

CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA CULTURA DA ALFACE HIDROPÔNICA TRATADA COM PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA

HAYVER OLAYA TELLEZ¹; FERNANDO FERRARI PUTTI² E ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS³

Parte da tese de doutorado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, Universidade Estadual Paulista, Campus Botucatu, Botucatu SP, Brasil.

¹ Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780 –CEP 18610-034. Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, E-mail: hayver.olaya@unesp.br.

² Departamento de Engenharia de Biossistema. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP (Campus Tupã). Rua Domingos da Costa Lopes, 780 - Jd. Itaipu - CEP 17602-496. Tupã, SP, Brasil. E-mail: fernando.putti@unesp.br

³ Departamento de Solos e Recursos Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Avenida Universitária, nº 3780. Altos do Paraíso, CEP 18610-034, Botucatu, SP, Brasil. E-mail: roberto.lyra@unesp.br

1 RESUMO

O consumidor de hortaliças tem se tornado cada vez mais exigente, exigindo alface de qualidade e em quantidade durante o ano todo. O sistema hidropônico oferece a vantagem de controlar as variáveis envolvidas no desenvolvimento e na nutrição das plantas. Estudos recentes sugerem que a exposição da água de irrigação a pulsos elétricos de baixa frequência pode ter efeitos positivos na produtividade, podendo ocasionar mudanças na absorção de nutrientes. Contudo, são necessários estudos mais aprofundados para confirmar esses efeitos. O objetivo deste trabalho é avaliar a concentração de nutrientes na alface hidropônica cultivada em casa de vegetação, utilizando um sistema eletrônico anti-incrustação. O estudo seguiu um delineamento inteiramente casualizado 3 x 2, com quatro repetições. Foram avaliados dois fatores: a frequência de exposição da solução nutritiva ao sistema eletrônico anti-incrustação (constante, intermitente e sem uso) e duas concentrações de solução nutritiva em dois ciclos de produção. Os resultados indicaram que o uso constante de pulsos elétricos de baixa frequência não trouxe vantagens significativas na absorção de nutrientes em comparação com a produção convencional de alface hidropônica. No entanto, a aplicação intermitente desses pulsos elétricos na solução 80 mostrou diferenças na absorção de nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e zinco (Zn) pela cultura.

Palavras-chave: Anti-incrustação, sustentabilidade, tecnologia, hortaliças.

**TELLEZ, H. O.; PUTTI, F. F.; VILLAS BÔAS, R. L.
NUTRIENT CONCENTRATION IN HYDROPONIC LETTUCE CULTURE
TREATED WITH LOW FREQUENCY ELECTRICAL PULSES**

2 ABSTRACT

Consumers of leafy vegetables have become increasingly demanding, with high-quality lettuce being sought in adequate quantities throughout the year. The hydroponic system offers the advantage of controlling the variables involved in plant development and nutrition. Recent studies suggest that exposing irrigation water to low-frequency electrical pulses may have positive effects on productivity, potentially altering nutrient absorption. However, more detailed studies are needed to confirm these effects. The aim of this study was to evaluate the nutrient concentration in hydroponic lettuce grown in a greenhouse via an antiscaling electronic system. The study employed a completely randomized design of 3×2 , with four replications. Two factors were assessed: the frequency of exposure of the nutrient solution to the antiscaling electronic system (constant, intermittent, and no use) and two concentrations of nutrient solution over two production cycles. The results indicated that the constant use of low-frequency electric pulses did not result in significant advantages in terms of nutrient absorption over conventional hydroponic lettuce production. However, intermittent application of these electric pulses in solution 80 resulted in differences in the absorption of nutrients such as nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), and zinc (Zn) by the crop.

Keywords: Anti-binding, sustainability, technology, vegetables.

3 INTRODUÇÃO

O aumento constante da população demanda maior produção de alimentos de forma sustentável. Os avanços em técnicas de irrigação, manejo de pragas, doenças e fertilização têm contribuído para o aumento da produtividade em culturas de interesse agrônomo, como as hortaliças (Instituto de Economia Agrícola, 2020).

A produção de hortaliças folhosas, como a alface (*Lactuca sativa* L.), destaca-se por ser uma das mais consumidas in natura, sendo cultivada geralmente por produtores de pequeno porte, possuindo importância econômica e social (Mitova *et al.*, 2017).

O consumidor de hortaliças demanda fornecimento em quantidade e qualidade durante todo o ano (Martinez; Martins; Feiden, 2016). Nesse contexto, a produção hidropônica tem ganhado relevância, mostrando rendimentos iguais ou superiores à produção convencional. Embora exija maior complexidade no manejo, essa técnica tem se expandido nas proximidades dos grandes centros consumidores (Furlani *et al.*,

1999, 2009; Al-Ogaidi *et al.*, 2017; Al-Tawaha *et al.*, 2018).

Para aproveitar ao máximo o potencial genético das culturas, têm-se testado técnicas complementares que otimizem o desenvolvimento com menor custo de produção. Relatos indicam que a utilização de sistemas eletrônicos anti-incrustação, que emitem pulsos elétricos de baixa frequência na água de irrigação, pode trazer benefícios à produtividade das culturas (Surendran; Sandeep; Joseph, 2016; Chibowski; Szczes, 2018; Olaya Tellez, *et al.*, 2023).

O tratamento da água de irrigação, sem produtos químicos e com pulsos elétricos de baixa frequência (3–32 kHz), altera a cristalização do cálcio em águas duras, fazendo com que as partículas percam a capacidade de se fixar nos sistemas de encanamento. Podendo melhorar a solubilidade dos nutrientes na solução nutritiva (Mercier *et al.*, 2016; Piyadasa *et al.*, 2017, 2018). Essa técnica pode ajudar na redução da proliferação microbiana e a formação de algas, além de disponibilizar nutrientes que estavam em compostos

insolúveis para as raízes, trazendo benefícios à produtividade. Entretanto, faltam estudos que detalhem a produção de alface tratada com pulsos elétricos de baixa frequência (Piyadasa *et al.*, 2018; Xiao *et al.*, 2020).

As condições ideais para o desenvolvimento da alface incluem temperaturas abaixo de 25°C, com melhor produtividade nas épocas frias do ano, quando a demanda dos consumidores é menor. Assim, novas técnicas de cultivo que proporcionem maior eficiência nas épocas de verão são essenciais, como a produção hidropônica em ambiente protegido, que permite o controle das condições ambientais e de cultivo (Martinez; Martins; Feiden, 2016).

A composição ideal da solução nutritiva na produção hidropônica busca o equilíbrio entre macro e micronutrientes, além de auxiliar no controle de fatores que influenciam o desenvolvimento vegetal, como época de produção, estágio fenológico e cultivar utilizado (Furlani *et al.*, 1999; Soares *et al.*, 2020).

As vantagens da utilização do sistema hidropônico estão relacionadas ao controle detalhado das condições de desenvolvimento das plantas, permitindo monitorar os fatores que mais influenciam seu crescimento. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a concentração de nutrientes na alface hidropônica em casa de vegetação utilizando um sistema eletrônico anti-incrustação.

4 MATERIAL E METODOS

O experimento foi desenvolvido na área experimental do Departamento de

Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), no município de Botucatu-SP, localizado nas coordenadas 22° 51' 03" latitude Sul e 48° 25' 37" longitude Oeste. Segundo a classificação Köppen, o clima é do tipo Cfa - clima temperado quente úmido, temperatura média do mês mais quente acima de 22°C e altitude média de 780 m (Cunha; Martins, 2009).

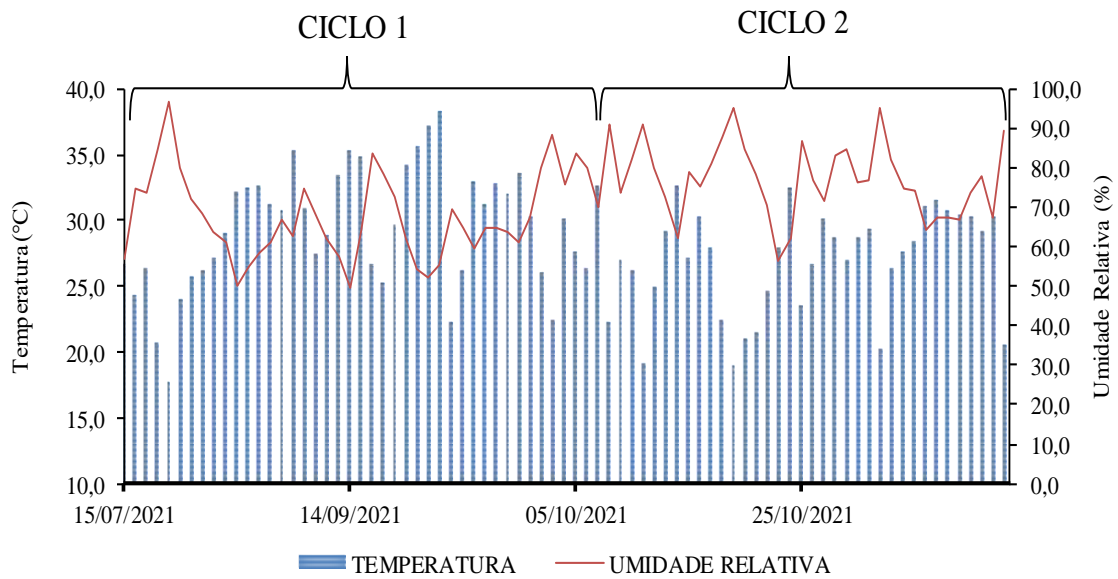
4.1 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado 3 x 2 com quatro repetições. Os fatores avaliados foram a frequência de exposição da água de irrigação ao sistema eletrônico anti-incrustação (constante, intermitente e sem uso) e dois níveis de solução nutritiva (100% e 80% da recomendação presente em Furlani *et al.* (1999)), aplicados em dois ciclos de produção.

4.2 Sistema hidropônico

O sistema foi instalado em casa de vegetação com dimensões de 24 x 7 metros de comprimento e largura, e 3,8 metros na maior altura, recoberta com filme plástico de 150 micras. O controle da temperatura foi realizado por meio da abertura de duas janelas quando a temperatura interna superou 25 °C. A luminosidade foi regulada com uma tela Aluminet 50%, instalada a 2 metros de altura sobre as bancadas do sistema hidropônico. As condições de temperatura e umidade relativa no interior da casa de vegetação estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1. Condições de temperatura e umidade relativa no interior da casa de vegetação ao longo do experimento.

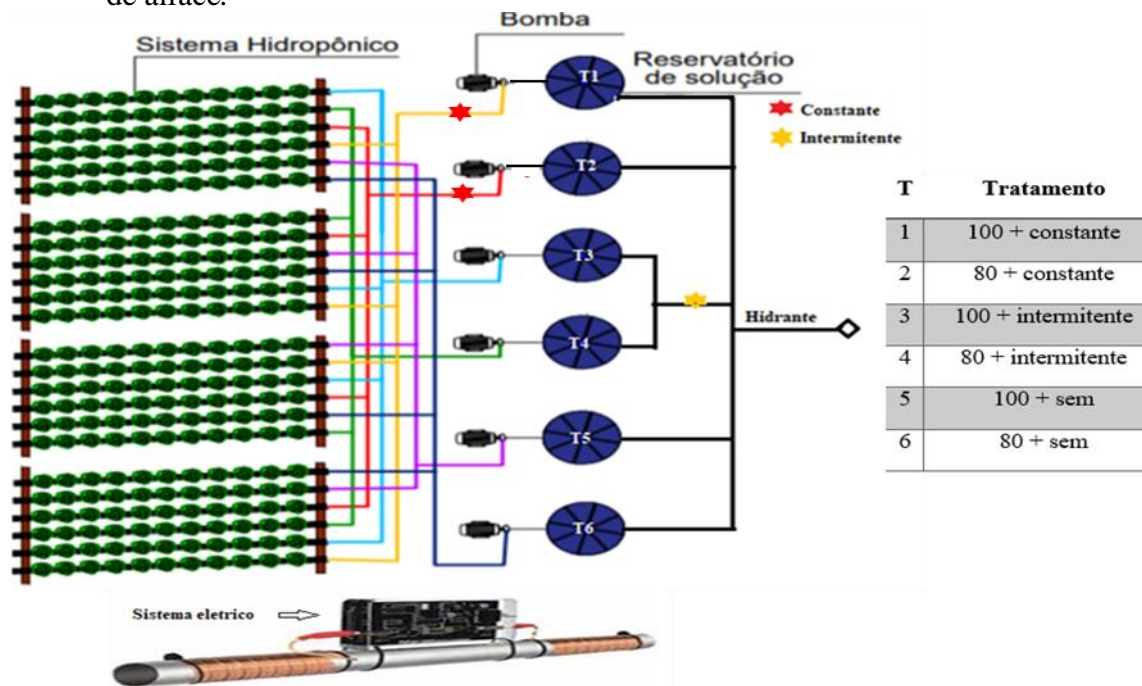


Fonte: Autores (2024)

A técnica de fluxo laminar de nutrientes (NFT) foi utilizada no sistema hidropônico, que contou com quatro bancadas com 5% de inclinação (Figura 2). Cada bancada, apresentava altura inicial de 1,10 m e final de 0,80 m, possuía 1,2 m de

largura e espaçamento de 0,70 m. Elas foram compostas por seis perfis de PVC de 6 m cada (tratamentos), com espaçamento de 0,20 m entre si e 24 aberturas de 0,05 m de diâmetro para o transplante das mudas.

Figura 2. Croqui do desenho do sistema hidropônico utilizado no desenvolvimento da cultura de alface.



Fonte: Olaya Tellez et al. (2023)

A solução nutritiva foi armazenada em reservatórios de 500 litros para cada tratamento, com retorno individualizado por meio de um sistema fechado. O bombeamento da solução foi realizado com uma motobomba periférica de 0,5 cv da marca Ferrari para cada reservatório. Utilizou-se um *timer* eletromecânico programado para ativar a bomba a cada 15 minutos, das 6:00 às 18:00 horas, e por 15 minutos a cada hora, das 18:00 às 6:00 horas, com vazão variando entre 1,5 e 2,0 l/min.

A solução nutritiva utilizada seguiu as recomendações de Furlani *et al.* (1999), que indica o uso de 187 mg/L de N, 72 mg/L de P, 220 mg/L de K, 143 mg/L de Ca, 38 mg/L de Mg, 52 mg/L de S, 0,45 mg/L de B, 0,45 mg/L de Cu, 1,81 mg/L de Fe, 0,45 mg/L de Mn, 0,18 mg/L de Zn e 0,09 mg/L de Mo. Tais recomendações foram ajustadas em dosagens de 80% e 100% do valor recomendado nos tratamentos, denominados solução 80 e solução 100, respectivamente. Quando a temperatura superou 25 °C, as soluções foram diluídas em 20%, mantendo as proporções.

Os tratamentos da solução nutritiva com o sistema eletrônico anti-incrustação, que emite pulsos elétricos de baixa frequência, foram divididos em duas categorias: constante e intermitente. No tratamento constante, a água da solução nutritiva foi exposta constantemente aos pulsos elétricos de baixa frequência, enquanto no tratamento intermitente, a água da solução nutritiva foi exposta apenas durante o enchimento dos reservatórios, na troca da solução, a qual ocorreu a cada 8 dias. Os demais tratamentos não tiveram exposição e mantiveram as mesmas concentrações da solução nutritiva.

O desenvolvimento inicial das mudas de alface ocorreu em espuma fenólica, em ambiente protegido, por 30 dias. Quando as mudas apresentaram de 5 a 7 folhas e boa uniformidade, elas foram transplantadas para o sistema hidropônico.

4.3 Avaliações

Em cada ciclo, aos 24 dias após o transplântio (DAT), foram coletadas quatro plantas por tratamento, devidamente identificadas e processadas em Laboratório da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP. Cada planta foi lavada três vezes individualmente com água destilada e secadas em uma centrifuga manual de alimentos, com a finalidade de eliminar resíduos e impurezas sobre a superfície das folhas.

O material foi alocado em sacos individuais de papel e secado em estufa de circulação de ar forçada a temperatura de 65°C, até atingir peso constante, em aproximadamente 72 horas. Posteriormente, a massa seca foi triturada em moinho do tipo Willey e levada ao laboratório do Departamento de Solos e Recursos ambientais – FCA/UNESP, Botucatu, SP, para a determinação de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, conforme a metodologia de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

4.4 Análises estatística

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Anderson-Darling e homocedasticidade (homogeneidade das variâncias) pelo teste de Hartley, além da análise de variância, com um nível de significância de 5% de probabilidade de erro. Quando significativas, as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey a 5% de significância, com o auxílio do programa estatístico R (versão 4.1.2). Os gráficos foram elaborados no programa SigmaPlot (versão 14.0).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises químicas

Os nutrientes cálcio, boro e manganês responderam isoladamente aos fatores de frequência e solução. Em contraste, os nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cobre e zinco apresentaram diferenças significativas na

interação entre frequência e solução. Os níveis de magnésio e ferro não mostraram diferenças. Os valores médios das concentrações de macro e micronutrientes na produção de alface em sistema hidropônico, alimentado com água tratada com pulsos elétricos de baixa frequência em duas soluções nutritivas, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo da análise de variância, valores médios e desvio padrão da concentração de macro e micronutrientes na cultura da alface em sistema hidropônico alimentado com água tratada com pulsos elétricos de baixa frequência

Fonte de variação		N	P	K	Ca	Mg	S
Freq.		0.002	0.30	0.003	0.176	0.09	0.049
Solução		0.96	0.01	0.004	0.02	0.14	0.684
Freq. x Solução		0.004	0.01	0.002	0.211	0.75	0.023
Const.		37.66a	5.71	54.18b	11.67	3.47	2.79ab
Freq.	Inter.	37.07a	5.97	72.19a	10.97	3.2	2.45b
	Sem	35.73b	5.76	75.43a	10.71	3.15	2.88a
Solução	80	36.8±1.4	6.0±0.4a	75.0±19.4a	11.6±0.7a	3.2±0.3	2.7±0.4
	100	36.8±2.3	5.6±0.4b	59.5±5.3b	10.6±1.2b	3.4±0.3	2.7±0.3
		B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Freq.		0.16	0.02	0.24	0.011	0.018	
Solução		0.003	0.56	0.62	0.009	0.001	
Freq. x Solução		0.36	0.002	0.33	0.12	0.0006	
Const.		30.45	11.72a	106.93	51.67b	55.15	
Freq.	Inter.	29.19	9.53b	110.41	62.69a	64.18	
	Sem	26.75	9.43b	122.2	65.48a	65.44	
Solução	80	26.1±3.6b	10.4±1.5	115.0±20.1	65.0±13.3a	68.8±12.6a	
	100	31.4±4.4a	10.0±3.2	111.3±22.4	54.9±5.1b	54.3±5.8b	

Freq.: Frequência; Const.: Constante; Inter.: Intermitente; letras diferentes possuem diferenças estatísticas

A frequência constante do uso de pulsos elétricos de baixa frequência resultou na menor concentração foliar de potássio e manganês. Não houve diferença significativa entre a frequência constante e a intermitente nas concentrações de nitrogênio e enxofre, enquanto a frequência constante foi superior na concentração de cobre. Os nutrientes fósforo, cálcio, magnésio, boro, ferro e zinco não apresentaram diferenças significativas em resposta às frequências

utilizadas na produção de alface hidropônica (Tabela 1).

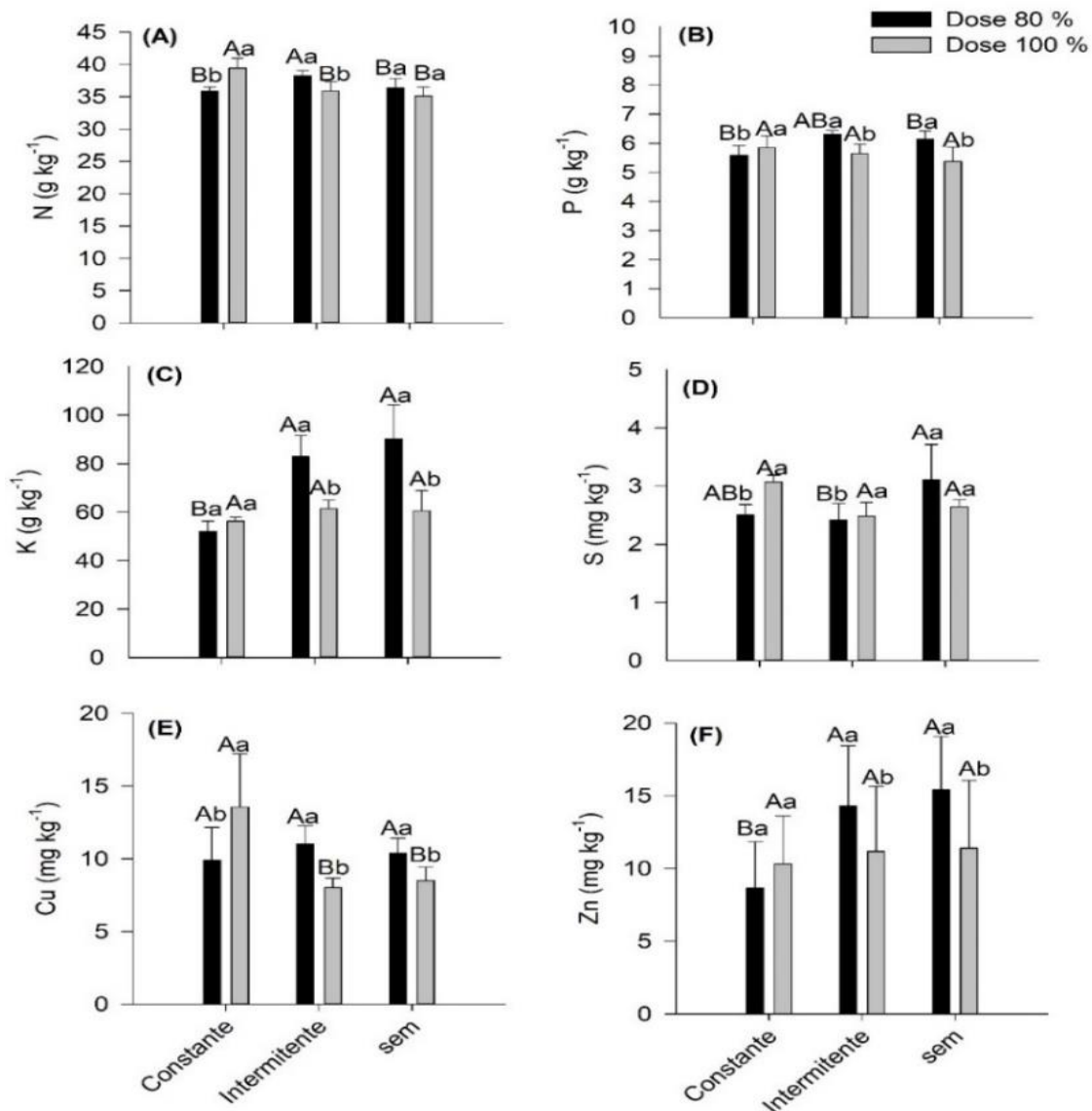
O uso de soluções nutritivas na produção de alface em sistema NFT demonstrou diferenças significativas, favorecendo a solução a 80% em relação à recomendada por Furlani *et al.* (1999) nos nutrientes fósforo, potássio, cálcio, manganês e zinco. Para a solução a 100%, observou-se apenas um aumento na concentração do nutriente boro.

O uso constante de pulsos elétricos de baixa frequência na solução nutritiva da alface hidropônica resultou em uma redução na concentração dos nutrientes potássio e manganês, em comparação com a exposição intermitente e a ausência do uso da tecnologia. Segundo Fontana *et al.* (2018), as técnicas empregadas na produção de alface podem influenciar seu desenvolvimento de maneira tão

significativa quanto a fertilização, considerando que fatores externos como o ambiente, a cultivar e os manejos agrônômicos afetam a produtividade.

A concentração dos macronutrientes e de alguns micronutrientes na cultura de alface em sistema hidropônico, alimentada com água tratada continuamente e intermitentemente com pulsos elétricos de baixa frequência, é apresentada na Figura 3.

Figura 3. Valores médios das variáveis nutricionais na interação solução vezes frequência do tratamento da água com pulsos de baixa frequência na cultura de alface hidropônica.



As letras maiúsculas indicam as diferenças estatísticas entre os tratamentos (constante, intermitente e sem) dentro de um mesmo gráfico, enquanto as letras minúsculas representam as diferenças dentro de um mesmo tratamento. Fonte: Autores (2024)

A concentração de nitrogênio (Figura 3A) na frequência intermitente apresentou um incremento médio de 8,4% em relação à frequência constante e à ausência de pulsos elétricos na solução 80. Para a solução 100, a frequência constante mostrou um aumento de 10,3% em comparação aos outros tratamentos. Diferenças significativas entre os níveis de solução nutritiva foram observadas, favorecendo a frequência intermitente em 6,3% na solução 80.

Quanto ao fósforo (Figura 3B), não foram encontradas diferenças entre as frequências na solução 100. No entanto, na solução 80, a frequência intermitente evidenciou um aumento médio de 6,8% em comparação com os tratamentos sem uso e com a frequência constante. As diferenças entre os níveis de solução nutritiva também foram observadas na solução 80, favorecendo a frequência intermitente e a sem uso de pulsos elétricos de baixa frequência em 9,6% e 13%, respectivamente.

Esses resultados indicam que a exposição intermitente das soluções nutritivas resulta em diferenças na absorção de nitrogênio (N) e fósforo (P) na alface hidropônica tratada com pulsos elétricos de baixa frequência na solução 80. Segundo Taiz *et al.* (2017), o N e o P são dois dos nutrientes mais requeridos para o desenvolvimento das plantas. Abobatta (2019) e Putti *et al.* (2023) relataram melhorias na eficiência da absorção de nutrientes utilizando magnetismo e eletromagnetismo, tecnologias similares à empregada neste estudo.

Martinez, Martins e Feiden (2016) encontraram concentrações de N e P superiores na cultura hidropônica. O uso de tecnologias semelhantes aos pulsos de baixa frequência, como o magnetismo e o eletromagnetismo, pode modificar propriedades como a tensão superficial da água e sua solubilidade, beneficiando a absorção de nutrientes pelas raízes e, assim, aumentando sua concentração na parte aérea

(Wang; Wei; Li, 2018; Pradela *et al.*, 2018; Al-Tawaha *et al.*, 2018; Lemos *et al.*, 2021; Putti *et al.*, 2022; 2023).

A frequência constante exibiu reduções médias de 39,7% para potássio e 46% para zinco na solução 80, em relação aos tratamentos sem uso e intermitente (Figuras 3C e F, respectivamente). Na solução 100, não houve diferenças significativas entre os tratamentos. A redução média da concentração foliar de K e Zn na solução 80 foi de 23% e 31,5% para os tratamentos intermitente e sem uso, respectivamente, em comparação com a solução 100.

Para o enxofre (Figura 3D), a solução 80 sem uso apresentou um aumento médio de 23% em relação aos demais tratamentos. Já na solução 100, a frequência intermitente demonstrou uma diminuição de 19,2% em comparação com os tratamentos constante e sem uso. Os níveis de solução nutritiva mostraram maior concentração na solução 80 sem a aplicação de pulsos elétricos de baixa frequência.

O cobre (Figura 3E) não mostrou diferenças significativas entre os tratamentos avaliados. A frequência constante proporcionou aumento médio nas soluções de 46% em relação à frequência intermitente e sem uso. Diferenças entre os níveis de solução nutritiva foram encontradas em favor da frequência intermitente e sem uso, na ordem de 36% e 30% na solução 80, respectivamente.

A exposição da cultura da alface hidropônica aos pulsos elétricos de baixa frequência mostrou mudanças na absorção de K, Zn, S e Cu. O uso intermitente resultou em aumentos na concentração de K, Cu e Zn, mesmo com a menor concentração da solução, o que pode reduzir a necessidade de fertilização, beneficiando o consumidor final, conforme sugerido por Putti *et al.* (2023). Já Lemos *et al.* (2021) relataram uma redução na absorção de nutrientes com o uso constante de um sistema magnético.

Os efeitos positivos no desenvolvimento das plantas associados ao uso de magnetismo e eletromagnetismo podem ser atribuídos a mudanças na absorção de nutrientes no sistema hidropônico (Martinez; Martins; Feiden, 2016; Al-Ogaidi *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2019; Abobatta, 2019). O uso de pulsos elétricos de baixa frequência melhora a solubilidade de compostos como CaCO_3 e Fe, tornando-os mais disponíveis para as plantas (Piyadasa *et al.*, 2017, 2018; Xiao *et al.*, 2020; Mendonça, 2022). Elementos como Zn e Cu influenciam a síntese de RNA e o controle da transpiração das plantas (Taiz *et al.*, 2017).

6 CONCLUSÃO

O uso constante de pulsos elétricos de baixa frequência não demonstrou vantagens significativas na absorção de nutrientes em comparação com a produção convencional da alface hidropônica. Em contrapartida, a aplicação intermitente na solução 80 evidenciou diferenças na absorção de N, P, K e Zn pela cultura de alface hidropônica em sistema NFT. No entanto, a resposta de outras culturas a essa tecnologia em diferentes condições edafoclimáticas necessita de mais investigações para avaliar sua viabilidade técnica e econômica.

7 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

8 REFERÊNCIAS

ABOBATTA, W. F. Overview of role of magnetizing treated water in agricultural sector development. **Advances in Agricultural Technology & Plant Sciences**, Hyderabad, v. 2, n. 1, p. 1-7, 2019.

AL-OGAIDI, A. A.; WAYAYOK, A.; ROWSHON, M.; ABDULLAH, A. F. The influence of magnetized water on soil water dynamics under drip irrigation systems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 180, part A, p. 70-77, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377416304188>. Acesso em: 05 fev. 2024.

AL-TAWAHA, A. R.; AL-KARAKI, G.; AL-TAWAHA, A. R.; SIRAJUDDIN, S. N.; MAKHADMEH, I.; WAHAB, P. E. M.; YOUSSEF, R. A.; AL SULTAN, W.; MASSADEH, A. Effect of water flow rate on quantity and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in nutrient film technique (NFT) under hydroponics conditions. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 24, n. 5, p. 793-800, 2018.

CHIBOWSKI, E.; SZCZES, A. Magnetic water treatment a review of the latest approaches. **Chemosphere**, Oxford, v. 203, n. 1, p. 54-67, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.160>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653518305836>. Acesso em: 20 fev. 2024.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009. DOI: 10.15809/irriga.2009v14n1p1-11.

Disponível em:

<https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3393>. Acesso em: 23 fev. 2024.

FONTANA, L.; ROSSI, C. A.; HUBINGER, S. Z.; FERREIRA, M. D.; SPOTO, M. H. F.; SALA, F. C.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Physicochemical characterization and sensory evaluation of lettuce cultivated in three growing systems. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 1, p. 20-26, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620180104>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/yS7KZfBYW Gn5kpKdSs4MJpb/?lang=en>. Acesso em: 12 nov. 2023.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, N. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1999.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. Cultivo Hidropônico de Plantas. Parte 2 - Solução Nutritiva. In: INFOBIBOS. Campinas, 6 maio 2009. Disponível em: http://www.infobibos.com.br/artigos/2009_2/hidroponiap2/index.htm. Acesso em: 11 nov. 2024.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Estatística da Produção Paulista** - Alface. São Paulo: IEA, 2020. Disponível em: http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1. Acesso em: 18 mar. 2022.

LEMOS, L. T. O.; DEUS, F. P.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; THEBALDI, M. S.; MESQUITA, M.; ALMEIDA, R. C. Development and production of iceberg lettuce irrigated with magnetically treated water. **Water SA**, Pretoria, v. 47, n. 4, p.

437-445, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.17159/wsa/2021.v47.i4.3863>. Disponível em: <https://watersa.net/article/view/12667>. Acesso em: 18 abr. 2022

LIU, X.; ZHU, H.; WANG, L.; BI, S.; ZHANG, Z.; MENG, S.; ZHANG, Y.; WANG, H.; SONG, C.; MA, F. The effects of magnetic treatment on nitrogen absorption and distribution in seedlings of *Populus × euramericana* 'Neva' under NaCl stress. **Scientific Reports**, Crinan, v. 9, n. 1, p. 1-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45719-6>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-45719-6>. Acesso em: 16 dez. 2023.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MARTINEZ, D. G.; MARTINS, B. H. S.; FEIDEN, A. Valor nutricional do cultivo de alface hidropônico. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Cascavel, v. 5, n. 4, p. 481-489, 2016.

MENDONÇA, C. R. O. S. G. **Tecnologia eletromagnética aplicada no controle de *meloidogyne javanica* em tomateiro**. 2022. Dissertação (Mestrado em Olericultura) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Morrinhos, 2022.

MERCIER, A.; BERTAUX, J.; LESOBRE, J.; GRAVOUIL, K.; VERDON, J.; IMBERT, C.; VALETTE, E.; HECHARD, Y. Characterization of biofilm formation in natural water subjected to low frequency electromagnetic fields. **Biofouling**, Chur, v. 32, n. 3, p. 287-299, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/08927014.2015.1137896>. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08927014.2015.1137896>. Acesso em: 27 jun. 2023.

MITOVA, I.; NENOVA, L.; STANCHEVA, I.; GENEVA, M.; HRISTOZKOVA, M.; MINCHEVA, J. Lettuce response to nitrogen fertilizers and root mycorrhization. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 23, n. 2, p. 260-264, 2017.

OLAYA TELLEZ, H.; LEROY, K. A.; MACHADO, L. T. S.; CAPUANI, S.; JACON, C. P. R. P.; VILLAS BÔAS, R. L. Desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa*) em hidropônia tratada com pulsos elétricos de baixa frequência. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 148-163, 2023. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2023v28n1p148-163>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4639>. Acesso em: 28 mar. 2024.

PIYADASA, C.; RIDGWAY, H. F.; YEAGER, T. R.; STEWART, M. B.; PELEKANI, C.; GRAY, S. R.; ORBELL, J. D. The application of electromagnetic fields to the control of the scaling and biofouling of reverse osmosis membranes – a review. **Desalination**, Amsterdam, v. 418, n. 1, p. 19-34, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.05.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916416317829?via%3Dihub>. Acesso em: 25 ago. 2023.

PIYADASA, C.; YEAGER, T. R.; GRAY, S. R.; STEWART, M. B.; RIDGWAY, H. F.; PELEKANI, C.; ORBELL, J. D. Antimicrobial effects of pulsed electromagnetic fields from commercially available water treatment devices: controlled studies under static and flow conditions. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, Oxford, v.

93, n. 3, p. 871-877, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/jctb.5442>. Disponível em: <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jctb.5442>. Acesso em: 25 set. 2023.

PRADELA, V. A.; YOSHIDA, C. H. P.; SANTOS, R. C.; LAPAZ, A. M. Produção de mudas de alface em resposta ao uso de água tratada magneticamente. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 12, n. 3, p. 299-306, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18011/BIOENG2018V12N3P299-306>. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOEN/article/view/693>. Acesso em: 05 set. 2023.

PUTTI, F. F.; VICENTE, E. F.; CHAVES, P. P. N.; MANTOAN, L. P. B.; CREMASCO, C. P.; ARRUDA, B.; FORTI, J. C.; SILVA JUNIOR, J. F.; CAMPOS, M.; REIS, A. R. Effect of magnetic water treatment on the growth, nutritional status, and yield of lettuce plants with irrigation rate. **Horticulturae**, Basel, v. 9, n. 4, p. 504-521, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040504>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/9/4/504>. Acesso em: 13 set. 2023.

PUTTI, F. F.; NOGUEIRA, B. B.; VACARO, A. S.; VICENTE, E. V.; ZANETTI, W. A. L.; SATORI, D. L.; BARCELOS, J. P. Q. Productive and Physico-Chemical Parameters of Tomato Fruits Submitted to Fertigation Doses with Water Treated with Very Low-Frequency Electromagnetic Resonance Fields. **Plants**, Basel, v. 11, n. 12, p. 1587-1603, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11121587>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/12/1587>. Acesso em: 16 fev. 2023.

SOARES, H. R.; SILVA, E. F. F.; SILVA, G. F.; CRUZ, A. F. S.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; ROLIM, M. M. Salinity and flow rates of nutrient solution on cauliflower biometrics in NFT hydroponic system. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, Campina Grande, v. 24, n. 4, p. 258-265. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n4p258-265>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/jvj6GjHCXg3v9bGmLkrmFHN/?lang=en#>. Acesso em: 20 fev. 2024.

SURENDRAN, U.; SANDEEP, O.; JOSEPH, E. The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, water and soil characteristics. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v. 178, n. 1, p. 21-29, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/artic>

[le/abs/pii/S0378377416303006](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377416303006). Acesso em: 16 fev. 2024.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

WANG, Y.; WEI, H.; LI, Z. Effect of magnetic field on the physical properties of water. **Results in Physics**, Amsterdam, v. 8, n. 1, p. 262-267, 2018.

XIAO, Y.; SEO, Y.; LIN, Y.; LI, L.; MUHAMMAD, T.; MA, C.; LI, Y.; Electromagnetic fields for biofouling mitigation in reclaimed water distribution systems. **Water Research**, Oxford, v. 173, n. 1, p. 1155-1562, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115562>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135420300981?via%3Dihub>. Acesso em: 16 ago. 2024.