, a Lógica Fuzzy apresenta um método eficiente que aplica cálculos matemáticos e Inteligência Artificial para otimizar o processo produtivo. A teoria dos conjuntos Fuzzy é uma ferramenta que trata as incertezas, em casos nos quais há falta de informações como uma estrutura completa (Godoy et al., 2020). Esta teoria já é aplicada no agronegócio em geral, como na produção animal, em grandes culturas como a soja, milho, nas energias renováveis etc. (Godoy et al., 2020, Caneppele et al., 2021).

Diante dos desafios da olericultura nacional, que precisa reduzir perdas produtivas decorrentes aos problemas dos meios externos e internos, este trabalho propõe um desenvolver um conjunto Fuzzy que possa otimizar as porcentagens de uso na produção de um substrato com areia, terra e composto orgânico bovino na cultura da alface.

2. Material e Métodos

O modelo Fuzzy do IVE desenvolvido considerou importantes sobre a produção de um modelo específico de substrato para a germinação e emergências das sementes e plântulas, respectivamente. Essa experimentação foi agrupada neste trabalho em torno de três considerações: 1) o IVE que é um fator importante para mensurar o arranque inicial de uma plântula; 2) uma planta quando tem um bom desenvolvimento inicial, ela pode utilizar suas reservas de energia para utilizar em momentos de estresse da própria planta, e 3) uma planta bem nutrida inicialmente é um excelente indicador de alta produtividade (Gabriel Filho et al., 2022).

2.1. Desenvolvimento do modelo Fuzzy

O modelo Fuzzy foi elaborado com base em dados experimentais a partir de leituras de artigos científicos publicados na área. Para cada variável, foram atribuídos conjuntos Fuzzy que as caracterizaram juntamente com suas funções de pertinência. Neste trabalho, foram utilizadas como variáveis de entrada, a areia (A, %), chamada porcentagem 1 [0 a 20 %], porcentagem 2 [10 a 30 %] e porcentagem 3 [20 a 40 %], a terra (T, %), chamada porcentagem 1 [0 a 20 %], porcentagem 2 [10 a 30 %] e porcentagem 3 [20 a 40 %], e a compostagem bovina (CO, %), chamada porcentagem 1 [0 a 20 %], porcentagem 2 [10 a 30 %] e porcentagem 3 [20 a 40 %], que foram classificadas em baixa [0 a 20%], média [10 a 30%] e alta [20 a 40%] (Cremasco et al., 2010; Godinho & Caneppele, 2022; Godinho et al., 2022. Godinho, Caneppele & Freitas, 2022; Godinho, Caneppele & Hasan 2022), conforme as Tabelas 1, 2 e 3, e Figuras 1, 2 e 3.

Tabela 1 – Conjuntos fuzzy para a variável de entrada (Areia)

Table 1 – Fuzzy sets for the input variable (Sand)

Areia	GP	ICFuzzy	Dados dos níveis específicos do experimento de campo
A1	Baixa	[0,0 1,0 2,0]	Substrato com menos de 20% de areia
A2	Média	[1,0 2,0 3,0]	Substrato com 20 e 30% de areia
A3	Alta	[2,0 3,0 4,0]	Substrato com 30 e 40% de areia

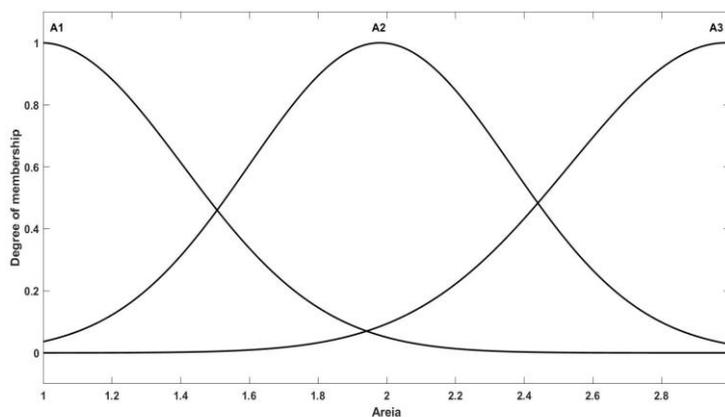
GP: Grau de Pertinência. ICFuzzy: Índice de concentração Fuzzy.

Fonte: Dados dos autores (2021).

Source: Authors' data (2021).

Figura 1 – Curva de permanência da variável de entrada da lógica fuzzy de areia

Figure 1 – Permanence curve of the fuzzy logic input variable (sand)



Fonte: Dados dos autores (2021).

Source: Authors' data (2021).

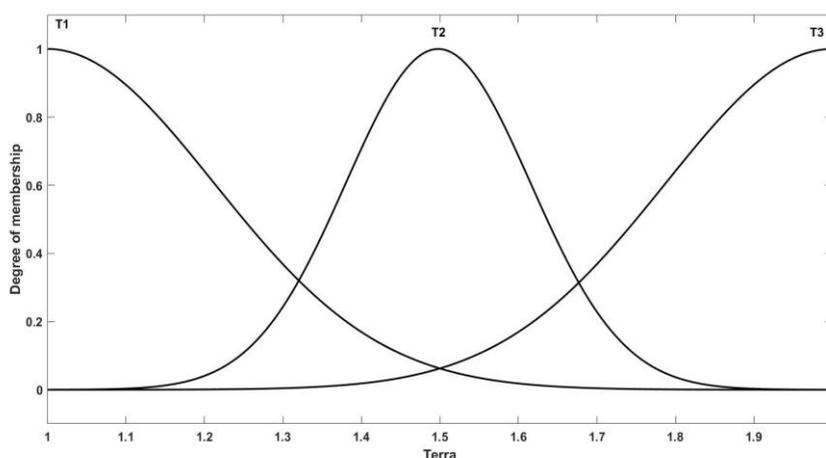
Tabela 2 – Conjuntos fuzzy para a variável de entrada (Terra)
 Table 2 – Fuzzy sets for the input variable (Soil)

Terra	GP	ICFuzzy	Dados dos níveis específicos do experimento de campo
T1	Baixa	[0,5 1,0 1,5]	Substrato com menos de 20% de terra
T2	Média	[1,0 1,5 2,0]	Substrato com 20 e 30% de terra
T3	Alta	[1,5 2,0 2,5]	Substrato com 30 e 40% de terra

GP: Grau de Pertinência. ICFuzzy: Índice de concentração Fuzzy.

Fonte: Dados dos autores (2021).
 Source: Authors' data (2021).

Figura 2 – Curva de permanência da variável de entrada da lógica fuzzy de terra
 Figure 2 – Permanence curve of the fuzzy logic input variable (Soil)



Fonte: Dados dos autores (2021).
 Source: Authors' data (2021).

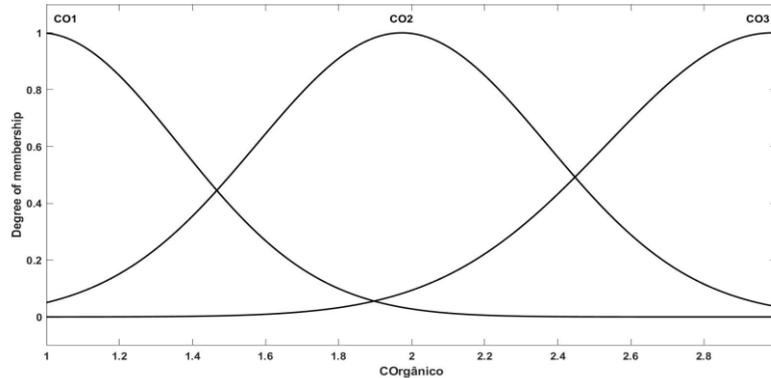
Tabela 3 – Conjuntos fuzzy para a variável de entrada (Composto orgânico)
 Table 3 – Fuzzy sets for the input variable (Organic compost)

CO	GP	ICFuzzy	Dados dos níveis específicos do experimento de campo
CO1	Baixa	[0,0 1,0 2,0]	Substrato com menos de 20% de composto orgânico
CO2	Média	[1,0 2,0 3,0]	Substrato com 20 e 30% de composto orgânico
CO3	Alta	[2,0 3,0 4,0]	Substrato com 30 e 40% de composto orgânico

GP: Grau de Pertinência. ICFuzzy: Índice de concentração Fuzzy.

Fonte: Dados dos autores (2021).
 Source: Authors' data (2021).

Figura 3 – Curva de permanência da variável de entrada da lógica fuzzy do composto orgânico
 Figure 3 – Permanence curve of the fuzzy logic input variable (Organic compost)



Fonte: Dados dos autores (2021)
 Source: Authors' data (2021).

Os graus de pertinência e suas curvas para a variável de saída (IVE) (Tabela 4 e Figura 4) foram desenvolvidas com base nos resultados do experimento real de campo, do IVE da alface em bandejas de isopor, que forneceu as informações a respeito das respostas produtivas até o 15° dia após a semeadura.

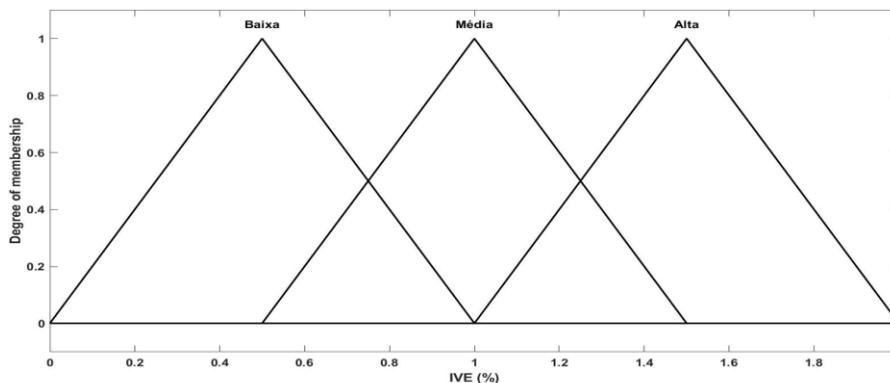
Tabela 4 – Conjuntos fuzzy para a variável de saída (índice de velocidade de emergência)
 Table 4 – Fuzzy sets for the output variable (emergence speed index)

IVE	GP	ICFuzzy	Dados dos níveis específicos do experimento de campo
IVE1	Baixa	[0,0 0,5 1,0]	No campo, o IVE pode não ter ocorrido, ou seja, 0 até 1,0%
IVE2	Média	[0,5 1,0 1,5]	No campo, o IVE de 0,5% até 1,5%
IVE3	Alta	[1,0 1,5 2,0]	No campo, o IVE de 1,0% a 2,0%

GP: Grau de Pertinência. ICFuzzy: Índice de concentração Fuzzy.

Fonte: Dados dos autores (2021).
 Source: Authors' data (2021).

Figura 4 – Curva de permanência da variável de saída da lógica fuzzy do índice de velocidade de emergência
 Figure 4 – Permanence curve of the fuzzy logic output variable (emergence speed index)



Fonte: Dados dos autores (2021)
 Source: Authors' data (2021).

O método de inferência utilizado foi o de Mamdani, que também foi utilizado por Caneppele et al. (2021) e Godoy et al. (2020). Esse método traz como resposta um conjunto Fuzzy originado da combinação dos valores de entrada com os seus respectivos graus de pertinência, por meio do operador mínimo e, em seguida, pela superposição das regras pelo operador máximo.

A defuzificação realizou a tradução do valor linguístico em valor numérico, que foi feita utilizando-se do método do Centro de Gravidade, que considera todas as possibilidades de saída, transformando o conjunto fuzzy, originado pela inferência, em valor numérico, conforme proposto por (Góes et al., 2020).

O sistema foi baseado em regras difusas de computador foi estabelecido pela Fuzzy Logic Toolbox de MATLAB® 2022b, acoplado à superfície e do mapa de contorno. Salienta-se que o software utilizado tem a licença pelo grupo de pesquisa AGROENERBIO - Energia e simulação na engenharia de biosistemas e no agronegócio que fica na USP/FZEA em Pirassununga SP.

A base de regras descrita na Tabela 5 foi composta por uma correlação de proposições Fuzzy, apresentadas na forma SE-E-ENTÃO, tendo sido elaborada a partir de informações das Tabelas de 1 a 4 e com os resultados reais obtidos a campo.

2.2 Validação do modelo Fuzzy

O experimento de campo foi realizado em uma casa de vegetação do tipo sombrite 50% de luminosidade no Colégio Agrícola Estadual de Toledo (CAET), com Altitude de 240 m, latitude 24° 47' 16" e longitude 53° 43' 29", na região sul do Brasil, no município de Toledo - PR, no período de abril a maio de 2018. Avaliando o IVE da alface americana cv. Delícia. Utilizando areia, terra e compostagem bovina seca, na proporção de 30%; 30% e 40%, respectivamente em triplicata.

Tabela 5 – Sistema de regras da inferência Fuzzy para as características de entrada para areia (A), terra (T) e composto orgânico (CO) e de saída índice de velocidade de emergência (IVE)

Table 5 – Fuzzy inference rule system for input characteristics for sand (A), soil (T) and Organic compost (CO) and output emergence speed index (IVE)

Cruzamento das variáveis				
	Areia (%)	Terra (%)	CO (%)	IVE (%)
1	B	B	B	B
2	B	B	M	B
3	B	B	A	M
4	B	M	B	B
5	B	M	M	M
6	B	M	A	M
7	B	A	B	B
8	B	A	M	M
9	B	A	A	A
1	M	B	B	B
2	M	B	M	M
3	M	B	A	M
4	M	M	B	B

5	M	M	M	M
6	M	M	A	M
7	M	A	B	M
8	M	A	M	M
9	M	A	A	A
1	A	B	B	B
2	A	B	M	M
3	A	B	A	A
4	A	M	B	M
5	A	M	M	M
6	A	M	A	A
7	A	A	B	M
8	A	A	M	A
9	A	A	A	A

Fonte: Dados dos autores (2021)
 Source: Authors' data (2021).

A Tabela 5, apresenta as regras básicas do sistema, onde foi elaborado a partir de dados linguísticos da lógica Fuzzy. Sendo:

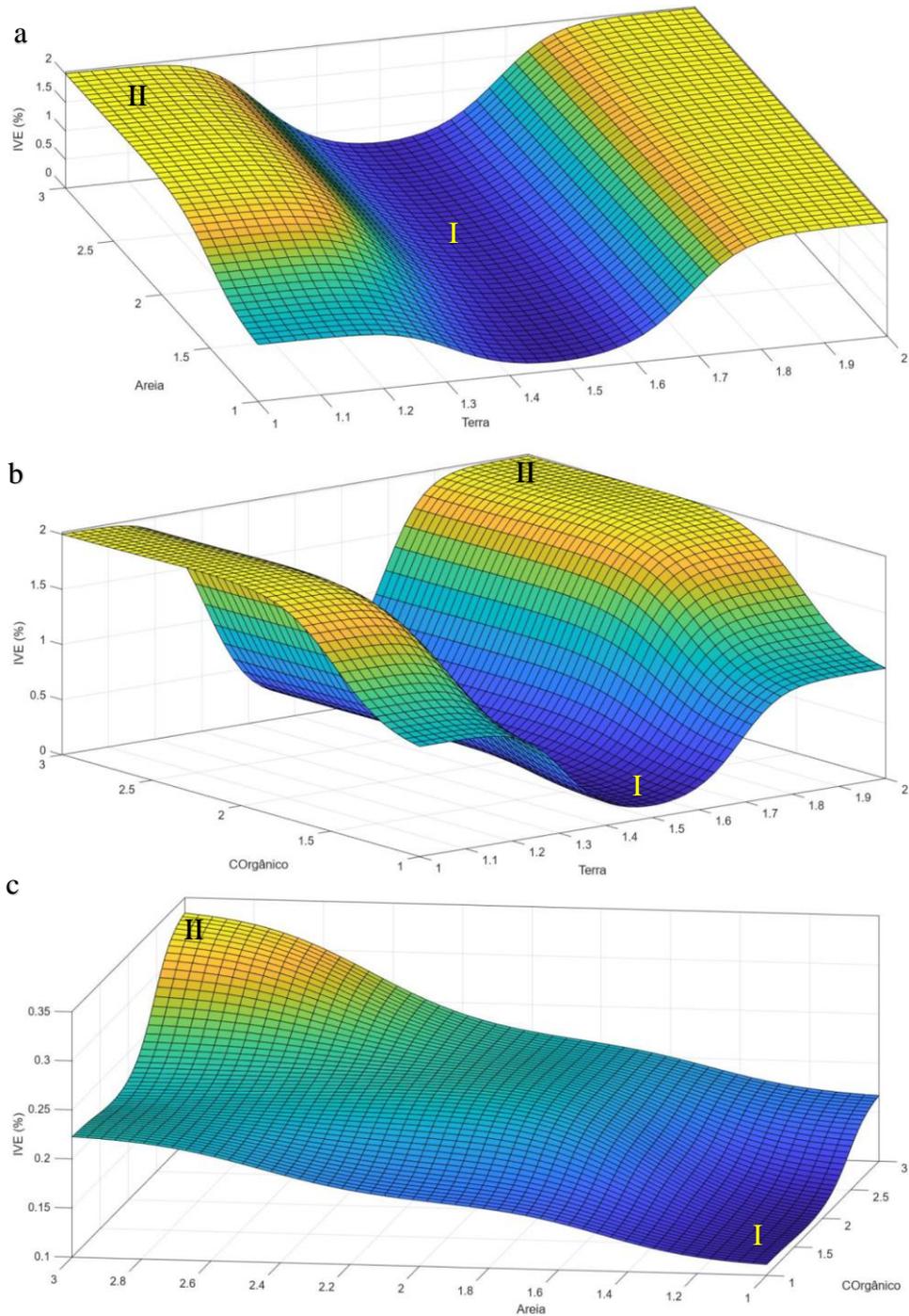
- Se (areia é “B”) (terra é “B”) (composto orgânico é “B”) então (IVE é “B”);
- Se (areia é “B”) (terra é “B”) (composto orgânico é “M”) então (IVE é “B”);
- Se (areia é “B”) (terra é “B”) (composto orgânico é “A”) então (IVE é “M”);
- Se (areia é “B”) (terra é “M”) (composto orgânico é “B”) então (IVE é “B”);
- Se (areia é “B”) (terra é “M”) (composto orgânico é “M”) então (IVE é “M”);
- Se (areia é “B”) (terra é “M”) (composto orgânico é “A”) então (IVE é “M”);
- Se (areia é “B”) (terra é “A”) (composto orgânico é “B”) então (IVE é “B”);
- Se (areia é “B”) (terra é “A”) (composto orgânico é “M”) então (IVE é “M”);
- Se (areia é “B”) (terra é “A”) (composto orgânico é “A”) então (IVE é “A”);
- As outras linhas são interpretadas de forma análoga.

3. Resultados e Discussão

A partir do modelo desenvolvido, foi possível preparar superfícies de respostas para o índice de velocidade de emergência e seus mapas de contorno para verificar a real inferência da areia, da terra e do composto orgânico. O modelo baseado em regras Fuzzy verificou todas as combinações entre as variáveis, sendo 3 níveis (B; M; A) com 3 variáveis de entrada (areia, terra e composto orgânico) criando assim, uma base de regras com 27 combinações, sendo $3 \times 3 \times 3$, ou 3^3 .

Com isso, foi desenvolvido o modelo de superfície de resposta difusa na Figura 5.

Figura 5 – Modelo de superfície de resposta do índice de velocidade de emergência da alface em resposta ao uso de areia, terra e composto orgânico como substrato
Figure 5 – Response surface model of emergence speed index of lettuce in response to the use of sand, soil and Organic compost as substrate



Fonte: Dados dos autores (2021).
Source: Authors' data (2021).

Neste estudo, foi observada uma forte relação entre a porcentagem no uso de areia e terra no substrato determinando o índice de velocidade de emergência da alface. Em outras palavras, a alface responde bem no arranque e emergência da semente em um plantio em bandejas, conforme a apresentada na Figura 5a, 5b e 5c.

De acordo com (Godinho et al., 2019), as plantas cultivadas em substratos adequados e menos vulneráveis às condições adversas do meio, assim sendo sua emergência será mais rápida e sem estar suscetível a doenças.

As regiões I ilustradas nas Figuras (5a, 5b e 5c) representam condições de índice de velocidade de emergência desfavoráveis, devido à baixa porcentagem no uso de terra, areia e composto orgânico, isto decorre porque altas taxas de matéria orgânica no meio pode causar danos na semente com aumento de patógenos do solo e baixas taxas de composto orgânico pode não melhorar a disponibilização de nutrientes suficientes para um bom arranque nas plântulas (Ishizuka et al., 2020).

Por outro lado, as regiões II são caracterizadas por serem uma área que apresentam os melhores resultados para o índice de velocidade de emergência com dosagens adequadas de areia, terra e composto orgânico no substrato para a germinação e emergência de sementes de alface. (Crusciol et al., 2003) afirmam que um bom Índice de Velocidade de Germinação (IVG) deve possuir um bom potencial de germinação da semente e um substrato que contenha proporções ideais de areia, terra e composto orgânico.

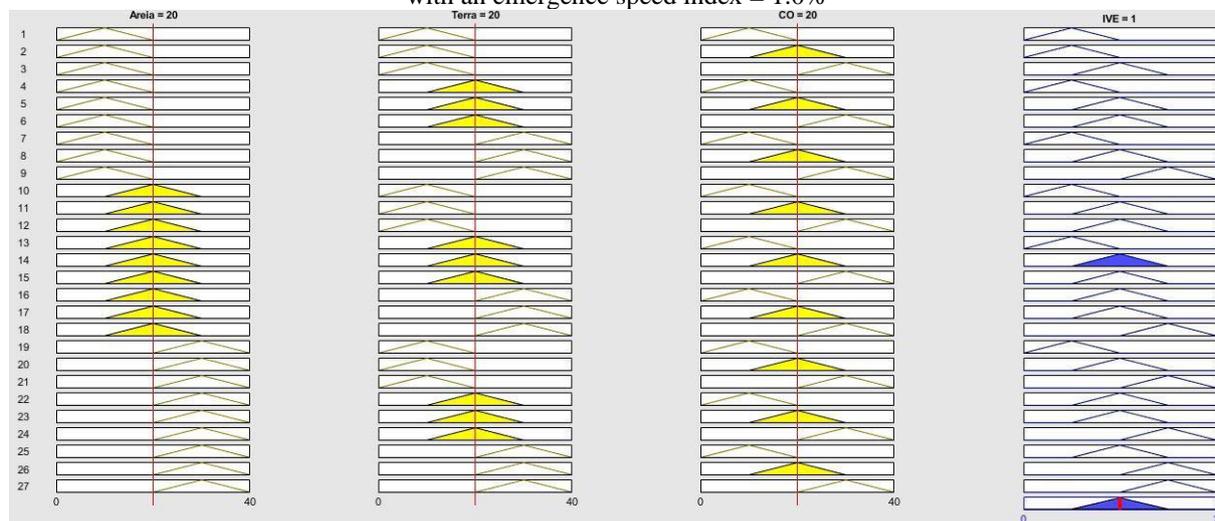
De acordo com (Medeiros et al., 2007) plantas cultivadas em substratos com baixas taxas de areia e terra tendem a emergir lentamente e utilizar seus recursos de reservas para poder germinar e fixar suas raízes no solo.

(Fernandes; Corá; Braz, 2006) reforçam que quanto maior proporção de partículas pequenas em um substrato menor o IVE de sementes, isto porque dificulta a absorção de água nos primeiros dias após a semeadura, além de poder prejudicar a aeração das raízes após a quebra da tensão superficial.

A Figura 6 simula o sistema com base em regras difusas para as dosagens de areia, terra e composto orgânico em um substrato para avaliar o IVE da alface produzida em um ambiente telado.

Figura 6 – Método de inferência de Mamdani para o uso da areia = 20% com 20% de terra e 20% de composto orgânico, com um índice de velocidade de emergência = 1,0%

Figure 6 – Mamdani inference method for the use of sand = 20% with 20% soil and 20% organic compost, with an emergence speed index = 1.0%



Fonte: Dados dos autores (2021).
Source: Authors' data (2021).

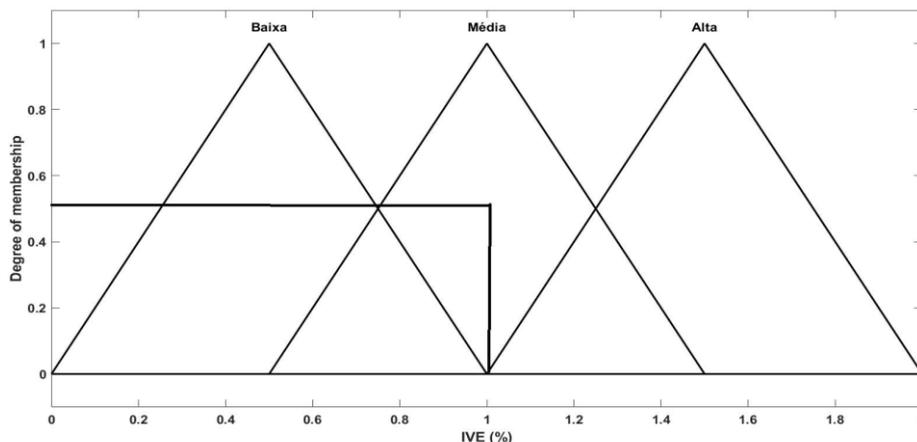
O ponto encontrado está dentro de uma condição ótima para um índice de velocidade de emergência para a produção de plântulas de alface. Existem inúmeros substratos no mercado e com diversas constituições

que são usados atualmente para propagação de espécies, via sementes ou vegetativamente (Rockenbach; Santos; Godinho, 2018). (De Paula da Silva et al., 2015) reforçam que um substrato deve possuir características físicas e químicas direcionadas para a cultura, além de ser de baixo custo e facilidade de disponibilidade de uso. Entretanto, (Maldonado, 2014) cita que é difícil encontrar um substrato ideal para cada cultura, por isso é importante o produtor conhecer bem sua cultura a plantar e quais são as suas principais necessidades nutricionais para que ele possa ter altas produtividades a baixo custo.

Quando os graus analisados da associação da variável saída são analisados, percebe-se que o ponto possui maior grau de pertinência dentro do conjunto difuso, como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Método de inferência de Mamdani para o uso da areia = 20% com 20% de terra e 20% de composto orgânico, com um índice de velocidade de emergência = 1,0%

Figure 7 – Mamdani inference method for the use of sand = 20% with 20% soil and 20% organic compost, with an emergence speed index = 1.0%



Fonte: Dados dos autores (2021).
Source: Authors' data (2021).

A Figura 7, apresenta o resultado na utilização do método de inferência de Mamdani para a produção de um substrato específico utilizando areia, terra e composto orgânico em proporção adequada para uma melhor germinação e emergência de sementes de alface. Onde, constatou que a melhor proporção do uso dessas matérias-primas é 20% para ambas (areia, terra e composto orgânico), neste caso utilizando o composto orgânico bovino.

Para uma germinação, emergência e um melhor desenvolvimento no transplântio de mudas, os substratos de conter dosagens específicas de origem mineral, orgânico e sintético (Cansesin; Barbosa, 2017), reforçando que não existe um material ou mistura específica para cada cultura ou até para cada cultivar/variedade (Silva et al., 2007). Por isso, a otimização de processos pode suprir a falta de dados para obtenção de produção de campo.

4. Conclusão

A interpretação do uso da lógica fuzzy neste experimento utilizando dados reais de campo conseguiu otimizar as melhores proporções do uso de areia, terra e composto orgânico para a produção de um substrato específico para a alface. Sendo utilizado 20% para cada matéria-prima, obtendo 1% no índice de velocidade de emergência.

Este modelo desenvolvido com a lógica Fuzzy permitiu estimar quais as melhores condições de índice de velocidade de emergência utilizando areia, terra e composto orgânico para a germinação e emergência da

alface, pois pode otimizar as melhores proporções de uso das matérias-primas, para que não venha afetar o meio externo para a semente.

5. Agradecimentos

Ao grupo de pesquisa AGROENERBIO por disponibilizar sua licença do software para o desenvolvimento da modelagem matemática.

6. Referências

Araújo, M. S., Almeida, P. S., Ribeiro, D. C., & Lira, T. S. (2017, julho). Análise computacional da segregação de uma mistura de casca de cacau e areia em um leito de jorro aplicado à pirolise de biomassa. **Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**, São Carlos, SP, 5.

Boldt, R. H. (2014). **Formação de mudas e produção de rúcula em função dos substratos**. Dissertação de mestrado, Produção Vegetal, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, AC, 40, Brasil.

Caneppele, F. L., Godinho, E. Z., Zuin, L. F. S., & Filho, L. R. A. G. (2021). Aplicação da lógica fuzzy no desenvolvimento do morango no Oeste do Paraná. **Revista Sodebras**, 16(184), 6-9.

Caneppele, F. L., Godinho, E. Z., Dalti, R. S., Gasparo, H. V., & Zuin, L. F. S. (2020). Cogeração De Energia Em Usina Sucroalcooleiras Almejando Sustentabilidade. **Expressa Extensão**, 25(3), 45–59.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2020). Feijão - Análise mensal. **Análise de mercado**. Brasília, DF.

Cremasco, C. P., Filho, L. R. A. G., & Cataneo, A. (2010). Metodologia de determinação de funções de pertinência de controladores fuzzy para a avaliação energética de empresas de avicultura de postura. **Revista Energia na Agricultura**, 25(1), 21–39.

Crusciol, C. A. C., Lima, E. D., Andreotti, M., Nakagawa, J., Lemos, L. B., & Marubayashi, O. M. (2003). Efeito do nitrogênio sobre a qualidade fisiológica, produtividade e características de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, 25(1), 108–115.

Freitas, G. A., Silva, R. R., Barros, H. B., Vaz-de-Melo, A., & Abrahão, W. A. P. (2013). Produção de mudas de alface em função de diferentes combinações de substratos. **Revista Ciência Agronômica**, 44(1), 159–166.

Fernandes, C., Corá, J. E., & Braz, L. T. (2006). Alterações nas propriedades físicas de substratos para cultivo de tomate cereja, em função de sua reutilização. **Horticultura Brasileira**, 24(1), 94–98.

Ferreira, M. M. A. A. S., Souza, G. S., & Santos, A. R. (2014). Produção de mudas de rúcula em diferentes substratos cultivadas sob malhas coloridas. **Centro Científico Conhecer**, 10(18), 2429–2440.

Gabriel Filho, L. R. A., Silva Junior, J. F., Cremasco, C. P., Souza, A. V., & Putti, F. F. (2022). Fuzzy modeling of salinity effects on pumpkin (*Cucurbita pepo*) development. **Engenharia Agrícola**, 42, e20200150.

Godinho, E. Z., & Caneppele, F. L. (2019). Efeito da nutrição. **Revista Cultivar - grandes culturas**, 1(241), 20–23.

- Godinho, E. Z., & Caneppele, F. L. (2022). Fuzzy system in a ferrous sulfate pre-treatment of elephant grass. **Pesquisa Agropecuária Tropical** (Online), 52, e70483.
- Godinho, E. Z., Caneppele, F. L., & Freitas, B. S. V. (2022). Modelagem fuzzy na produção de bioetanol de capim-elefante. **Revista Geama** (ONLINE), 8, 51-56.
- Godinho, E. Z., Caneppele, F. L., & Hasan, S. D. M. (2022). Lógica fuzzy aplicada na produtividade da cenoura. **SODEBRÁS**, 17, 62-69.
- Godinho, E. Z., Rockenbach, B., & Santos, A. K. O. (2019). Exigência nutricional da beterraba. **Revista Cultivar - hortaliças e frutas**, 1(114), 16–18.
- Godoy, F. O., Godinho, E. Z., Daltin, R. S., & Caneppele, F. L. (2020) Utilização da lógica fuzzy aplicada à energia solar. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, 37(2), e26663, 1–9.
- Góes, B. C., Góes, R. J., Cremasco, C. P., & Gabriel Filho, L. R. A. (2020). Método de utilização do Fuzzy Logic Toolbox do software MATLAB para modelagem matemática de variáveis biométricas e nutricionais da cultura da soja. **Society and Development**, 53(9), 1689–1699.
- Ishizuka, M. S., Castro, R. R. L., Moraes, M. H. D., & Menten, J. O. M. (2020). Effect of chemical and biological seed treatments on common bean seeds inoculated with *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*. **Arquivos do Instituto Biológico**, 87.
- Maldonade, I. R., Mattos, L. M., & Moretti, C. L. (2014). **Manual de boas práticas agrícolas na produção de alface**. Brasília, DF, Embrapa, 44.
- Medeiros, D. C., Lima, B. A. B., Barbosa, M.R., Anjos, R. S. B., Borges, R.D., Cavalcante Neto, J. G., & Marques, L. F. (2007). Produção de mudas de alface com biofertilizantes e substratos. **Horticultura Brasileira**, 25(3), 433–436.
- Moura, M. DA C. F., Lima, L. K. S., Santos, C. C., & Dutra, A. S. (2017). Teste da condutividade elétrica na avaliação fisiológica em sementes de *Vigna unguiculata*. **Revista de Ciências Agrárias**, 40(4), 714–721.
- Ribelatto, P. J. C., Taubinger, L., Ben, T. J., Vicensi, M., & Pott, C. A. (2017). Caracterização da Densidade Máxima do solo da Região Centro Oeste do Paraná. **Investigación Agraria**, 19 (1), 49–55.
- Rockenbach, B., Santos, A. K. O., & Godinho, E. Z. (2018, junho). Análise do índice de velocidade de emergência no plantio de sementes de alface em bandejas com dois substratos comerciais. **Anais da 12ª Semana Acadêmica de Agronomia**. Cascavel, PR, Brasil, 52-54.
- Santos Cabral, M. M., Abud, A. K. S., Silva, C. E. F., & Almeida, R. M. R. G. (2016). Bioethanol production from coconut husk fiber. **Ciência Rural**, 46(10), 1872–1877.
- Silva, K. B., Alves, E. U., Bruno, R. L. A., Gonçalves, E. P., de França, P. R. C., do Nascimento, I. L., & de Lima, C. R. (2007). Substratos para Germinação e Vigor em Sementes de *Crataeva tapia* L. **Revista Brasileira de Biociências**, 5(2), 111–113.