

APLICABILIDADE DA LÓGICA FUZZY NOS INDICADORES DE PRODUTIVIDADE DA BETERRA

Emmanuel Zullo Godinho (Colégio Agrícola Estadual Adroaldo Augusto Colombo) E-mail:

profemmanuelzullo@gmail.com

Fernando de Lima Caneppele (USP) E-mail: caneppele@usp.br

Salah Din Mahmud Hasan E-mail: salahdmh@gmail.com

Resumo: A beterraba, como qualquer cultura que o produtor almeja aumento de produtividade exige dosagens de nutrientes específicos, por isso o produtor necessita utilizar um programa de adubação equilibrada. Com isso, a modelagem matemática se torna um método eficiente e eficaz para otimizar processos produtivos agrícolas, nesta situação a lógica *fuzzy* é apresentada como um método eficiente para esta otimização. Por isso, foi desenvolvido um sistema baseado em regras da lógica *fuzzy*, buscando obter as melhores dosagens para a aplicação de bioestimulante na folha ou na raiz da beterraba, avaliando peso de planta, massa fresca de planta e massa seca de planta. Os melhores resultados encontrados para os indicadores de produtividade da beterraba são aqueles que apresenta dosagens de 5 mL 10 kg⁻¹ na raiz ou 163 mL 200 L⁻¹ na folha, resultando um peso de 265,0 g, MFPA de 181,0 g e MSPA de 0,0675 g.

Palavras-chave: *Beta vulgares*, Bioestimulantes, Peso de planta, Massa fresca de parte aérea, Massa seca de parte aérea.

APPLICABILITY OF FUZZY LOGIC IN BETERRA PRODUCTIVITY INDICATORS

Abstract: Beetroot, like any crop in which the producer aims to increase productivity, requires specific nutrient dosages, so the producer needs to use a balanced fertilization program. With that, the mathematical modeling becomes an efficient and effective method to optimize agricultural production processes, in this situation the fuzzy logic is presented as an efficient method for this optimization. Therefore, a system based on fuzzy logic rules was developed, seeking to obtain the best dosages for the application of biostimulant in the leaf or root of the beet, evaluating plant weight, plant fresh mass and plant dry mass. The best results found for beet productivity indicators are those that present dosages of 5 mL 10 kg⁻¹ in the root or 163 mL 200 L⁻¹ in the leaf, resulting in a weight of 265.0 g, MFPA of 181.0 g and 0.0675 g MSPA.

Keywords: *Beta vulgaris*, Biostimulants, Plant weight, Fresh mass of shoots, Dry mass of shoots.

1. Introdução

A beterraba está presente no campo de Norte a Sul do Brasil, com as maiores áreas plantadas nas regiões Sul com 42% e Sudeste 35%, com aproximadamente 101 mil propriedades que produzem esta planta tuberosa (HORTIFRUTIBRASIL, 2020). O estado de São Paulo, possui uma área cultivada aproximada de 7.500 hectares (ha), com uma produção média de 250 mil toneladas, sendo 39 toneladas por hectare (t/ha) (SANTOS et al., 2020).

Caracterizada como uma planta tuberosa, a beterraba possui um sistema de armazenamento de energia em forma de tubérculos (MARCUIZZO et al., 2020). O manejo cultural principalmente quando busca altas produtividades, um manejo que o produtor deve observar atentamente é fertilidade do solo, pois baixa fertilidade tem como consequência falta de disponibilidade nutricional para a planta, reduzindo assim sua produtividade (MARCUIZZO et al., 2021).

Por ser uma cultura bastante exigente em nutrientes, o produtor necessita utilizar um

programa de adubação equilibrada, com isso, as raízes absorver nutrientes do solo e disponibilizar para outros órgãos importantes da planta (NEVES et al., 2021). Contudo, estas absorções em relação a extração de nutrientes pela planta devem estar intimamente ligadas, por isso os cálculos matemáticos são fundamentais (SILVA et al., 2017).

A modelagem matemática é um método utilizado para otimizar processos produtivos industriais, econômicos, agrícolas, Godinho & Caneppele (2021) destacam que um método eficiente é a aplicabilidade da lógica *fuzzy*. Caneppele et al. (2021), também apresenta a lógica difusa ou nebulosa, como uma metodologia importante, pois um dos benefícios é que ela trabalha com algoritmos e transcrevem uma seção do raciocínio humano.

Godinho et al. (2021a) e Godinho et al. (2021b) descrevem que este método é operacionalizado por um programa baseado em um sistema de regras *fuzzy*, onde se aplica a matemática a conceitos difusos desenvolvido por Lotfi Asker Zadeh em 1965 e tenta abordar o raciocínio humano por meio de conjuntos, também descritos por variáveis linguísticas.

Diversas são as aplicações da lógica *fuzzy*, principalmente no agronegócio, desde a produção de sementes a mapeamento de produtividades agrícolas. Por isso, desenvolveu-se um sistema baseado em regras difusas, otimizando um processo de aplicação de bioestimulante na folha e na raiz da beterraba.

2. Material e Métodos

O artigo foi baseado em um experimento conduzido no Colégio Agrícola de Toledo, no município de Toledo, Estado do Paraná, de Latitude Sul 24°47'16" e Longitude Oeste 53°43'29" (GODINHO et al., 2020) de onde foram retirados os dados experimentais para modelagem da lógica *fuzzy*.

Foi desenvolvido um sistema baseado nas regras da lógica *fuzzy*, onde buscou-se qual a estrutura melhor se adapta a aplicação de bioestimulante na beterraba. Criou-se um processador de entrada (*fuzzificador*), um conjunto de regras linguísticas, um método de inferência *fuzzy* e um processador de saída (*defuzzificador*). A Figura 1 ilustra o sistema proposto com base em regras *fuzzy*.

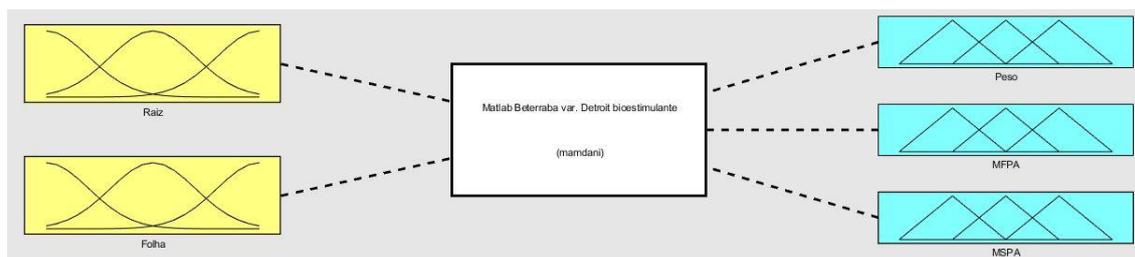


Figura 1 – Sistema baseado em regras *fuzzy* para a otimização do processo de aplicação de bioestimulante na beterraba

Existem diversas formas associadas as funções de pertinências que podem ser utilizadas para os dados de entrada, ou input e os dados de saída output. Conforme Godinho et al. (2019) a forma mais comum é a triangular, entretanto o modelo utilizado depende muito da preferência e experiência do projetista.

As funções de pertinência triangulares são caracterizadas por uma operacionalização simples utilizando siglas, podendo ser *a*, *b* e *c*. Sendo, o intervalo de *a* e *c* aplicados a valores diferentes de zero, e *b* é o ponto onde a função de pertinência é máxima.

Com isso, foi definido as principais funções de pertinência para a Raiz e a Folha para o processo de aplicação de bioestimulante na beterraba. Desenvolveu-se duas variáveis de entrada (Folha e Raiz) e, para cada entrada 4 graus de adesão, sendo para Raiz – Raiz1, Raiz2, Raiz3 e Raiz4, para a Folha – Folha1, Folha2, Folha3 e Folha4. Os graus de pertinências para a ambas as variáveis de entrada é apresentado na Tabela 1 e nas Figuras 2 e 3.

Tabela 1 – Definições dos graus de pertinência para as variáveis de entrada – Raiz e Folha

Tipo	Raiz	Folha
Triangular	Raiz1 – [0 2 4]	Folha1 – [100 125 150]
Triangular	Raiz2 – [2 4 6]	Folha2 – [125 150 175]
Triangular	Raiz3 – [4 6 8]	Folha3 – [150 175 200]
Triangular	Raiz4 – [6 8 10]	Folha4 – [175 200 225]

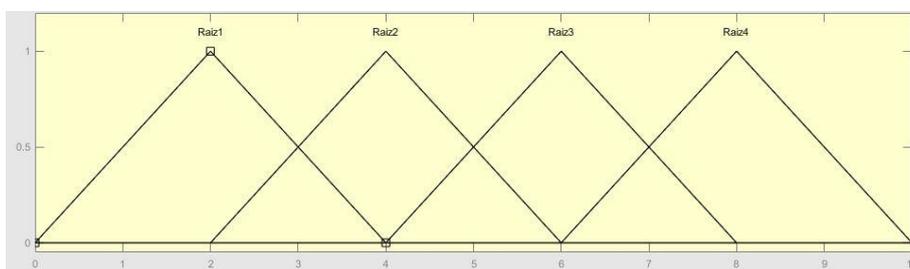


Figura 2 – Grau de associação para conjuntos difusos da variável da entrada – Raiz

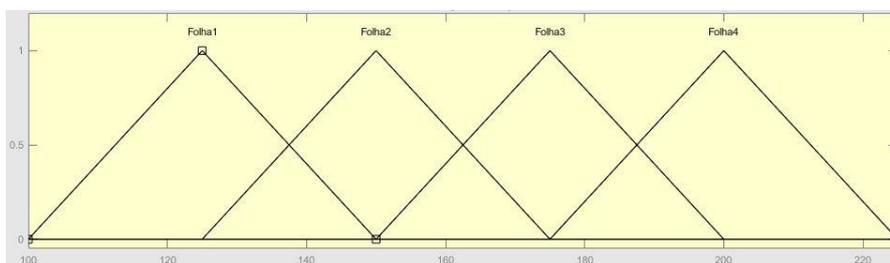


Figura 3 – Grau de associação para conjuntos difusos da variável da entrada - Folha

As variáveis de saída foram chamadas de Peso de planta (Peso), Massa fresca de parte aérea (MFPA) e Massa seca de parte aérea (MSPA), gerando assim números reais de cada variável. Sendo Peso [250 280], MFPA [179 185] e MSPA [0,055 0,085]. Com isso, para cada variável foi desenvolvido os seus graus de pertinência, sendo: Peso – P1 a P5, MFPA – MFPA1 a MFPA5 e MSPA – MSPA1 a MSPA5, conforme a Tabela 2 e a Figuras 4, 5 e 6.

Tabela 2 – Definições dos graus de pertinência para as variáveis de saída – Peso, Massa Fresca de Parte Aérea e Massa Seca de Parte Aérea

Tipo	Peso	MFPA	MSPA
Triangular	P1 – [250 255 260]	MFPA1 – [179 180 181]	MSPA1 – [0,055 0,06 0,065]
Triangular	P2 – [255 260 265]	MFPA2 – [180 181 182]	MFPA2 – [0,06 0,065 0,07]
Triangular	P3 – [260 265 270]	MFPA3 – [181 182 183]	MFPA3 – [0,065 0,07 0,075]
Triangular	P4 – [265 270 275]	MFPA4 – [182 183 184]	MFPA4 – [0,07 0,075 0,08]

Fonte: Autores (2022)

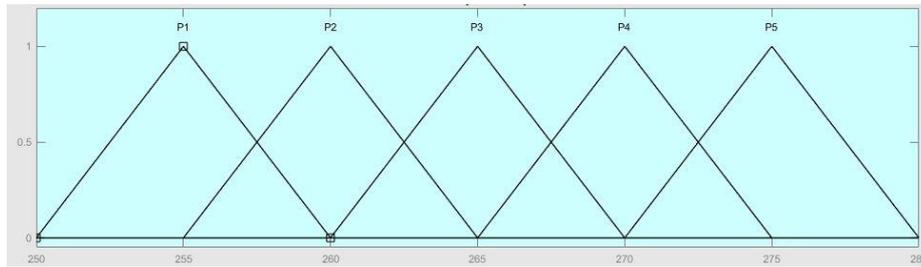


Figura 4 – Grau de associação para conjuntos difusos da variável de saída - Peso

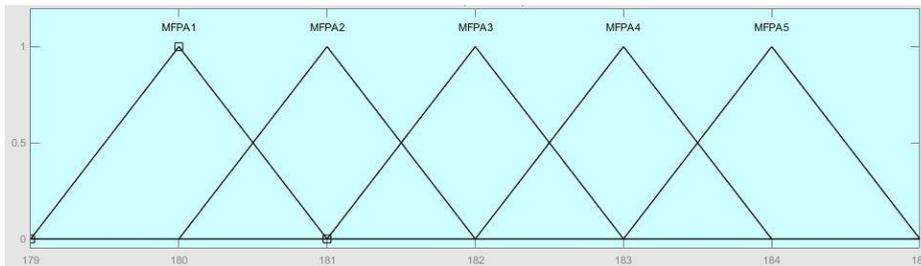


Figura 5 – Grau de associação para conjuntos difusos da variável de saída - MFPA

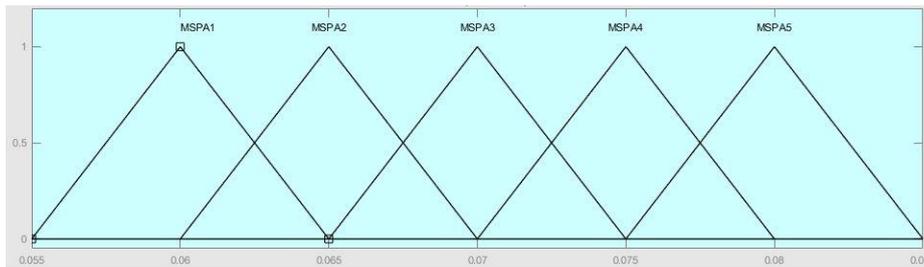


Figura 6 – Grau de associação para conjuntos difusos da variável de saída – MSPA

O sistema foi baseado em regras difusas de computador foi estabelecido pela *Fuzzy Logic Toolbox* de MATLAB® R2015a (MathWorks Inc. Copyright 1984-2004), acoplado à superfície e do mapa de contorno.

3. Resultados e Discussão

Com os dados, foi desenvolvido 25 combinações, sendo (5×5) e assim levados ao conjunto *fuzzy* de duas variáveis de entrada para três variáveis de saída. As combinações foram realizadas com os graus de pertinência (Raiz1 a Raiz5 e Folha1 a Folha5) para a Raiz e Folha na entrada e Peso, MFPA e MSPA na saída, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Combinações das variáveis de entrada e a saída com escalas para graus de adesão 1 associados aos conjuntos *fuzzy* para a geração da base de regras

Raiz	Folha	Peso	MFPA	MSPA
Raiz1	Folha1	P1	MFPA1	MSPA1
Raiz1	Folha2	P1	MFPA1	MSPA2
Raiz1	Folha3	P2	MFPA2	MSPA3
Raiz1	Folha4	P3	MFPA3	MSPA2

Raiz2	Folha1	P2	MFPA1	MSPA3
Raiz2	Folha2	P3	MFPA2	MSPA2
Raiz2	Folha3	P4	MFPA2	MSPA3
Raiz2	Folha4	P5	MFPA3	MSPA3
Raiz3	Folha1	P2	MFPA3	MSPA4
Raiz3	Folha2	P2	MFPA3	MSPA2
Raiz3	Folha3	P4	MFPA2	MSPA3
Raiz3	Folha4	P5	MFPA3	MSPA3
Raiz4	Folha1	P2	MFPA1	MSPA4
Raiz4	Folha2	P3	MFPA4	MSPA2
Raiz4	Folha3	P3	MFPA2	MSPA2
Raiz4	Folha4	P3	MFPA3	MSPA2

Para variáveis de entrada: raiz e folha. Para a variável de saída: Peso, MFPA e MSPA.

Fonte: Autor, 2021.

A Figura 7 apresenta a superfície de resposta em 3D do Peso de planta como resultado ao sistema *fuzzy* desenvolvido utilizando a inferência de Mamdani.

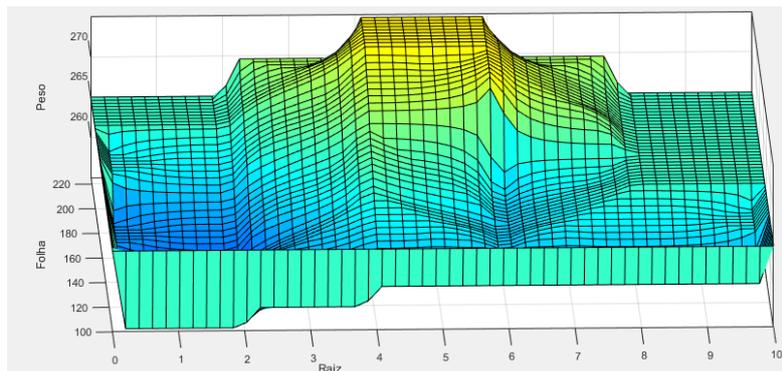


Figura 7 – Peso de planta de beterraba no modelo de superfície de resposta em 3D

A Figura 7 apresenta as duas regiões na com melhores pontos encontrados para o peso de planta, nas melhores dosagens para aplicações na raiz e na folha. A área em amarelo representa esses pontos em destaque, sendo para a folha entre 190 a 210 mL 200 L⁻¹, já para a raiz entre 4,0 a 6,0 mL 10 kg⁻¹ de sementes (tratamento de semente).

Os outros pontos encontrados são menos favoráveis para analisar o peso de planta, entretanto deve-se avaliar o momento da condução da lavoura e do produtor. Corroborando com esta afirmação e com os resultados deste experimento, Taiz & Zeiger (2013) relataram que dependendo do produto aplicado o mesmo deve ser direcionado para um momento da planta, pois apresentam diversificadas funções, onde resumidamente, as giberelinas promovem o crescimento e divisão celular, as auxinas o alongamento celular e as citocininas regulam a divisão celular.

A Figura 8 apresenta a superfície de resposta em 3D da Massa fresca de parte aérea como resultado ao sistema *fuzzy* desenvolvido utilizando a inferência de Mamdani.

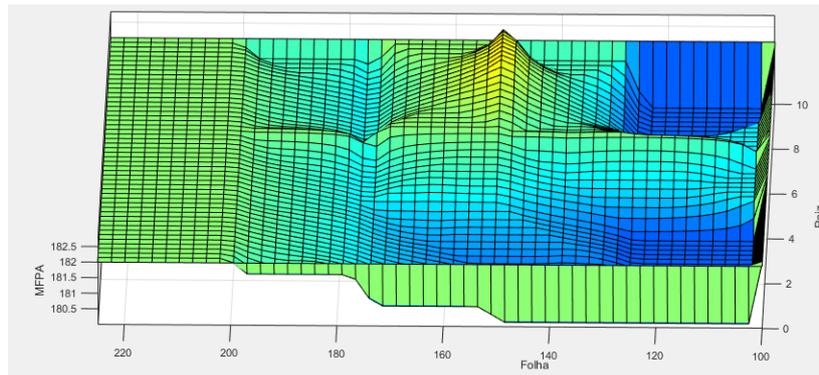


Figura 8 – Massa fresca de parte aérea de beterraba no modelo de superfície de resposta em 3D

A Figura 8 apresenta os melhores indicadores encontrados para o MFPA, tendo como melhores dosagens para aplicações na raiz e na folha. A área pontiaguda com coloração amarela destaca quais as melhores dosagens de aplicações de bioestimulante na folha de $150 \text{ mL } 200 \text{ L}^{-1}$, para a raiz entre $7,0$ a $10,0 \text{ mL } 10 \text{ kg}^{-1}$ de sementes (tratamento de semente).

As outras regiões encontradas na (figura 8), apresenta condições menos favoráveis para quando o produtor deseja fazer aplicações de bioestimulante ou na folha ou na raiz, pois as aplicações dessas substâncias (bioestimulante) podem ser realizadas de diversos momentos, como antes do plantio, na muda, no crescimento, etc., na busca principalmente de maiores produtividades, como citado por alguns pesquisadores quando aplicado Stimulate® no alface (Repke et al., 2009) e na soja (Bertolin et al., 2010).

A Figura 9 apresenta a superfície de resposta em 3D da Massa seca de parte aérea como resultado ao sistema *fuzzy* desenvolvido utilizando a inferência de Mamdani.

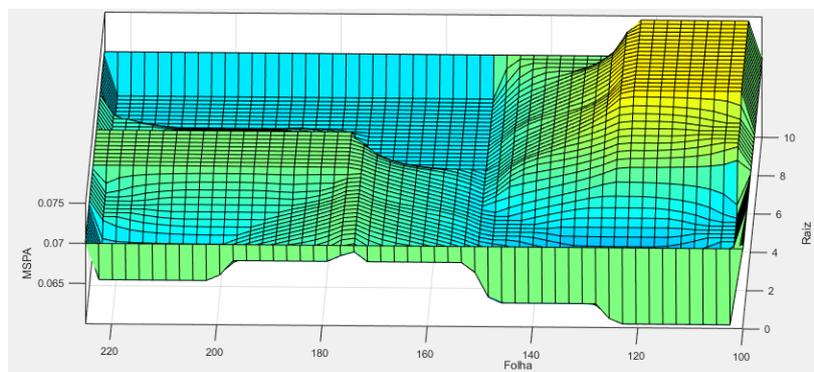


Figura 9 – Massa seca de parte aérea de beterraba no modelo de superfície de resposta em 3D

A Figura 9 apresenta as regiões com melhores resultados encontrados para MSPA, observando nas melhores dosagens para aplicações na raiz e na folha. A área em amarelo representa esses pontos em destaque, sendo para a folha entre 100 a $140 \text{ mL } 200 \text{ L}^{-1}$, já para a raiz entre $5,0$ a $10,0 \text{ mL } 10 \text{ kg}^{-1}$ de sementes (tratamento de semente).

Entretanto, Santos et al. (2014) recomendam que aplicação de bioestimulantes em períodos inadequados podem induzir o crescimento vegetativo em excesso e assim pode causar um desbalanço hormonal nas plantas.

A Figura 10 simula o sistema com base em regras difusas para as dosagens de bioestimulante na Folha e na Raiz para aumentar indicadores de produtividade na

beterraba. Existindo, uma possibilidade de transição para melhor ponto próximo aos pontos encontrados nas (figuras 7, 8 e 9), com valores entre 4,0 a 10 mL 10 kg⁻¹ e 100,0 a 210,0 mL 200 L⁻¹, para raiz e folha, respectivamente.

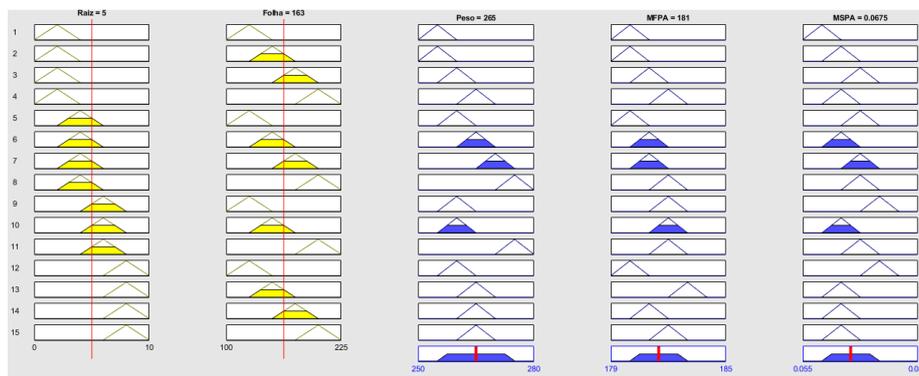


Figura 10 – Método de inferência de Mandani para Raiz = 5 mL 10 kg⁻¹ e Folha = 163 mL 200 L⁻¹, com indicadores de Peso = 265,0 g, MFPA = 181,0 g e MSPA = 0,0675 g

Na Figura 10, observa-se que os indicadores de Peso, MFPA e MSPA foram 265,0 g, 181,0 g e 0,0675 g, respectivamente. Dessa forma, os resultados obtidos confirmaram aumento nos indicadores de produtividade na beterraba, quando aplicados via foliar e via semente (tratamento de semente).

4. Conclusão

A lógica *fuzzy* se mostrou eficiente para otimização de dosagens em diversos momentos de uma planta, o que possibilita maiores intervalos pré-definidos comercialmente. Com isso, apresenta-se eficiente a aplicação de bioestimulante na beterraba buscando maiores produtividades finais. entretanto, esta metodologia desenvolvida necessita ser estudada com maior afinco em aplicações reais para convalidar os dados matemáticos.

Levando em consideração que os indicadores de produtividade da beterraba são aqueles que apresenta dosagens de 5 mL 10 kg⁻¹ na raiz ou 163 mL 200 L⁻¹ na folha, resultando um peso de 265,0 g, MFPA de 181,0 g e MSPA de 0,0675 g.

Referências

- ANDRADE, W. F.; PASINI, L. G. T.; GODINHO, E. Z.; MAZZUCO, B.; SALVALAGGIO, K. S. Resposta da alface tipo americana a diversas dosagens de adubo foliar em um canteiro definitivo. In: IX SECIAGRA - Congresso de Ciências Agrárias da Unioeste: ciência e pesquisa para a evolução tecnológica da agropecuária, 2018, Marechal Candido Rondon. Resposta da alface tipo americana a diversas dosagens de adubo foliar em um canteiro definitivo, 2018.
- BERTOLIN, D. C.; DE SÁ, M. E.; ARF, O.; FURLANI JUNIOR, E.; COLOMBO, A. S.; CARVALHO, F. L. B. M. Aumento da produtividade de soja com a aplicação de bioestimulantes. Bragantia, Vol. 69, n. 2, p. 339-347, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000200011>.
- CANEPELE, F. de L.; GODINHO, E. Z.; ZUIN, L. F. L.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Aplicação da lógica fuzzy no desenvolvimento do morango no Oeste do Paraná. Revista Sodebras, Vol. 16, n. 184, p. 6-9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.16.2021.184.06>.
- GABRIEL FILHO, L. R. A.; SILVA JUNIOR, J. F.; CREMASCO, C. P.; SOUZA, ANGELA V.; PUTTI, F. F. Fuzzy modeling of salinity effects on pumpkin (*cucurbita pepo*) development. Engenharia Agrícola, Vol. 42, p. e20200150, 2022.
- GABRIEL FILHO, L. R. A.; SILVA, A. O.; PUTTI, F.F.; CREMASCO, C. P. Fuzzy modeling of the effect of irrigation depths on beet cultivars. ENG AGR-JABOTICABAL, Vol. 42, p. e20210084, 2022.
- GODINHO, E. Z.; CANEPELE, F. L. Lógica fuzzy aplicada ao pré-tratamento do capim-elefante: uma revisão bibliográfica sistemática. RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT, Vol. 10, p.

e439101523302, 2021.

GODINHO, E. Z.; CANEPPELE, F. L.; GASPAROTTO, H. V. *Aplicabilidade da lógica nebulosa no processo de deslignificação do capim-elefante no pré-tratamento com NAOH*. Brazilian Journal of Biosystems Engineering, Vol. 15, p. 497-510, 2021a.

GODINHO, E. Z.; CANEPPELE, F. L.; GASPAROTTO, H. V. *Utilização da lógica fuzzy na otimização da aplicação de fertilizantes no capim brizantha*. REVISTA TECNOLOGIA E SOCIEDADE (ONLINE), Vol. 18, p. 301-313, 2022.

GODINHO, E. Z.; CANEPPELE, F. de L.; GASPAROTTO, H. V. *Utilização da lógica fuzzy para otimizar aplicação de fertilizantes no rabanete*. Brazilian Journal of Biosystems Engineering, Vol. 15, n. 2, p. 270-282, 2021b. DOI: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2021v15n2p270-282>.

GODINHO, E. Z.; GASPAROTTO, H. V.; VALERIO, F. A.; GORNI, P. H.; ORTEGA, L. R. Z.; MONTANO, M. E. A. *Increase of productivity in arugula variety folha larga under the application of foliar fertilizers*. Brazilian Journal of Development, Vol. 7, p. 36080-36092, 2021.

GODINHO, E. Z.; ROCKENBACH, B.; SANTOS, A. K. O.; BUNDSCHEN, G. C. *Comparação na aplicação de adubo mineral e organimineral no desenvolvimento da beterraba cv. Detroit no cultivo de verão*. AGROPAMPA: REVISTA DE GESTÃO DO AGRONEGÓCIO, Vol. 2, n. 2, p. 238-248, 2020.

GODOY, F. O. de.; GODINHO, E. Z.; DALTIM, R. S.; CANEPPELE, F. de L. *Utilização da lógica fuzzy aplicada à energia solar*. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Vol. 37, n. 2, p. 26663, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2020.v37.26663>.

HORTIFRUTIBRASIL – Brasil – CEPEA – ESALQ/USP, Piracicaba, ano 19, n.179-180, mar., 2020.

MARCUZZO, L. L.; HARBS, S.; CHAIANA E NASCIMENTO, A. *Caracterização da epidemiologia temporal e espacial da cercosporiose da beterraba*. Summa Phytopathologica [online], Vol. 46, n. 4, p. 348-350, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/189360>.

MARCUZZO, L. L.; DUARTE, T. S. *Progresso da cercosporiose em diferentes genótipos de beterraba*. Summa Phytopathologica [online], Vol. 46, n. 1, p. 64-66, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/219773>.

NEVES, O. S. C. et al. *Retenção de água em substratos com hidrogel: influência das características do material e nível de adubação*. Ciência Florestal [online], Vol. 31, n. 4, p. 1751-1767, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509843240>.

PUTTI, F. F.; CREMASCO, C. P.; SILVA JUNIOR, J. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A. *Fuzzy modeling of salinity effects on radish yield under reuse water irrigation*. Engenharia Agrícola, Vol. 42, p. e215144, 2022.

REPKE, R. A.; VELOZO, M. R.; DOMINGUES, M. C. S.; RODRIGUES, J. D. *Efeitos da aplicação de reguladores vegetais na Cultura da alface (Lactuca sativa) crespa var. Verônica e Americana var. Lucy brow*. Revista Nucleus, Vol. 6, n. 2, p. 1-12, 2009.

RODRIGUEIRO, M. M. S.; PUTTI, F. F.; CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A. *Technology 4.0 with 0.0 costs: fuzzy model of lettuce productivity with magnetized water*. ACTA SCIENTIARUM-AGRONOMY, v. 43, p. e51384, 2021.

SANTOS, A. K. O.; GODINHO, E. Z.; BUNDSCHEN, G. C.; AGOPIAN, G. Z. *Comparação na aplicação de adubo mineral e organimineral no desenvolvimento da beterraba no cultivo de verão*. In: “VI Encontro de Iniciação Científica da UTFPR - Câmpus Toledo”, 2018, Toledo. ANAIS DO V ENDICT? ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UTFPR CÂMPUS TOLEDO, 2018.

SANTOS, A. K. O.; ROCKENBACH, B.; GODINHO, E. Z.; BUNDSCHEN, G. C.; AGOPIAN, G. Z. *Resposta da beterraba var. Detroit a aplicação de adubo foliar a campo*. In: “VI Encontro de Iniciação Científica da UTFPR - Câmpus Toledo”, 2018, Toledo. ANAIS DO V ENDICT? ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UTFPR CÂMPUS TOLEDO, 2018.

SANTOS, C. A.; OLIVEIRA, A. B.; ROCHA, I. A. & FREITAS, P. G. N. *Beterraba: A raiz forte da terra*, 2020. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/beterraba-a-raiz-forte-da-terra/>. Acesso em: 30 março 2022

SANTOS, V. M.; DE MELO, A. V.; CARDOSO, D. P.; DA SILVA, Á. R.; BENÍCIO, L. P. F.; FERREIRA, E. A. *Desenvolvimento de plantas de soja em função de bioestimulantes em condições de*

adubação fosfatada. Bioscience Journal, Vol. 30, n. 4, p. 1087-1094, 2014.

SILVA, A. O.; SILVA, Ê. F. F.; KLAR, A. E. *Acúmulo e exportação de macronutrientes em beterraba sob diferentes manejos de fertirrigação e salinidade*. Bragantia [online], Vol. 76, n. 1, p. 125-134, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.505>.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5ª ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 918 p., 2013.