

DESENVOLVIMENTO DA ALFACE (*Lactuca sativa*) EM HIDROPÔNIA TRATADA COM PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA¹

HAYVER OLAYA TELLEZ²; KARL AUGUSTE LEROY³; LETÍCIA THÁLIA SILVA MACHADO⁴; SILVIA CAPUANI⁵; CAMILA PAULA ROSSETO PESCATORI JACON⁶ E ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS⁷

¹ Parte da tese de doutorado do primeiro autor, a ser apresentada ao Programa de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, Universidade Estadual Paulista, Campus Botucatu, Botucatu SP, Brasil.

² Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780 –CEP 18610-034. Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, E-mail: hayver.olaya@unesp.br.

³ Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780 –CEP 18610-034. Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, E-mail: karl.auguste@unesp.br.

⁴ Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780 –CEP 18610-034. Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, E-mail: lts.machado@unesp.br.

⁵ Pesquisadora na empresa Terra Matter. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780 –CEP 18610-034. Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, silviacapuani@yahoo.com.br

⁶ Pesquisadora na empresa Terra Matter. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780 –CEP 18610-034. Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, capescatorij@gmail.com

⁷ 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

Novas tecnologias têm incrementado a produção agrícola no mundo e as hortaliças folhosas, como a alface, ganham destaque comercial no Brasil por ser as mais consumidas *in natura*. Métodos como a hidroponia, elevam a produtividade graças a seu nível de tecnificação, mas ainda podem ser aprimorados. Existem trabalhos e relatos que indicam que a aplicação de pulsos elétricos de baixa frequência potencializa a produtividade das culturas por isso é necessário realizar estudos detalhados. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência no desenvolvimento da alface hidropônica em casa de vegetação utilizando um sistema eletrônico anti-incrustação. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial com parcelas sub-subdivididas 3x2x3, com quatro repetições. Os fatores avaliados foram frequência do uso do sistema eletrônico (constante, intermitente e sem uso), dois níveis de fertilização de 80% e 100% da solução recomendada por Furlani *et al.* (1999) e três ciclos de produção. O uso de pulsos elétricos de baixa frequência constante resultou em menores médias para as variáveis de crescimento. Dosagem nível de fertilização de 80% promoveu os melhores resultados em condições de estresse por temperatura, e o tratamento da água de irrigação com pulsos elétricos de forma intermitente propiciou resultados similares ao tratamento convencional na cultura de alface hidropônica.

Palavras-chave: nft; produção; tecnologia; irrigação

TELLEZ, H. O.; LEROY, K. A.; MACHADO, L. T. S.; CAPUANI, S.; JACON, C. P. R. P.; VILLAS BÔAS, R. L.
DEVELOPMENT OF LETTUCE (*Lactuca sativa*) IN HYDROPONIC TREATED WITH LOW-FREQUENCY ELECTRICAL PULSES

2 ABSTRACT

New technologies have increased agricultural production in the world and leafy vegetables, such as lettuce, gain commercial prominence in Brazil because it is the most consumed fresh. Methods such as hydroponics, raise productivity thanks to its technification level, but can still be improved. There are works and reports that indicate that the application of low frequency electrical pulses enhance cultures productivity so it is necessary to perform detailed studies. In this sense, the present work aims to evaluate the influence on the development of hydroponic lettuce at a vegetation house using an anti-inconstation electronic system. The entirely randomized design was used in a factorial scheme with 3x2x3 subsubdidids with four repetitions. The factors evaluated were frequency of the use of the electronic system (constant, intermittent and unused), two fertilization levels of 80% and 100% of the recommended solution by Furlani *et al.* (1999) and three production cycles. The use of constant low frequency electrical pulses resulted in lower averages for growth variables. Dosage Fertilization level of 80% promoted the best results under stress conditions per temperature, and the treatment of intermittent electrical pulsed irrigation water has provided results similar to conventional treatment in hydroponic lettuce culture.

Keywords: nft, production, technology, irrigation.

3 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional exige maior implementação tecnológica na agricultura, que possa garantir a quantidade e qualidade de alimentos demandada. Novas tecnologias têm incrementado a produção agrícola em culturas como soja, milho, cana-de-açúcar e algumas hortaliças, favorecendo o fornecimento em grandes metrópoles e em países, como o Brasil (IEA, 2020).

Dentro das hortaliças folhosas de maior destaque comercial no Brasil e no mundo, a alface (*Lactuca sativa* L.) é das mais consumidas *in natura*, possuindo grande importância econômica e social por ser maioritariamente cultivada por pequenos produtores (MITOVA *et al.*, 2017).

A temperatura ideal para o desenvolvimento da alface varia de 15 a 25 °C, temperaturas superiores podem

estimular precocemente o pendoamento por estresse (XAVIER *et al.*, 2021; MAGALHÃES *et al.*, 2010) al igual que vazão elevada acima de 3 l/mim (AL-TAWAHA *et al.*, 2018) reduzindo sua qualidade.

Métodos alternativos à produção convencional como a hidroponia se destacam devido seu nível de tecnificação e produtividade com qualidade sanitária e rendimento igual ou superior às obtidas de forma convencional (FURLANI *et al.*, 1999; AL-TAWAHA *et al.*, 2018). À medida que o método hidropônico é aprimorado, novas técnicas vão sendo testadas, de forma que permitam expressar melhores resultados nas culturas.

Há alguns trabalhos e relatos que indicam melhoras na produtividade ao ser utilizada a água tratada no desenvolvimento das culturas com o sistema eletrônico anti-

incrustação, o qual consiste em tratar a água sem a aplicação de produto químico. A aplicação de pulsos elétricos de baixa frequência altera o processo de cristalização do cálcio nas águas duras, fazendo com que as partículas percam a capacidade de fixar às superfícies e ajudam na reorganização das moléculas da água (CHIBOWSKI; SZCZES, 2018; MERCIER *et al.*, 2016; PIYADASA *et al.*, 2017).

Também é reportado que o uso desta técnica tem impacto no controle microbiano e formação de algas sobre as superfícies das tubulações, além de disponibilizar nutrientes que estavam em compostos insolúveis, podendo favorecer o aumento da produtividade das culturas. Ainda não há na literatura trabalhos sobre seu impacto em condições estresse biótico ou abiótico em plantas (XIAO *et al.*, 2020).

O sistema hidropônico permite o monitoramento detalhado do desenvolvimento das plantas e reduz a interferência ambiental quando conduzido em casa de vegetação. Apesar dos depoimentos e relatórios positivos do impacto do sistema eletrônico anti-incrustação no desenvolvimento de culturas, é necessário realizar estudos mais detalhados.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência no desenvolvimento da alface hidropônica em casa de vegetação utilizando um sistema eletrônico anti-incrustação nas condições de Botucatu - SP.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Ciência

Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), município de Botucatu-SP, localizado nas coordenadas 22° 51' 03" de latitude Sul e 48° 25' 37" longitude Oeste. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa - clima temperado quente (mesotérmico) úmido e a temperatura média do mês mais quente é superior a 25°C e altitude média de 780 m. A precipitação pluviométrica anual média é de 945,15 mm (CUNHA; MARTINS, 2009).

4.2 Delineamento experimental

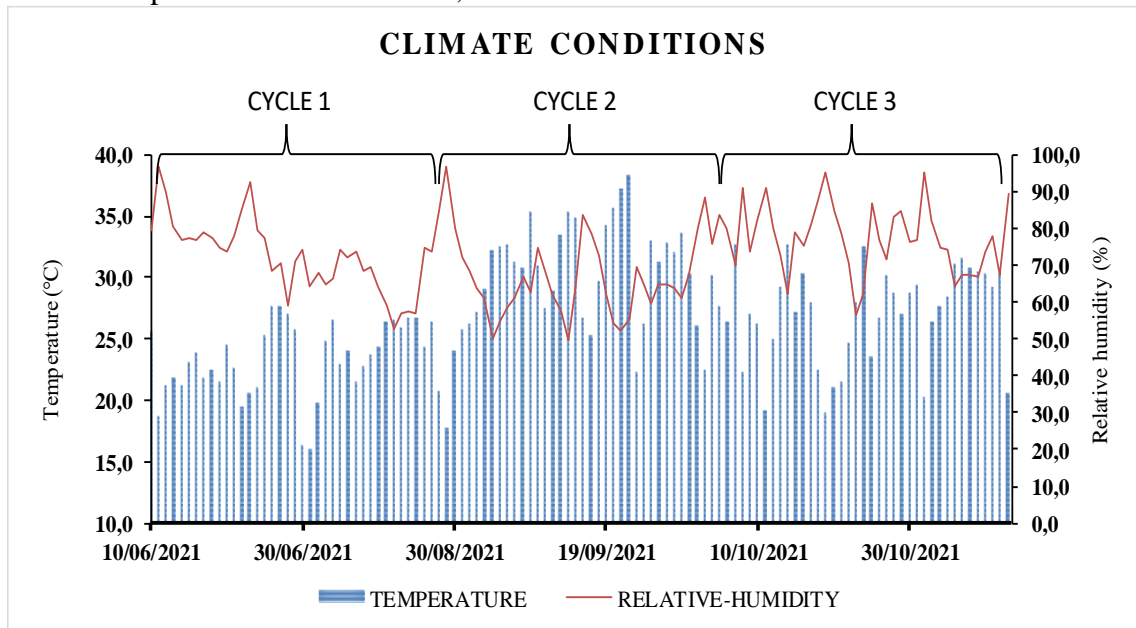
Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial com parcelas sub-subdivididas 3x2x3, com quatro repetições. Os fatores avaliados foram frequência do uso do sistema eletrônico anti-incrustação: constante, intermitente e sem uso; dois níveis de fertilização: 100% e 80% da solução recomendada por Furlani *et al.* (1999) e três ciclos de produção.

4.3 Sistema hidropônico

A casa de vegetação utilizada possui 24 metros de comprimento e 7 metros de largura e pé direito de 2,5 metros com altura de 3,8 metros na parte mais alta. Sua cobertura é de filme plástico de 150 micras com 2 janelas superiores. Para controle da temperatura, foi realizado o manejo de abertura dos lanternins diariamente quando a temperatura atinge 25°C. A luminosidade foi controlada com Tela Aluminet® 50% instalada a 2 metros de altura sobre o sistema hidropônico.

A temperatura do ar e a umidade relativa do ar (UR%) no interior da estufa estão representadas na Figura 1.

Figura 1. Comportamento da umidade relativa e a temperatura ao longo de três ciclos de experimento. Botucatu SP, 2021.

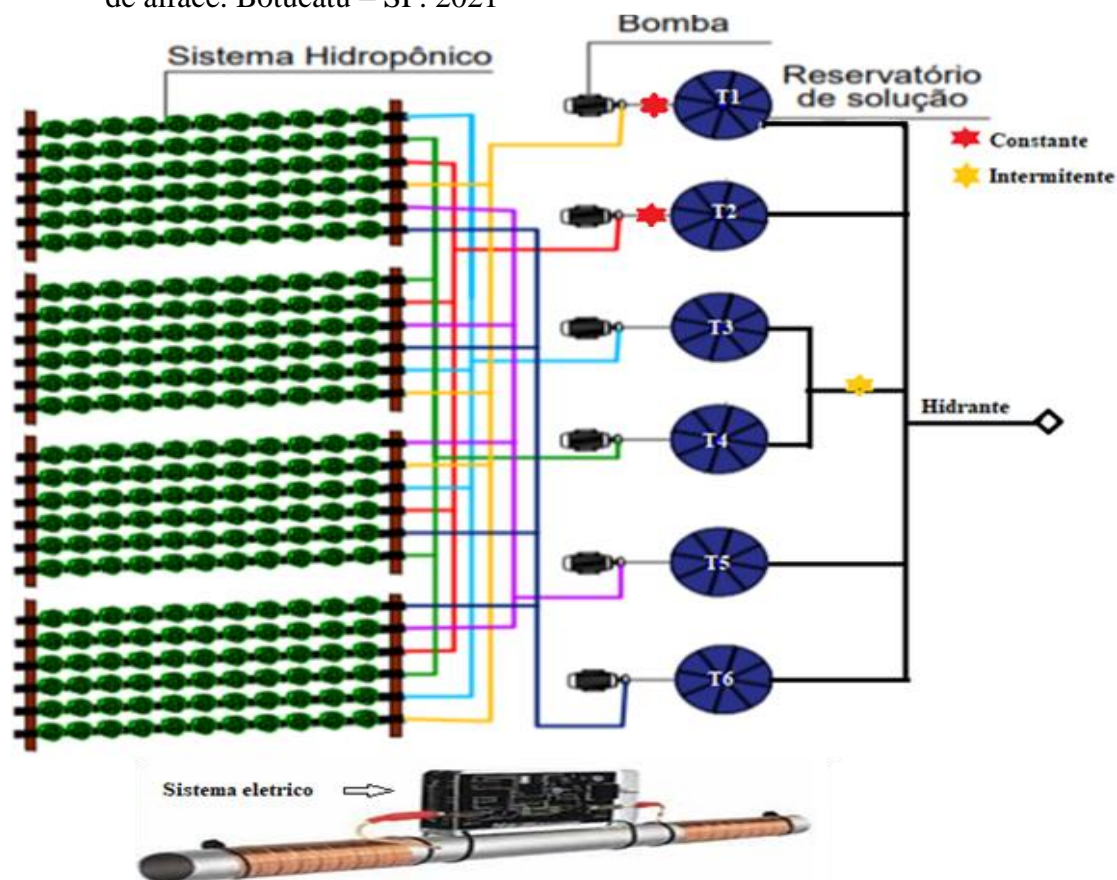


Fonte: Autores (2023)

O sistema hidropônico possui quatro bancadas (repetição) com 5% de inclinação e sustentadas por 5 cavaletes distanciados a 1,40 m: o primeiro cavalete possui 1,10 m e o último 0,80 m de altura. Cada bancada tem 1,2 m de largura, espaçadas a 70 centímetros entre si. Em cada bancada foram instalados seis perfis hidropônicos (tratamentos), cada

um com 6 metros de comprimento e espaçados em 20 cm um do outro. Cada perfil é composto por um tubo de PVC de 60 mm com 24 orifícios de 5 centímetros de diâmetro. As 20 plantas centrais foram consideradas como a parcela útil. O esquema do sistema hidropônico está demonstrado na Figura 2.

Figura 2. Croqui do desenho do sistema hidropônico utilizado no desenvolvimento da cultura de alface. Botucatu – SP. 2021



Fonte: Autor (2023)

A solução nutritiva utilizada por tratamento foi armazenada em reservatórios de 500 litros, devidamente mensurados. A irrigação da cultura desde o reservatório foi feita por meio de tubulação de polipropileno de 25 mm, na entrada do perfil hidropônico. O retorno da solução nutritiva dos canais de cultivo para os reservatórios foi realizado por gravidade com ajuda de tubulação de polipropileno de 40 mm fixada no final do perfil hidropônico por tratamento, até seu correspondente reservatório.

O sistema de bombeamento da solução nutritiva foi realizado por uma motobomba periférica de 0,5 cv FERRARI® em cada reservatório ou tratamento, controlada por *timer* eletromecânico programado para permanecer ligado por 15 minutos e desligado por 15 minutos, das 6:00 às 18:00 horas e 5 minutos a cada hora

das 18:00 às 6:00 com vazão entre 1,5 e 2,0 L por minuto.

A solução nutritiva utilizada foi baseada na recomendação de Furlani *et al.* (1999) com dosagens de 80% e 100% agora chamadas 80 e 100. Nos ciclos de cultivo com temperaturas elevadas a solução foi diluída em 20%, mantendo as proporções.

A exposição da solução nutritiva ao sistema eletrônico anti-incrustação ou pulsos elétricos de baixa frequência (3 – 32 khz) foi constante e intermitente, sendo constante a que manteve a exposição todo o tempo ao longo do ciclo da cultura e intermitente a que teve exposição da água somente no período do enchimento dos reservatórios, repetindo o processo em cada troca de solução nutritiva. Os demais tratamentos não tiveram exposição ao sistema e mantiveram as doses nutritivas.

As mudas de alface foram produzidas em espuma fenólica em ambiente protegido por um período de 30 dias, até que apresentassem 5 a 7 folhas verdadeiras e estivessem uniformes, depois foram transferidas para o sistema hidropônico.

4.4 Avaliações

Aos 24 dias após transplante (DAT) foram coletadas 4 plantas por parcela devidamente identificadas e transportadas em bandejas plásticas. A coleta consistiu em deixar uma planta no início e uma no final de cada bancada como efeito bordadura e proceder a coleta das quatro plantas seguintes em ordem de plantio, alternando o extremo da bancada em cada nova coleta. O efeito bordadura foi mantido ao longo do ciclo.

As variáveis analisadas foram: número de folhas, massa fresca da raiz e da parte aérea com auxílio de balança de precisão (0,01 g), massa seca de raiz e da parte aérea, obtida por meio de estufa de circulação de ar forçada, a temperatura de 65°C, até atingir peso constante por aproximadamente 72 horas e posteriormente determinada com auxílio de balança de precisão (0,01 g).

A clorofila foi medida entre as 7 e 10 h na folha com maior atividade fotossintética, utilizando duas tecnologias diferentes. A primeira com medidor eletrônico portátil de intensidade da cor verde das plantas (SPAD), modelo Digital SPAD 502 (Minolta Camera Co. Ltda), sendo realizadas quatro medições em cada folha, duas no lado esquerdo e duas no lado direito do limbo foliar e tomando a média. A segunda utilizou-se o medidor portátil de clorofila CM1000 Chlorophyll meter (Spectrum Technologies, Inc.) realizando quatro medições sobre a coroa de cada planta, localizando os lasers sobre as folhas

com distância de 1m entre a planta e o equipamento. Evitou-se regiões com nervuras secundárias.

A espectrofotometria foi feita coletando amostras de cada tratamento ao início do preparo da solução em garrafas de vidro devidamente fechadas e expostas ao sol entre cada troca da solução. As amostras foram analisadas na longitude de onda 430 no espectrofotômetro 600 plus em modo transmitância com o objetivo verificar a formação de algas.

4.5 Análises estatística

Em cada experimento, inicialmente foi checada a normalidade dos dados pelo teste de Anderson-Darling e posterior verificação da homocedasticidade (homogeneidade das variâncias) por meio do teste de Hartley. Os dados foram submetidos à análise de variância, com níveis de significância de 5% de probabilidade de erro. Quando significativas, as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância utilizando-se o programa estatístico R (versão 4.1.2). Os gráficos foram produzidos no programa SigmaPlot (versão 14.0).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises biométricas

As variáveis de número de folhas, massa fresca e seca da raiz e a parte aérea responderam à interação entre fatores de frequência e dose; frequência e ciclo; dose e ciclo de cultura. No entanto, as variáveis de massa seca da parte aérea, SPAD e índice de clorofila não tiveram interação entre os fatores de dose, ciclo e frequência como se apresenta na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para as variáveis de número de folhas, massa fresca e seca das raízes e parte aérea e o índice SPAD, clorofila e espectrofotometria da alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico, Botucatu, São Paulo. 2021

| Fonte de variação | Freq. | Doses | Ciclos | Freq. X Dose | Freq. X Ciclos | Doses X Ciclos | Doses X Ciclos X Freq. |
|-------------------|---------------------------|--------|---------|--------------|----------------|----------------|------------------------|
| Biométricos | Quadrado médio (p < 0,05) | | | | | | |
| N. Folhas | 0,401 | 0,007 | <0,0001 | 0,007 | 0,113 | 0,0015 | 0,03 |
| MF. Raiz | 0,381 | 0,003 | <0,0001 | 0,0003 | 0,002 | 0,041 | 0,040 |
| MS. Raiz | 0,230 | 0,027 | <0,0001 | 0,02 | 0,30 | 0,01 | 0,04 |
| MF. Pa | 0,234 | 0,0002 | <0,0001 | 0,0001 | <0,0001 | 0,0005 | 0,017 |
| MS Pa | 0,357 | 0,004 | <0,0001 | 0,004 | <0,0001 | 0,003 | 0,103 |
| SPAD | 0,126 | 0,20 | <0,0001 | 0,801 | 0,007 | 0,03 | 0,109 |
| IC | 0,142 | 0,809 | <0,001 | 0,004 | 0,180 | 0,10 | 0,275 |

MF: Massa fresca. MS: Massa seca. Pa: Parte aérea. IC: Índice de clorofila.

Fonte: Autores (2023)

Os valores médios das variáveis biométricas na cultura de alface constam na Tabela 2.

A interação na frequência constante de aplicação dos pulsos elétricos de baixa frequência apresentou redução nas variáveis número de folhas e massa fresca e seca da parte aérea.

A dosagem 80 mostrou melhor desempenho nas variáveis de massa fresca e seca de raiz e da parte aérea de forma geral.

O ciclo 3 obteve os melhores resultados seguido do ciclo 1 para as variáveis, massa seca e fresca de raiz e parte aérea. O melhor desempenho no SPAD foi apresentado no ciclo 3, seguido do ciclo 2. O ciclo 2 e 3 apresentaram melhores resultados para o número de folhas. O índice de clorofila e a espectrofotometria não apresentaram diferenças para nenhuma interação de frequência, doses e ciclo.

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão das variáveis de crescimento vegetativo da alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico, Botucatu, São Paulo. 2021

| Fonte de variação | | N. Folhas | MF. Raiz | MS. Raiz | MF. Pa |
|-------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Freq. | Constante | 24.93±4.32b | 37.24±12.9 | 1.98±0.66 | 174.4±76.3b |
| | Intermitente | 27.98±5.49 a | 41.83±13.56 | 2.42±0.81 | 268.4±109 a |
| | Sem | 27.58±6.04 a | 45.57±14.36 | 2.41±0.64 | 270.2±110.9 a |
| Doses | 80 | 27.57±6.22 a | 44.26±14.37 a | 2.38±0.72 a | 258.9±111.9 a |
| | 100 | 26.09±4.47 a | 38.83±12.96b | 2.16±0.74b | 216.5±101.9b |
| Ciclos | 1 | 20.35±1.87b | 42.74±8.67b | 2.44±0.65b | 273.97±34.85b |
| | 2 | 30.54±3.40 a | 29.22±6.85c | 1.65±0.38c | 131.2±62.9c |
| | 3 | 29.59±3.13 a | 52.67±13.4 a | 2.72±0.66 a | 308±112.8 a |
| Tratamento | | MS. Pa | SPAD | IC | Espectro |
| Freq. | Constante | 9.2±2.98b | 18.75±6.28 | 168.33±23.2 | 92.08±3.21 |
| | Intermitente | 13.01±4.51 a | 17.31±5 | 168.68±23.34 | 88.39±5.46 |
| | Sem | 13.41±4.59 a | 17.43±5.17 | 163.9±28.59 | 88.52±4.7 |
| Doses | 80 | 12.79±4.68 a | 17.48±5.12 | 166.74±23.07 | 88.41±5.64 |
| | 100 | 10.96±4.1b | 18.18±5.86 | 167.2±26.95 | 90.91±3.38 |
| Ciclos | 1 | 12.26±2.42b | 11.28±2.47c | 151.64±11.87 | - |
| | 2 | 8.52±3.27c | 19.01±1.89b | 152.66±14.71 | 92.06±4.05 |
| | 3 | 14.85±4.88 a | 23.19±2.59 a | 196.61±13.48 | 87.26±4.23 |

Doses: % da formulação. N: número. MS: massa seca. MF: massa fresca. IC: Índice de clorofila. - Análises não feito. Letras diferentes tem diferenças estatísticas.

Fonte: Autores (2023)

Os valores médios para as variáveis biométricas que apresentaram resultado significativo para a interação entre as doses e ciclos de produção, estão apresentadas na Figura 3.

O número de folhas (Figura 3A) apresentou aumento de 15% e 3,5% no ciclo 2 e 3, respectivamente, na dosagem 80, em relação à dosagem de 100 e superior ao ciclo 1 em 30,5% na média.

A massa fresca e seca de raiz (Figura 3B, C) apresentou redução de 37% no ciclo 2 em relação ao 1 e 3 em geral, podendo observar incremento médio de 9,3% e 12,5% na dosagem de 80 em relação a 100.

A massa fresca e seca da parte aérea (Figura 3D, E) no ciclo 1 e 3 teve incremento na média de 51,5% e 35,5% respectivamente, em relação ao ciclo 2, e a dosagem 80 gerou ganhos da ordem de 7,6%, 40% e 10% em relação a 100, com menor necessidade de nutrientes em

condições de temperatura acima da recomendada para a alface.

A intensidade da cor verde das plantas (SPAD), apresentou diferença entre ciclos de produtividade sem variação nas dosagens de 100 e 80. Valores médios foram encontrados no ciclo 2.

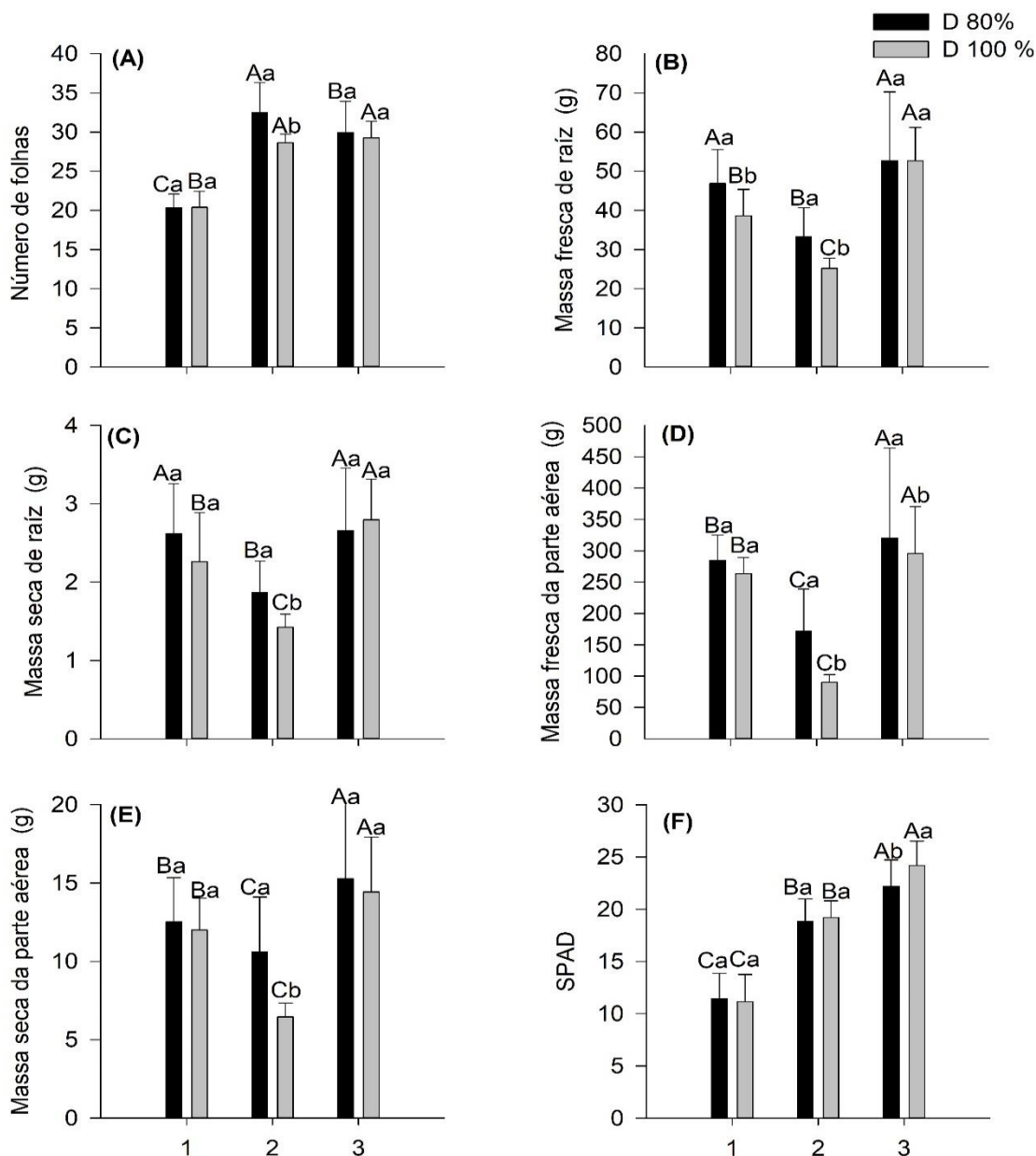
Os resultados apresentados mostram melhor desempenho na cultura da alface na dosagem de 80% da recomendada por Furlani *et al.* (1999), obtendo maior tolerância a condições de estresse produzidos pelo aumento da temperatura principalmente no ciclo 2, o que gerou maior quantidade de folhas e menor acúmulo de massa na raiz e na parte aérea. Já o índice SPAD exibiu comportamento indiferente às dosagens de fertilizante utilizadas.

O aumento de temperatura gera maior concentração de sais na solução nutritiva podendo ocasionar distúrbios nutricionais (XAVIER *et al.*, 2021). De

acordo com Cova *et al.* (2017), a absorção de nutrientes como o Ca e K são os mais afetados pela presença de Na e Cl na solução. A deficiência destes nutrientes

reduz o desenvolvimento das plantas, impactando o acúmulo de massa seca e fresca (TAIZ *et al.*, 2017).

Figura 3. Valores médios das variáveis biométricas na interação entre doses de fertilizante e ciclos de cultivo.



Letras maiúsculas se referem às diferenças estatísticas entre as variáveis de um mesmo gráfico e minúsculas às diferenças dentro de uma mesma variável. 1, 2, 3: Ciclo de produção.

Fonte: Autores (2023)

O índice SPAD tem relação direta com o estado nutricional da planta, nutriente como o nitrogênio tem participação direta na síntese de clorofila, o qual não foi limitado

no presente estudo e isso repercute na ausência de diferenças entre dosagem (TAIZ *et al.*, 2017). A condutividade elétrica acima de 2.5 dSm^{-1} geralmente ocasiona um

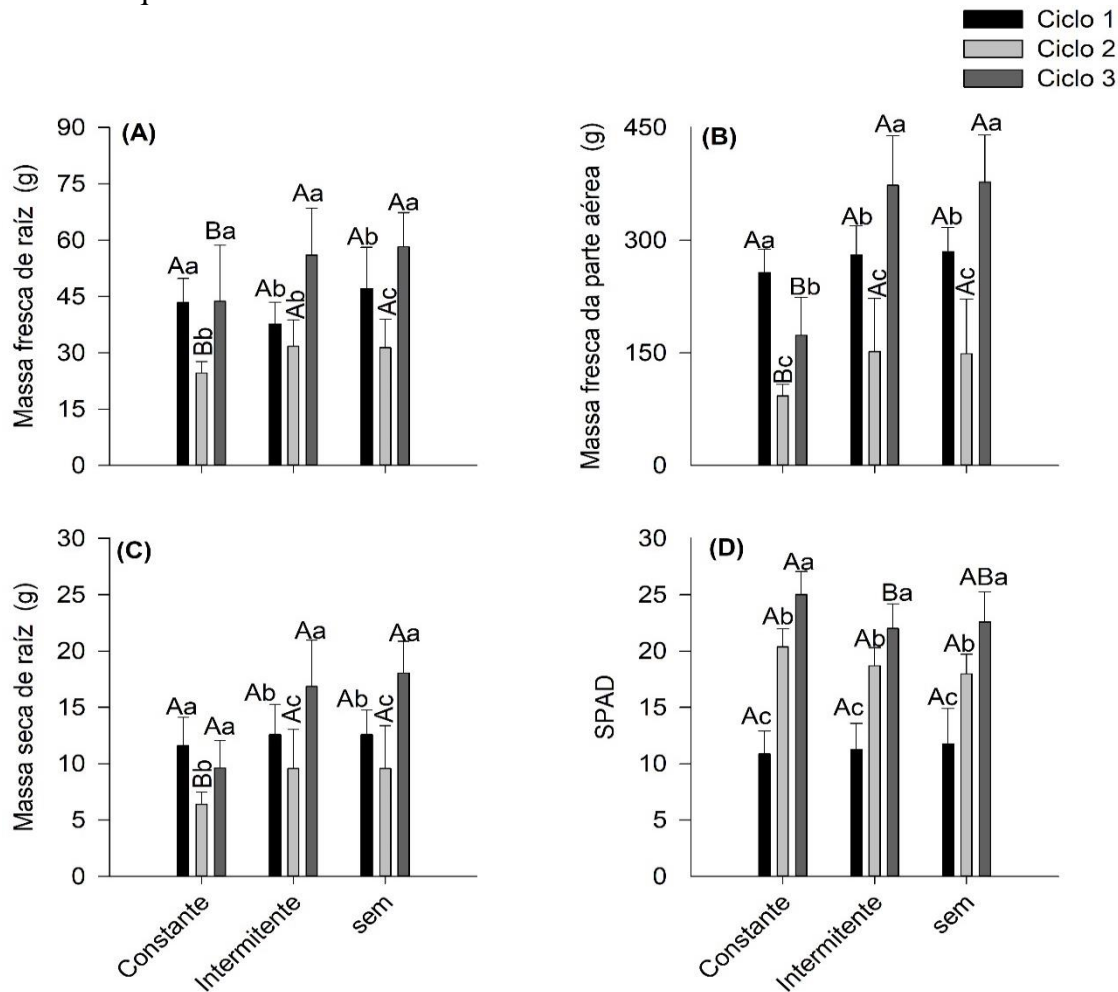
desbalanceamento no ajuste osmótico da planta e atrasam seu desenvolvimento (XAVIER *et al.*, 2021), o que foi observado no presente estudo no ciclo 2.

No geral, o incremento do número de folhas em detrimento do acúmulo de massa de raiz e parte aérea observado no presente estudo no ciclo 2 contradiz o relatado por Andrade (2019), que encontrou adequado desenvolvimento da alface em temperaturas acima de 25 °C. No entanto, os resultados obtidos nesta pesquisa concordam com Soares *et al.* (2020), o qual afirma que altas temperaturas associadas a altos níveis de CE, reduz o acúmulo de massa fresca e seca.

A utilização de menores concentrações de nutrientes reduz o impacto das altas temperaturas e melhora a qualidade da alface em comparação com concentrações maiores de nutrientes na solução, concordando com Luz *et al.* (2018) que obtiveram os melhores resultados em concentrações de 50% da solução Furlani *et al.* (1999).

Os valores médios das variáveis biométricas que apresentaram resultado significativo para a interação entre os ciclos de produção e na frequência no uso de pulsos elétricos de baixa frequência, estão apresentados na Figura 4.

Figura 4. Valores médios das variáveis biométricas na interação entre ciclos de cultivo vezes frequência dos tratamentos.



Letras maiúsculas se referem às diferenças estatísticas entre as variáveis de um mesmo gráfico e minúsculas às diferenças dentro de uma mesma variável.

Fonte: Autores (2023)

A massa fresca de raiz e da parte aérea (Figura 4A, B) apresentaram aumento de 8,5%, 17,3% e 38% nos ciclos 1 e 3 com frequência intermitente e sem, respectivamente, em relação à frequência constante e de modo geral foi superior ao ciclo 2 de 33% e 54% na média para cada variável.

A massa seca de raiz (Figura 4C) teve redução no acúmulo de 37% no ciclo 2 de forma geral. A frequência constante mostrou redução de 28,2% e 30%, em relação à intermitente e sem uso, respectivamente. Já por sua parte, o índice SPAD (Figura 4D) teve diferenças entre ciclos de forma constante em todas as frequências constante, intermitente e sem.

Estes resultados mostram que a aplicação constante de pulsos elétricos diminui o acúmulo de massa na cultura de alface, podendo gerar estresse nas plantas e consequentemente reduzir seu acúmulo de massa, padrão que se repetiu em cada ciclo. Lima (2021), não teve resultados conclusivos ao avaliar a influência do eletromagnetismo no desenvolvimento de feijão comum.

Liu *et al.* (2019) obtiveram resultados positivos no desenvolvimento das plantas ao utilizar eletromagnetismo, tecnologia similar à utilizada no presente trabalho. O tratamento da água para irrigação com esta tecnologia melhora a eficiência do uso da água e nutrientes (ABOBATTA, 2019), incrementa os teores de clorofila medidos mediante o índice SPAD (MENDONÇA, 2022). Resultados não comprovados no presente trabalho.

O uso de pulsos elétricos de baixa frequência ou sistema eletrônico anti-incrustação possui bons resultados na solubilidade de compostos como CaCO_3 e Fe que podem ser absorvidos pelas plantas (XIAO *et al.*, 2020), além da ajuda no controle da taxa de crescimento, viabilidade, adesão, e atividade metabólica de microrganismos como bactérias que consomem nutrientes da solução

(PIYADASA *et al.*, 2017; PIYADASA *et al.*, 2018; CHIBOWSKI *et al.*, 2018). Resultados variam dependendo dos materiais e o tempo de exposição ao sistema (GOSELIN *et al.*, 2018).

Os valores médios das variáveis biométricas que foram influenciadas pela interação entre a dosagem de fertilização e a frequência no uso de pulsos elétricos de baixa frequência estão apresentadas na Figura 5.

O número de folhas e a massa fresca de raiz (Figura 5A, B) teve diferenças significativas na dosagem 80 nos tratamentos sem frequência em 19% e 10% no tratamento com frequência intermitente em relação à dosagem 100, e inferior na frequência constante para a mesma dosagem.

A massa seca de raiz (Figura 5C) teve ganhos na ordem de 19% no tratamento sem frequência em favor da dosagem 80, não apresentando diferenças na variável nas frequências constante e intermitente em relação as dosagens utilizadas.

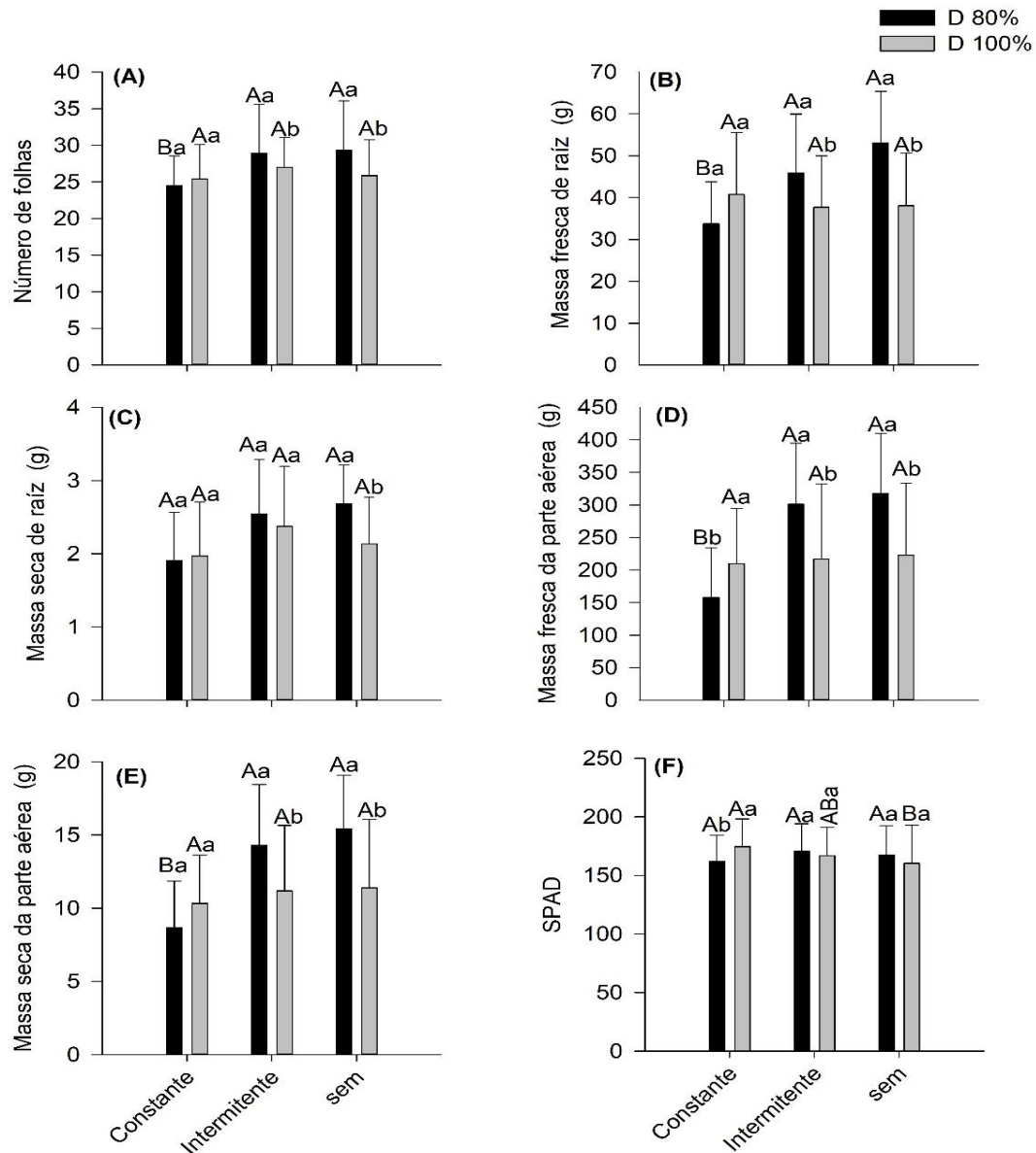
A massa fresca e seca da parte aérea (Figura 5D, E) expõe diferenças em favor da dosagem 80 de 29% e 25% nos tratamentos sem frequência e intermitente, sendo superiores à dosagem 100. Na frequência constante, a massa fresca e seca da parte aérea apresentou redução em 26% na dose 80, em relação a dose 100. O uso constante de pulsos elétricos de baixa frequência gerou uma redução no acúmulo de massa fresca.

O índice IC (Figura 5F) mostra diferenças estatísticas entre todos os tratamentos de frequência na dosagem 100 e superior em 10% na frequência constante em favor da dosagem 100, já entre dosagem as diferenças são reduzidas.

O uso do fluxo elétrico de baixa frequência interferiu negativamente no desenvolvimento das variáveis analisadas, quando utilizado permanentemente. Resultados contrários aos encontrados por Lima (2021) que reporta benefícios no desenvolvimento utilizando um sistema

eletromagnético na cultura de feijão e Sales, Santos e Padilha (2010) que reporta melhoria na germinação de alface.

Figura 5. Valores médios das variáveis biométricas na interação doses de fertilizante vezes frequência dos tratamentos.



Letras maiúsculas se referem às diferenças estatísticas entre as variáveis de um mesmo gráfico e minúsculas às diferenças dentro de uma mesma variável.

Fonte: Autores (2023)

O tratamento de forma intermitente da água de irrigação tem mais eficiência que seu uso constante no número de folhas, acúmulo de massa fresca de raiz e parte aérea e massa seca da parte aérea utilizando a

dosagem de 80 na cultura de alface hidropônica. Mendonça (2022) encontrou variações na clorofila e melhorias em variáveis de crescimento, reduzindo efeitos de estresse (TORRES *et al.*, 2020).

Existe maior eficiência de dosagem 80 sendo menor à solução padrão proposta por Furlani *et al.* (1999), resultados similares foram reportados por diversos autores como Vasconcelos *et al.* (2014) em *Coriandrum sativum*, Luz *et al.* (2012) em *Petroselinum crispum* e Luz *et al.* (2018) em *Artemisia absinthium*. Dosagem menores reduzem o estresse ocasionado pelo desbalanceamento do potencial osmótico em condições de estresse (TAIZ *et al.*, 2017, ANDRADE, 2019).

6 CONCLUSÃO

O uso de pulsos elétricos de baixa frequência de forma constante obteve menores resultados nas variáveis de crescimento na cultura de alface hidropônica.

Utilizar a dosagem de 80% da recomendada por Furlani *et al.* (1999) promoveu melhores resultados em condições de estresse por temperatura.

O tratamento da água de irrigação com pulsos elétricos de forma intermitente teve resultados similares ao tratamento convencional na cultura de alface hidropônica.

7 AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e à Coordenação de Pessoal de Nível Superior Capacitação (CAPES), pelo auxílio logístico e financeiro na realização do presente trabalho.

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-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.

ANDRADE, R. R. **Efeito da concentração da solução nutritiva em cultivares de alface em sistema hidropônico tipo NFT, em clima semiárido**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

CHIBOWSKI, E.; SZCZES, A. Magnetic water treatment a review of the latest approaches. **Chemosphere**, Oxford, v. 203, p. 54-67, 2018.

COVA, A. M. W.; FREITAS, F. T. O.; VIANA, P. C.; RAFAEL, M. R. S.; AZEVEDO NETO, A. D.; SOARES, T. M. Content of inorganic solutes in lettuce grown with brackish water in different hydroponic systems. **Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 3, p. 150-155. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p150-155>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/fvPwyjbZqG7w5HGYFRMXkhs/?lang=en#>. Acesso em: 20 jun. 2022.

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

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

GOSELIN, F.; MATHIEU, L.; BLOCK, J. C.; CARTERET, C.; MUHR, H.; JORAND, F. Assessment of an anti-scale low-frequency electromagnetic field device on drinking water biofilms. **Biofouling**, Chur, v. 34, n. 9, p. 1020-1031, 2018.

IEA. **Estatísticas da Produção Paulista**. Alface. São Paulo: IEA, 2020. Disponível em: http://ciagri.iea.sp.gov.br/nial/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1. Acesso em: 18 de março 2022.

LIMA, B. S. **A influência do eletromagnetismo no desenvolvimento do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*)**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Gestão Ambiental) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Tapes, 2021.

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. 10025, 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: 25 abr. 2022.

LUZ, J. M. Q.; ANDRADE, L. V.; DIAS, F. F.; SILVA, M. A. D.; HABER, L. L.; OLIVEIRA, R. C. Produção hidropônica de coentro e salsa crespa sob concentrações de solução nutritiva e posições das plantas nos perfis hidropônicos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n.1, p. 589-597, 2012.

LUZ, J. M. Q.; OLIVEIRA, R. C.; AGUILAR, A. S.; SANTOS, T. N. Cultivo de *Artemisia absinthium* L. sob concentrações de solução nutritiva em hidroponia. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 1, p. 117-128, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n220181082>. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1082>. Acesso em: 15 jan. 2020.

MAGALHÃES, A. G.; MENEZES, D.; RESENDE, L. V.; BEZERRA NETO, E. Desempenho de cultivares de alface em cultivo hidropônico sob dois níveis de condutividade elétrica. **Revista Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 3, p. 316-320, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000300013>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/S3tyCx3BtWJGqyCXRq86hC/?lang=pt>. Acesso em: 17-jun. - 2023.

MENDONÇA, C. R. O. S. G. **Tecnologia eletromagnética aplicada no controle de *meloidogyne javanica* em tomateiro**. 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.researchgate.net/publication/295899380_Characterization_of_biofilm_formation_in_natural_water_subjected_to_low-frequency_electromagnetic_fields. Acesso em: 03 fev. 2020.

- 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.
- 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, 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 - mar. - 2022.
- 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.
- SALES, F. H. S.; SANTOS, D. Y.; PADILHA, L. L. A influência do Campo Magnético na Germinação e no Crescimento de Vegetais. **Revista Eletrônica Multidisciplinar Pindorama do IFBA**, Eunápolis, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2010.
- SOARES, R. H.; SILVA, Ê. F. F.; SILVA, G. F.; CRUZ, A. F. S.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; ROLIM, M. R. Salinity and flow rates of nutrient solution on cauliflower biometrics in NFT hydroponic system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 4, p. 258-265, 2020.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TORRES, A. S.; SUEIRO, L.; REYES, M. Z.; SOCARRÁS, I. M. Extremely low frequency non-uniform magnetic fields induce changes in water relations, photosynthesis, and tomato plant growth. **International Journal of Radiation Biology**, London, v. 96, n. 7, p. 951-957, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1748912>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341170367_Extremely_low_frequency_non-uniform_magnetic_fields_induce_changes_in_water_relations_photosynthesis_and_tomato_plant_growth. Acesso em: 15 jun. 2023.
- VASCONCELOS, L. S. B.; BEZERRA NETO, E.; NASCIMENTO, C. W. A.; BARRETO, L. P. Desenvolvimento de plantas de coentro em função da força iônica da solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Bongi, v.19. n. 1, p. 11-19, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.12661/pap.2014.003>. Disponível em: <https://pap.emnuvens.com.br/pap/article/view/pap.2014.003>. Acesso em: 17 out. 2023.
- XAVIER, J. F.; AZEVEDO, C. A. V.; AZEVEDO, M. R. Q. A.; SALES, J. C. R.; OLIVEIRA, N. C.; FERNANDES, J. D. Nutritive solutions salinized with sodium chloride in the cultivation of crisp lettuce in a hydroponic system. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 14, p. e515101420437, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.20437>. Disponível em:

<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20437>. Acesso em: 17 out. 2023.

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, 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>. Acesso em: 15 out. 2023.