



LIS TAVARES ORDONES LEMOS

**INFLUÊNCIA DA ÁGUA TRATADA
MAGNETICAMENTE NA PRODUÇÃO E MANEJO DE
IRRIGAÇÃO DA ALFACE AMERICANA**

**LAVRAS-MG
2020**

LIS TAVARES ORDONES LEMOS

**INFLUÊNCIA DA ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE NA PRODUÇÃO E
MANEJO DE IRRIGAÇÃO DA ALFACE AMERICANA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, área de concentração Engenharia e Manejo de Irrigação, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus

Orientador

Prof. Dr. Valter Carvalho de Andrade Júnior

Coorientador

**LAVRAS-MG
2020**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Lemos, Lis Tavares Ordones.

Influência da água tratada magneticamente na produção e
manejo de irrigação da alface americana / Lis Tavares Ordones
Lemos. - 2020.

65 p. : il.

Orientador(a): Fábio Ponciano de Deus.

Coorientador(a): Valter Carvalho de Andrade Júnior.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Manejo de Irrigação. 2. Tratamento magnético da água. 3.
Lactuca sativa L. I. Deus, Fábio Ponciano de. II. Andrade Júnior,
Valter Carvalho de. III. Título.

LIS TAVARES ORDONES LEMOS

**INFLUÊNCIA DA ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE NA PRODUÇÃO E
MANEJO DE IRRIGAÇÃO DA ALFACE AMERICANA
MAGNETICALLY TREATED WATER INFLUENCE ON THE PRODUCTION AND
IRRIGATION MANAGEMENT OF ICEBERG LETTUCE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, área de concentração Engenharia e Manejo de Irrigação, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 06 de março de 2020

Prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus - UFLA

Prof. Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho - UFLA

Prof. Dr. Marcio Mesquita - UFG



Prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus

Orientador

Prof. Dr. Valter Carvalho de Andrade Júnior

Coorientador

**LAVRAS-MG
2020**

*A meus pais e irmãos, por sempre me apoiarem sem julgamentos, por me
darem todo o amor do mundo.
Ao Pedro por todo apoio em todos esses anos, mesmo nos momentos mais
difíceis.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Recursos Hídricos pela oportunidade e auxílio.

A todos os professores que me mostraram a grandeza de estudar e buscar na pesquisa formas de tornar nosso país melhor na área de irrigação e drenagem, em especial aos professores Valter Carvalho de Andrade Júnior pela coorientação e Fábio Ponciano de Deus pela orientação, paciência e ensinamentos que levarei para a vida toda.

Aos técnicos do Departamento de Recursos Hídricos, Elvis e Renato e ao Jean, por toda ajuda durante o experimento, não medindo esforços para que tudo desse certo. E a todos os funcionários do DRS.

Aos amigos e colegas do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, em especial a Flávia, Rodrigo, Ricardo, Virgílio e André Andrean e aos alunos de graduação Pedro Bianchim e João Aredes pela ajuda na condução do experimento, especialmente na colheita e levantamento de dados.

Aos meus pais Fernando e Meire por todo o amor e força para que eu seguisse esse caminho da pesquisa. Aos meus irmãos Nara e Lelis por cada sorriso por minhas conquistas.

Ao Pedro, por me dar forças a cada encontro e a cada despedida semanal, por todo amor, companheirismo e apoio.

À toda minha família, que é enorme e mesmo assim me fazem sentir especial.

À minhas amigas e amigos, perto ou longe, que sempre me apoiam e sorriem a cada conquista, vocês são parte disso.

À Ana Lívia e Lívia por me darem uma família e um lar em Lavras, tornando a caminhada mais leve.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

MUITO OBRIGADA.

RESUMO

Buscando reduzir o consumo de água e aumentar a produção agrícola, novas técnicas de manejo de irrigação são estudadas. Utilizar a tensiometria e o tratamento magnético da água são alternativas promissoras. Devido a alface ser uma cultura exigente em água e de grande importância para a horticultura, o manejo correto da irrigação torna-se fundamental. Nesse sentido, avaliou-se a influência do uso da água submetida ao tratamento magnético com irrigação por gotejamento, sob diferentes tensões de água no solo para início da irrigação, nas respostas de manejo da irrigação, no desenvolvimento e na produção da alface americana Lucy Brown (*Lactuca sativa* L.) em casa de vegetação. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial com dois fatores, combinando dois tipos de água (água tratada magneticamente - AM e água sem tratamento magnético - AC) e quatro tensões de água no solo para início das irrigações (T1 – 15 kPa, T2 – 25 kPa, T3 – 40 kPa e T4 – 70 kPa), com três repetições. A curva de retenção de água do solo utilizada para realizar o manejo da irrigação foi realizada em campo. Os parâmetros avaliados foram: - lâmina bruta de irrigação; - número de eventos de irrigação; - massa fresca e seca total da parte aérea; - massa fresca e seca da cabeça comercial; - massa fresca e seca da raiz; - massa fresca e seca do caule; - comprimento e diâmetro do caule; - porcentagem de folhas com presença de *tipburn*; - produtividade total e comercial; - eficiência do uso da água total e comercial; - área coberta; - massa unitária; - conteúdo de massa seca; - coeficiente de evapotranspiração; - consumo de energia elétrica. De maneira geral os tratamentos com água magnetizada apresentaram menor número de irrigações, diminuindo a quantidade de água aplicada e energia elétrica consumida no cultivo da alface americana. Apesar de determinar maior eficiência no uso da água, o tratamento magnético pode ter dificultado a retirada de água do solo pela cultura, principalmente com o aumento das tensões de água no solo.

Palavras-chave: Manejo da irrigação. Tratamento magnético da água. *Lactuca sativa* L..

ABSTRACT

Aiming to reduce water consumption and increase agricultural production, new irrigation management techniques are being studied. Using tensiometry and magnetic water treatment are promising alternatives. Because lettuce is a demanding crop in water and of great importance for horticulture, it is important to carry out the correct irrigation management. This study aimed to evaluate the influence of the use of water subjected to magnetic treatment with drip irrigation, under different water tensions in the soil to start irrigation, on the responses of irrigation management, on the development and production of Lucy Brown lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a greenhouse. The experiment was conducted in a greenhouse, with a completely randomized design in a factorial scheme with two factors, combining two types of water (magnetically treated water - AM and water without magnetic treatment - AC) and four water tensions in the soil to start irrigation (T1 - 15 kPa, T2 - 25 kPa, T3 - 40 kPa and T4 - 70 kPa), with 3 repetitions. Soil water retention curves were performed in the field. The soil water retention curve used to perform irrigation management was obtained with field data. The evaluated parameters were: - gross irrigation depth; - number of irrigation events; - total fresh and dry mass of the aerial part; - commercial head fresh and dry mass; - fresh and dry root mass; - fresh and dry stem mass; - stem length and diameter; - percentage of leaves with tipburn; - total and commercial productivity; - total and commercial water use efficiency; - covered area; - unit mass; - dry matter content; - coefficient of evapotranspiration; - electric power consumption. In general, the treatments with magnetized water showed a lower number of irrigations, decreasing the amount of water applied and electric energy consumed in the cultivation of iceberg lettuce. Despite determining greater water use efficiency, the magnetic treatment may have made it difficult to remove water from the soil by the crop, especially with the increase in soil water tension.

Keywords: Irrigation management. Water magnetic treatment. *Lactuca sativa* L.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE.....	9
1 INTRODUÇÃO	10
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	14
ARTIGO 1 – TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO DO MANEJO DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DA ALFACE LUCY BROWN	15
ARTIGO 2 - DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DA ALFACE AMERICANA IRRIGADA COM ÁGUA SUBMETIDA AO TRATAMENTO MAGNÉTICO.....	16

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A irrigação é uma técnica que, quando manejada corretamente, proporciona às plantas atingir o seu potencial produtivo, dificultando o surgimento de doenças, minimizando a lixiviação de nutrientes, bem como otimizando o uso de água e energia (KOETZ et al., 2006). Entretanto, devido à necessidade de incremento das fronteiras agrícolas que demandaram mais água para o sistema produtivo, associado às alterações climáticas que afetam a disponibilidade hídrica (ANA, 2017; DA CUNHA et al., 2014), novas técnicas e produtos que visem o aumento da produtividade das culturas, com uso eficiente da água devem ser alvo de pesquisas, visando além da otimização econômica do empreendimento, a redução dos impactos ambientais oriundos do uso de recursos hídricos (VALNIR JÚNIOR et al., 2017).

O manejo da irrigação via tensiometria, pelo uso de curvas de retenção de água no solo realizadas no local de implantação da cultura (*in situ*) em comparação ao uso de curvas convencionais realizadas em laboratório, é uma possível alternativa para maximizar o uso da água de irrigação (BRITO et al., 2011). De acordo com alguns autores, a curva de retenção de água no solo é uma característica intrínseca de cada solo, sendo dependente da densidade, da estrutura e da textura, onde mudanças nesses parâmetros determina diferenciação no ponto referente à capacidade de campo (BRITO et al., 2011; FAZACKERLEY; LAWRENCE, 2012). De acordo com BRITO et al. (2011), curvas de retenção de água no solo confeccionadas em laboratório superestimam o valor de capacidade de campo do solo em decorrência da modificação das propriedades físicas do mesmo, levando a um manejo incorreto da irrigação.

Outra alternativa que tem sido alvo de estudos é o tratamento magnético da água de irrigação. Estudos mostram que a água tratada magneticamente sofre modificações físicas e químicas, onde os aglomerados de moléculas de água são reduzidos, assumindo formas mais simples, com ligações entre si mais fortes. Essas alterações possibilitam uma maior facilidade de penetração nas membranas celulares das plantas, o que sugere aceleração do crescimento das plantas (TOLEDO; RAMALHO; MAGRIOTIS, 2008; SURENDRAN; SANDEEP; JOSEPH, 2016). Alguns autores relataram que o tratamento magnético da água de irrigação proporcionou aumento da viscosidade e diminuição da tensão superficial da água, o que fez com que a umidade do solo permanecesse por mais tempo (AL-OGAIDI et al., 2017; MOSTAFAZADEH-FARD et al., 2011; SURENDRAN; SANDEEP; JOSEPH, 2016).

De maneira geral, o intuito das pesquisas com o uso da água tratada magneticamente na agricultura irrigada é reduzir a quantidade de água utilizada, mantendo a produtividade e a qualidade dos produtos. Alguns pesquisadores mostram que a irrigação com água tratada

magneticamente é uma alternativa ecológica e traz inúmeros benefícios à agricultura, tais como aumento na produtividade, redução no consumo de água, amadurecimento precoce, melhor germinação de sementes, redução de doenças, aumento na qualidade da planta, aumento na absorção de nutrientes e minerais nas sementes e frutos, aumento na eficiência do uso dos fertilizantes e redução de custo operacional, além de permitir o uso de água de baixa qualidade à irrigação (salina ou de rejeito), em solo salino (ABEDINPOUR; ROHANI, 2017; BABALOO et al., 2018; DA SILVA; DOBRÁNSZKI, 2014; EL-SHAFIK EL-ZAWILY et al., 2019; HOZAYN et al., 2016; KONEFAŁ-JANOCHA et al., 2018; MAHESHWARI; GREWAL, 2009; YUSUF; OGUNLELA, 2017, 2018).

Estudos utilizando este tratamento em diversas culturas foram realizados, como por exemplo com canola (HOZAYN et al., 2016), berinjela e feijão de corda (SURENDRAN; SANDEEP; JOSEPH, 2016), mudas de alface americana (PRADELA et al., 2018), entre outros, e os resultados tem sido promissores quanto ao aumento da produtividade, diminuição do ciclo da cultura devido ao amadurecimento precoce e aumento da massa fresca e seca das culturas. Especificamente para a cultura da alface, estudos com diferentes tipos e cultivares de alface irrigada com água tratada magneticamente apresentaram aumento da massa fresca e seca total, da produtividade, redução de volume de água utilizado, maior desenvolvimento da raiz, e maior qualidade do produto final (PUTTI et al., 2015a, 2015b).

Para o sistema produtivo da alface, é de suma importância o correto manejo da irrigação, pois é uma cultura que possui elevada exigência hídrica e periodicidade de reposição (KOETZ et al., 2006) e nutrientes, e condições meteorológicas de luminosidade adequadas (BAUDOIN et al., 2017). A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça folhosa que representa importante parcela na dieta da população brasileira por ser considerada uma fonte rica de macro e micronutrientes como o ferro, magnésio, zinco, selênio (entre outros), além de sais minerais e vitaminas, principalmente a vitamina A (BAUDOIN et al., 2017). No ano de 2016, 50% da área para produção de hortaliças foi referente à alface, produzindo 575.5 mil toneladas, sendo a alface americana a segunda de maior importância econômica (KIST et al., 2019).

Baseado nessas informações, espera-se que o manejo da irrigação na cultura da alface americana cv. Lucy Brown, via tensiometria, associado ao uso de água submetida ao tratamento magnético sob diferentes tensões para início da irrigação, determine redução da lâmina de irrigação e do consumo de energia elétrica, bem como melhor desenvolvimento e produtividade da cultura implantada em casa de vegetação e irrigada via gotejamento. Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar a influência do uso da água submetida ao

tratamento magnético com irrigação por gotejamento, sob diferentes tensões de água no solo para início da irrigação, nas respostas de manejo da irrigação, no desenvolvimento e na produção da alface americana Lucy Brown (*Lactuca sativa* L.) em casa de vegetação.

REFERÊNCIAS

- ABEDINPOUR, M.; ROHANI, E. Effects of magnetized water application on soil and maize growth indices under different amounts of salt in the water. **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 7, n. 3, p. 319–325, set. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília - DF: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>.
- AL-OGAIDI, A. A. M. et al. The influence of magnetized water on soil water dynamics under drip irrigation systems. **Agricultural Water Management**, v. 180, p. 70–77, 2017.
- BABALOO, F. et al. The effect of magnetized water on some characteristics of growth and chemical constituent in rice (*Oryza sativa* L.)Var Hashemi. **EurAsian Journal of BioSciences**, v. 12, n. 1, p. 129–137, 2018.
- BAUDOIN, W. et al. **Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable production in the South East European countries - Principles for sustainable intensification of smallholder farms**. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Ed.)**FAO Plant Production and Protection Paper Nr 230**. Rome: [s.n.]. 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i6787e.pdf>>.
- BRITO, A. DOS S. et al. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 1939–1948, dez. 2011.
- DA CUNHA, D. A. et al. Efeitos das mudanças climáticas sobre a adoção de irrigação no Brasil. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 36, n. 1, p. 1–9, 2014.
- DA SILVA, J. A. T.; DOBRÁNSZKI, J. Impact of Magnetic Water on Plant Growth. **Environmental and Experimental Biology**, v. 12, n. 1, p. 137–142, 2014.
- EL-SHAFIK EL-ZAWILY, A. et al. Application of magnetic field improves growth, yield and fruit quality of tomato irrigated alternatively by fresh and agricultural drainage water. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 181, n. June, p. 248–254, 2019.
- FAZACKERLEY, S.; LAWRENCE, R. Automatic in situ determination of field capacity using soil moisture sensors. **Irrigation and Drainage**, v. 61, n. 3, p. 416–424, jul. 2012.
- HOZAYN, M. et al. Applications of magnetic technology in agriculture: A novel tool for improving crop productivity (1): Canola. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 5, p. 441–449, 4 fev. 2016.
- KIST, B. B. et al. **Anuário Brasileiro de Brazilian Horti & Fruti 2019**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2019. Disponível em: <<http://www.editoragazeta.com.br/anuario-brasileiro-de-hortifruti-2019/>>.
- KOETZ, M. et al. Effect of potassium doses and irrigation frequency in the production of the american lettuce in greenhouse condition. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 730–737, dez. 2006.

- KONEFAŁ-JANOCHA, M. et al. The effect of stationary and variable electromagnetic fields on the germination and early growth of radish (*Raphanus sativus*). **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 28, n. 2, p. 709–715, 20 dez. 2018.
- MAHESHWARI, B. L.; GREWAL, H. S. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 8, p. 1229–1236, 2009.
- MOSTAFAZADEH-FARD, B. et al. Effects of magnetized water and irrigation water salinity on soil moisture distribution in trickle irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 137, n. 6, p. 398–402, 2011.
- PRADELA, V. A. et al. Production of lettuce changes in response to the use of magnetically treated water. **Biosystems Engineering**, v. 12, n. 3, p. 299–306, 2018.
- PUTTI, F. F. et al. Fuzzy modeling of development of sheets number in different irrigation levels of irrigated lettuce with magnetically treated water. **IJCCI 2015 - Proceedings of the 7th International Joint Conference on Computational Intelligence**, v. 2, n. Ijcci, p. 162–169, 2015a.
- PUTTI, F. F. et al. Response of lettuce crop to magnetically treated irrigation water and different irrigation depths. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 22, p. 2300–2308, 28 maio 2015b.
- SURENDRAN, U.; SANDEEP, O.; JOSEPH, E. J. The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, water and soil characteristics. **Agricultural Water Management**, v. 178, p. 21–29, 2016.
- TOLEDO, E. J. L.; RAMALHO, T. C.; MAGRIOTIS, Z. M. Influence of magnetic field on physical-chemical properties of the liquid water: Insights from experimental and theoretical models. **Journal of Molecular Structure**, v. 888, n. 1–3, p. 409–415, 2008.
- VALNIR JÚNIOR, M. et al. Desenvolvimento de um software para o manejo da microirrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 2, p. 1324–1330, 27 mar. 2017.
- YUSUF, K. O.; OGUNLELA, A. O. Effects of deficit irrigation on the growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum*) irrigated with magnetised water. **Environmental Research, Engineering and Management**, v. 73, n. 1, p. 59–68, 2017.
- YUSUF, K. O.; OGUNLELA, A. O. Effect of magnetically treated water on precipitation of some macro elements in the soil for tomato growth. **FUOYE Journal of Engineering and Technology**, v. 3, n. 2, p. 108–112, 1 dez. 2018.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

Artigos elaborados de acordo com as normas do periódico que serão submetidos.

ARTIGO 1 – TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO DO MANEJO DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DA ALFACE LUCY BROWN

Resumo

O uso da água na agricultura irrigada vem se tornando uma preocupação nos últimos anos, onde para reduzir o consumo de água, novas técnicas e tecnologias de manejo vem sendo estudados. Nesse sentido, objetivou-se com o presente estudo avaliar o manejo da irrigação para cultura da alface americana Lucy Brown (*Lactuca sativa* L.), sob diferentes tensões de água no solo, com água tratada magneticamente e com curva de retenção de água no solo realizada em campo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial com dois fatores, combinando dois tipos de água (água tratada magneticamente - AM e água sem tratamento magnético - AC) e quatro tensões de água no solo para início das irrigações (T1 – 15 kPa, T2 – 25 kPa, T3 – 40 kPa e T4 – 70 kPa), com três repetições. A tensão de água no solo em campo foi medida com auxílio de tensiômetros convertendo em umidade por meio de curva de retenção de água no solo realizada em campo. Avaliou-se o número de irrigações, o total de lâmina bruta de irrigação, o coeficiente de evapotranspiração e o consumo de energia elétrica. De maneira geral os tratamentos com água magnetizada apresentaram menor frequência de irrigação, ou seja, menor número de irrigações, diminuindo a quantidade de água aplicada, coeficiente de evapotranspiração e energia elétrica consumida no cultivo da alface americana.

Palavras-chave: Gotejamento, tratamento magnético, tensão de água no solo, curva de retenção.

OPTIMIZATION TECHNIQUES FOR IRRIGATION MANAGEMENT FOR THE LUCY BROWN LETTUCE CROP

Abstract

Water use in irrigated agriculture has become a concern in recent years, where to reduce water consumption, new management techniques and technologies have been studied. In this sense, the objective of the present study was to evaluate the irrigation management for the cultivation of Lucy Brown lettuce (*Lactuca sativa* L.), under different soil water tensions, with magnetically treated water and with a soil water retention curve performed in the field. The experiment was conducted in a greenhouse, with a completely randomized design in a factorial scheme with two factors, combining two types of water (magnetically treated water - AM and water without magnetic treatment - AC) and four soil water tensions to start irrigation. (T1 - 15 kPa, T2 - 25 kPa, T3 - 40 kPa and T4 - 70 kPa), with three repetitions. Soil water tension was measured with the aid of tensiometers converting to moisture through a soil water retention curve performed in the field. The number of irrigations, the total irrigation depth, the evapotranspiration coefficient and the electricity consumption were evaluated. In general, the treatments with magnetized water showed a lower frequency of irrigation, that is, a lower number of irrigations, decreasing the amount of water applied, evapotranspiration coefficient and electrical energy consumed in the cultivation of iceberg lettuce.

Keywords: Drip irrigation, magnetic treatment, soil water tension, retention curve.

41 1. Introdução

42 O incremento na eficiência do uso da água na agricultura irrigada e o aumento da
43 produtividade agrícola tem se tornado um dos principais focos de inúmeras investigações de
44 centros de pesquisa (Valnir Júnior et al., 2017). Juntamente o mercado tem investido no
45 desenvolvimento de técnicas e tecnologias visando reduzir o consumo de água, por outro
46 mantendo ou até aumentando a produção.

47 Recentemente tem-se avaliado na agricultura irrigada o manejo da irrigação com água
48 submetida ao tratamento magnético, tendo-se observado benefícios produtivos e qualitativos
49 na produção, além de proporcionar economia de água (Maheshwari and Grewal, 2009;
50 Surendran et al., 2016; Yusuf and Ogunlela, 2017a). A magnetização da água vem sendo
51 utilizada nos últimos anos como uma alternativa ecológica para muitas áreas além da
52 agricultura, como também na indústria, tratamento de esgoto, medicina e veterinária, pois se
53 trata de uma tecnologia que não produz resíduos e não necessita de energia para seu
54 funcionamento quando se utiliza um campo magnético fixo (Esmaeilnezhad et al., 2017).

55 O uso da água com tratamento magnético para irrigação em cultivos apresentou
56 diversos benefícios no aumento de produtividade, na redução do consumo de água, no
57 amadurecimento precoce, na redução do ciclo produtivo da cultura, na redução da incidência
58 de doenças, na melhoria da germinação, no aumento do conteúdo de proteína, clorofila e
59 aumento da atividade enzimática, no aumento na qualidade da planta, no aumento na
60 eficiência do uso da água e fertilizantes, e na manutenção da umidade do solo por maior
61 tempo (Da Silva, Dobránszki, 2014; Haq et al., 2016; Hozayn et al., 2016; Surendran,
62 Sandeep, Joseph, 2016; Yusuf and Ogunlela, 2017a, 2017b). De acordo com Surendran,
63 Sandeep e Joseph (2016), o uso de água tratada magneticamente promove a manutenção da
64 umidade do solo por maior tempo, podendo esse fato explicar os incrementos de rendimento
65 produtivo e na eficiência do uso da água.

66 De acordo com alguns resultados de pesquisa, a água submetida ao tratamento
67 magnético sofre alterações na sua estrutura física (diminuição das ligações internas de
68 hidrogênio dos clusters, diminuindo seu tamanho e fortalecendo as ligações entre os clusters)
69 e na sua composição química, modificando também as propriedades ópticas,
70 eletromagnéticas, termodinâmicas e mecânicas, tais como a diminuição tensão superficial, o
71 aumento da viscosidade, a constante dielétrica, o ponto de congelamento e ebulição, e a
72 condutividade elétrica (Khoshravesh-Miangoleh and Kiani, 2014; Mostafazadeh-Fard et al.,

73 2011; Surendran, Sandeep and Joseph, 2016; Toledo, Ramalho, Magriotis, 2008). Cai et al.
74 (2009) salientam que o aumento da viscosidade e a diminuição da tensão superficial nas águas
75 submetidas ao tratamento magnético, se assemelha à diminuição da temperatura da água.

76 Baseado nas informações expostas acima, espera-se que o manejo da irrigação via
77 solo, com curva de retenção de água no solo realizada em campo, associado ao uso de água
78 submetida ao tratamento magnético, determine redução da lâmina de irrigação e do consumo
79 de energia elétrica em determinado cultivo. Nesse sentido, objetivou-se com o presente estudo
80 avaliar o manejo da irrigação na cultura da alface americana Lucy Brown (*Lactuca sativa* L.),
81 sob diferentes tensões de água no solo, com água tratada magneticamente, com curva de
82 retenção de água no solo realizada em campo.

83 **2. Material e métodos**

84 **2.1. Local do experimento**

85 O experimento foi conduzido em casa de vegetação (7x30 m de dimensão, composto
86 por filme plástico transparente aditivado anti-UV (150 µm) na parte superior, e tela
87 antiafídeos nas laterais), no sul do estado de Minas Gerais - Brasil (21°14'S, 45°00'O e 910
88 m). O clima da região segundo a classificação climática de Köppen-Geiger é Cwa, com
89 temperatura média anual do ar de 20.4°C e precipitação média anual de 1460 mm (Alvares et
90 al., 2013). No decorrer do experimento realizou-se o monitoramento da temperatura e da
91 umidade relativa com um termohigrômetro digital (modelo HT-600, da empresa Instrutherm,
92 São Paulo – SP, Brasil), instalado em abrigo (2 m em relação a superfície) no interior da casa
93 de vegetação.

94 O solo da área experimental foi classificado como sendo um Latossolo Vermelho
95 Distroférico (LVd) - Typic Hapludox (Embrapa, 2013; Grohskopf et al., 2015). Na Tabela 1
96 visualiza-se o resultado da análise química e física do solo, referente às profundidades de 0 a
97 20 cm e 20 a 40 cm.

98 Tabela 1 - Análise química e física do solo da área experimental, referente às profundidades
99 de 0 a 20 e 20 a 40 cm¹.

Característica (unidade)	Profundidade (cm)		Característica (unidade)	Profundidade (cm)	
	0 - 20	20 - 40		0 - 20	20 - 40
pH	6.60	6.40	M.O. (dag kg ⁻¹)	2.96	2.39
K (mg dm ⁻³)	87.00	39.22	P-Rem (mg L ⁻¹)	67.10	67.70
P (mg dm ⁻³)	10.03	4.89	Zn (mg dm ⁻³)	2.98	1.79
Na (mg dm ⁻³)	-	-	Fe (mg dm ⁻³)	63.13	57.76
Ca (cmolc dm ⁻³)	4.82	4.16	Mn (mg dm ⁻³)	85.78	68.12
Mg (cmolc dm ⁻³)	2.10	1.83	Cu (mg dm ⁻³)	5.46	5.27
Al (cmolc dm ⁻³)	0.04	0.04	B (mg dm ⁻³)	0.28	0.27
H+Al (cmolc dm ⁻³)	1.03	1.10	S (mg dm ⁻³)	64.37	61.33
SB (cmolc dm ⁻³)	7.14	6.09	Areia (%)	10	
t (cmolc dm ⁻³)	7.18	6.13	Silte (%)		29
T (cmolc dm ⁻³)	8.17	7.19	Argila (%)		61
V (%)	87.43	84.71	ρ _s (g cm ⁻³)		1,14
Mg (%)	0.56	0.65	-		-

100 ¹K - potássio; P - fósforo; Na sódio; Ca - cálcio; Al - alumínio; H+Al - acidez potencial com extrator
101 SMP; SB - soma de base trocáveis; t - capacidade de troca catiônica efetiva; T - capacidade de troca
102 catiônica a pH 7.0; V - Índice de saturação de bases; Mg - magnésio; M.O. - Matéria Orgânica; P-Rem
103 - fósforo remanescente; Zn - zinco; Mn - manganês; Cu - cobre; B - boro; S - enxofre; ρ_s - massa
104 específica do solo.

105 Com relação à água utilizada, o pH médio da água comum foi da ordem de 6.03, e
106 6.45 para a água submetida ao tratamento magnético. A condutividade elétrica média foi em
107 torno de 126.83 e 113.67 μS para água comum e para água submetida ao tratamento
108 magnético, respectivamente.

109 2.2. Manejo da irrigação e condução experimental

110 A avaliação do manejo da irrigação foi realizada no cultivo da alface americana Lucy
111 Brown (*Lactuca sativa* L.), que foi transplantada em canteiro construído manualmente (1.2 x
112 2.4 m = 2.88 m²), 23 dias após a semeadura (momento da ocorrência de 4 a 5 folhas
113 definitivas), no espaçamento de 0.30 x 0.30 m (32 plantas por canteiro).

114 O manejo da irrigação baseou-se na definição do momento e da quantidade a ser
115 irrigada de forma indireta pela umidade do solo estimada pelo método da tensiometria, onde
116 para isso determinou-se a curva de retenção de água no solo em campo.

117 2.2.1. Determinação da curva de retenção de água no solo

118 Para a determinação da curva de retenção de água no solo em campo, selecionaram-se
119 dois canteiros da área, sendo um para a avaliação do uso da água tratada magneticamente
120 (AM), e o outro para o uso da água denominada como comum ou sem tratamento magnético
121 (AC). Esse procedimento foi realizado após a incorporação da adubação de plantio, visando
122 avaliar as características de retenção de água do solo que serão submetidas às plantas.

123 Os canteiros foram delimitados por uma lâmina de PVC até 50 cm de profundidade,
124 evitando o movimento lateral da água e promovendo apenas a ocorrência da drenagem e da
125 evaporação da água durante o teste.

126 Com o intuito de promover a avaliação com repetitividade, em cada canteiro foram
127 instalados seis tensiômetros a 12.5 cm (profundidade definida para indicar a irrigação), seis a
128 25 cm (verificar a quantidade de água na profundidade efetiva das raízes da alface), e outros
129 três a 40 cm (profundidade de avaliação para garantir saturação do perfil do solo).

130 Após a saturação do solo (garantida pela leitura nula no tensiômetro em todas as
131 profundidades), realizou-se a cobertura do canteiro com lona para evitar a evaporação da
132 água, garantindo a ocorrência do equilíbrio pela drenagem, podendo-se determinar a umidade
133 e a leitura do tensiômetro na capacidade de campo. Após atingido o equilíbrio, retirou-se a
134 lona com o intuito de promover o secamento do solo até o limite recomendado de leitura do
135 tensiômetro (-80 kPa) (Azevedo and Silva, 1999). Em todo o processo foram realizadas
136 leituras dos tensiômetros concomitantemente com a determinação da umidade do solo pelo
137 método padrão (método gravimétrico), onde a curva foi determinada para a profundidade de
138 12.5 cm. As coletas foram realizadas com maior periodicidade no primeiro dia (0, 3, 6, 12 e
139 24 horas após a saturação), e nos demais dias com intervalo de 24 horas. As umidades
140 gravimétricas foram convertidas em umidades volumétricas multiplicando pela massa
141 específica do solo após a confecção do canteiro. Para a leitura dos tensiômetros utilizou-se um
142 tensímetro digital (modelo TENSIMETER, da empresa Hidrodinâmica Irrigação, Piracicaba –
143 SP, Brasil).

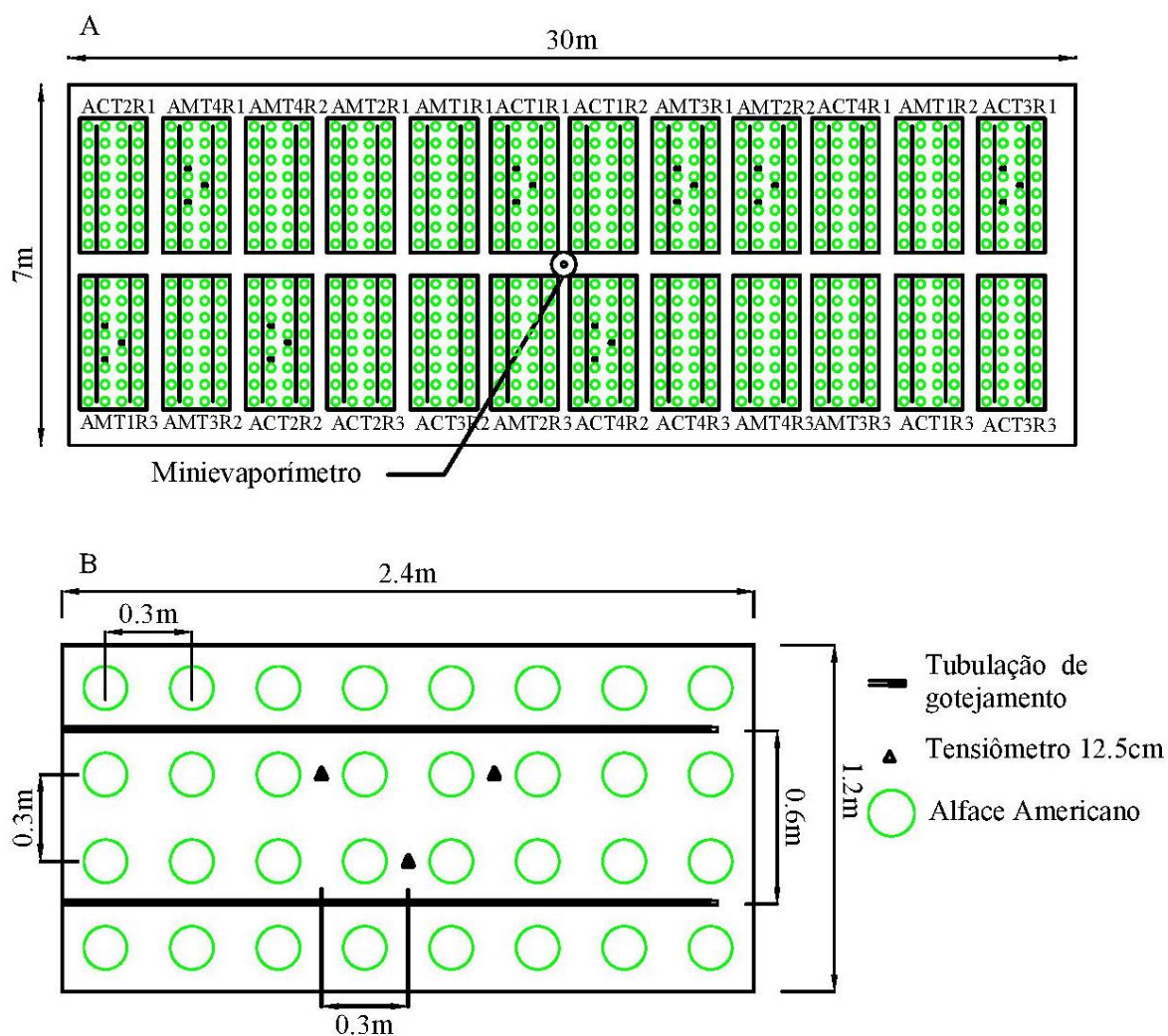
144 A Equação 1 foi utilizada para determinar a tensão de água no solo ou potencial
145 matricial, a partir da leitura do tensímetro.

$$146 \Psi_m = L - 0,098.h \quad (1)$$

147 Onde Ψ_m é a tensão de água no solo ou potencial matricial negativa (kPa), L é a leitura
148 do tensímetro (kPa), e h é a altura da coluna de água nos tensiômetros (cm).

149 2.2.2. Condução e delineamento experimental

150 O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, no esquema
 151 fatorial com dois fatores, com três repetições (R1, R2 e R3). Os tratamentos foram compostos
 152 pela combinação de dois tipos de água (água tratada magneticamente – AM; e água comum
 153 ou sem tratamento magnético - AC) e quatro tensões de água no solo para início da irrigação
 154 (T1 – 15 kPa, T2 – 25 kPa, T3 – 40 kPa e T4 – 70 kPa). A Figura 1 apresenta a distribuição
 155 dos tratamentos na área, bem como o detalhamento da localização dos tensiômetros utilizados
 156 na realização do manejo da irrigação (12.5 cm de profundidade).



157
 158 Figura 1. Distribuição dos tratamentos na casa de vegetação (A), bem como o detalhamento
 159 de um canteiro com a localização dos tensiômetros utilizados no manejo da irrigação, das
 160 linhas de gotejamento, e das plantas de alfaca (B).

161 O tratamento referente à tensão de água no solo tratava-se de valores para início da
 162 irrigação, com lâmina suficiente para elevar a umidade à capacidade de campo. Como é

163 indicado um limite de -80 kPa para funcionamento adequado dos tensiômetros (Azevedo and
164 Silva, 1999), definiu-se -70 kPa como o tratamento com maior distância da tensão referente à
165 capacidade de campo.

166 Em uma repetição de cada combinação experimental (tipo de água e tensão de água no
167 solo), foi composta a bateria de tensiômetros para o manejo da irrigação (três tensiômetros a
168 12.5 cm). As leituras dos tensiômetros foram realizadas diariamente às 9 e as 15 horas.

169 Utilizou-se para a irrigação um sistema de gotejamento (97% de coeficiente de
170 uniformidade de Christiansen - CUC, e 95.4% de uniformidade de distribuição - UD), com
171 emissor autocompensante ClickTif NaanDanJain (vazão média de $2.14 \pm 0.08 \text{ L h}^{-1}$), com
172 espaçamento de 30 cm (16 emissores por canteiro).

173 A Equação 2 foi utilizada para estimar a lâmina líquida de irrigação e a Equação 3 foi
174 utilizada para estimar a lâmina bruta de irrigação. O tempo de irrigação foi calculado pela
175 Equação 4. Foi assumido 95% de eficiência de aplicação e uma profundidade efetiva do
176 sistema radicular de 25 cm (250 mm), de acordo com recomendações de Geisenhoff et al.
177 (2016).

$$LL = (\theta_{cc} - \theta_1) \cdot z \quad (2)$$

178 Onde LL é a lâmina líquida de irrigação (mm), θ_{cc} é a umidade na capacidade de
179 campo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), θ_1 é a umidade no momento da leitura ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), e z é a profundidade
180 efetiva do sistema radicular (mm).

$$LB = \frac{LL}{E_a UD} \quad (3)$$

181 Onde LB é lâmina bruta de irrigação (mm), E_a é a eficiência de aplicação (decimal), e
182 UD é o coeficiente de uniformidade de distribuição do sistema de irrigação (decimal).

$$T = LB \cdot \frac{A}{n_e q_a} \cdot 60 \quad (4)$$

183 Onde T é o tempo de irrigação (min), A é a área do canteiro (m^2); q_a é a vazão média
184 dos emissores (L h^{-1}), e n_e é o número de emissores por canteiro.

185 As adubações antes do plantio e de cobertura foram iguais para todos os canteiros, e
186 foram realizadas com base na análise química do solo seguindo recomendações de Ribeiro
187 (1999). Durante a condução do experimento observou-se presença de fungos *Septoria*
188 *lactucae*, mais conhecido como mal das folhas e como medida de controle aplicou-se 200 mL
189 ha^{-1} de fungicida (Amistar Top da Syngenta Proteção de Cultivos Ltda).

190 **2.3. Tratamento magnético da água**

191 Para o tratamento magnético da água utilizou-se o magnetizador Sylocimol
 192 Residencial, da empresa Timol Indústria e Comércio de Produtos Magnéticos. Esse
 193 equipamento é composto de imãs alternados e recoberto por uma proteção em aço inox, que
 194 submete a água a um campo magnético de 3860 Gauss, com capacidade de magnetizar 1000 L
 195 h⁻¹ (TIMOL, 2012).

196 **2.4. Parâmetros avaliados**

197 **2.4.1. Curva de retenção de água no solo**

198 Inicialmente realizou-se a avaliação do melhor modelo matemático que representasse a
 199 relação entre a umidade volumétrica e a tensão de água no solo para o intervalo avaliado, em
 200 campo. Para isso realizou-se a análise de regressão dos dados ($P \leq 0.05$) aos modelos linear,
 201 polinomial de segundo grau, potencial e logarítmico.

202 Com o intuito de avaliar a influência do tipo de água nas curvas de retenção realizadas
 203 em campo, realizou-se o teste F entre os modelos ajustados para cada tipo de água ($P \leq 0.05$).

204 **2.4.2. Respostas do manejo da irrigação**

205 Avaliou-se a influência dos tratamentos nas respostas de manejo da irrigação, tais
 206 como: número de eventos de irrigação; total de lâmina bruta de irrigação aplicada; e
 207 coeficiente de ajuste entre a lâmina líquida de irrigação e evaporação da água do
 208 minievaporímetro, denominado por coeficiente de evapotranspiração (K).

209 Para estimativa do coeficiente de evapotranspiração (K), instalou-se um
 210 minievaporímetro (60 cm de diâmetro e 25 cm de profundidade) no interior da casa de
 211 vegetação para medir a evaporação da água no decorrer do experimento. O objetivo foi
 212 comparar a lâmina líquida de irrigação e a evaporação acumulada da água do
 213 minievaporímetro entre eventos de irrigação, gerando um coeficiente de evapotranspiração no
 214 decorrer do desenvolvimento da cultura. Esse coeficiente poderá auxiliar o irrigante no
 215 manejo da irrigação no uso do método do minievaporímetro, bastando multiplicar a
 216 evaporação acumulada pelo coeficiente K de acordo com o tempo decorrido após o
 217 transplântio. O coeficiente de ajuste K foi estimado pela Equação 5.

$$K = \frac{LL}{\sum EA_i} \quad (5)$$

218 Onde K é o coeficiente de evapotranspiração, $\sum EA_i$ é o valor acumulado da
219 evaporação do minievaporímetro entre eventos de irrigação (mm).

220 2.4.3. Consumo de energia elétrica

221 O consumo de energia elétrica foi estimado para cada tratamento pela Equação 6,
222 proposta por Bilibio et al. (2010) e adaptada para este trabalho.

$$C_{EE} = \frac{\sum LB H_{man}}{270 \eta_{MB} 9800} 0.736 \quad (6)$$

223 Onde C_{EE} é o consumo de energia elétrica (kwh m^{-2} ciclo⁻¹), $\sum LB$ é o somatório da
224 lâmina bruta de irrigação aplicada durante o ciclo da cultura (mm), H_{man} é a altura
225 manométrica do sistema de bombeamento (kPa), e η_{MB} o rendimento do sistema de
226 bombeamento (decimal).

227 As irrigações demandavam do sistema de bombeamento uma altura manométrica de
228 176.4 kPa (18 mca). O rendimento do conjunto motobomba foi estimado pela sua curva de
229 desempenho como sendo igual a 47% (modelo BC-91S, ½ cv, da empresa Schneider
230 Motobombas, Joinville – SC, Brasil).

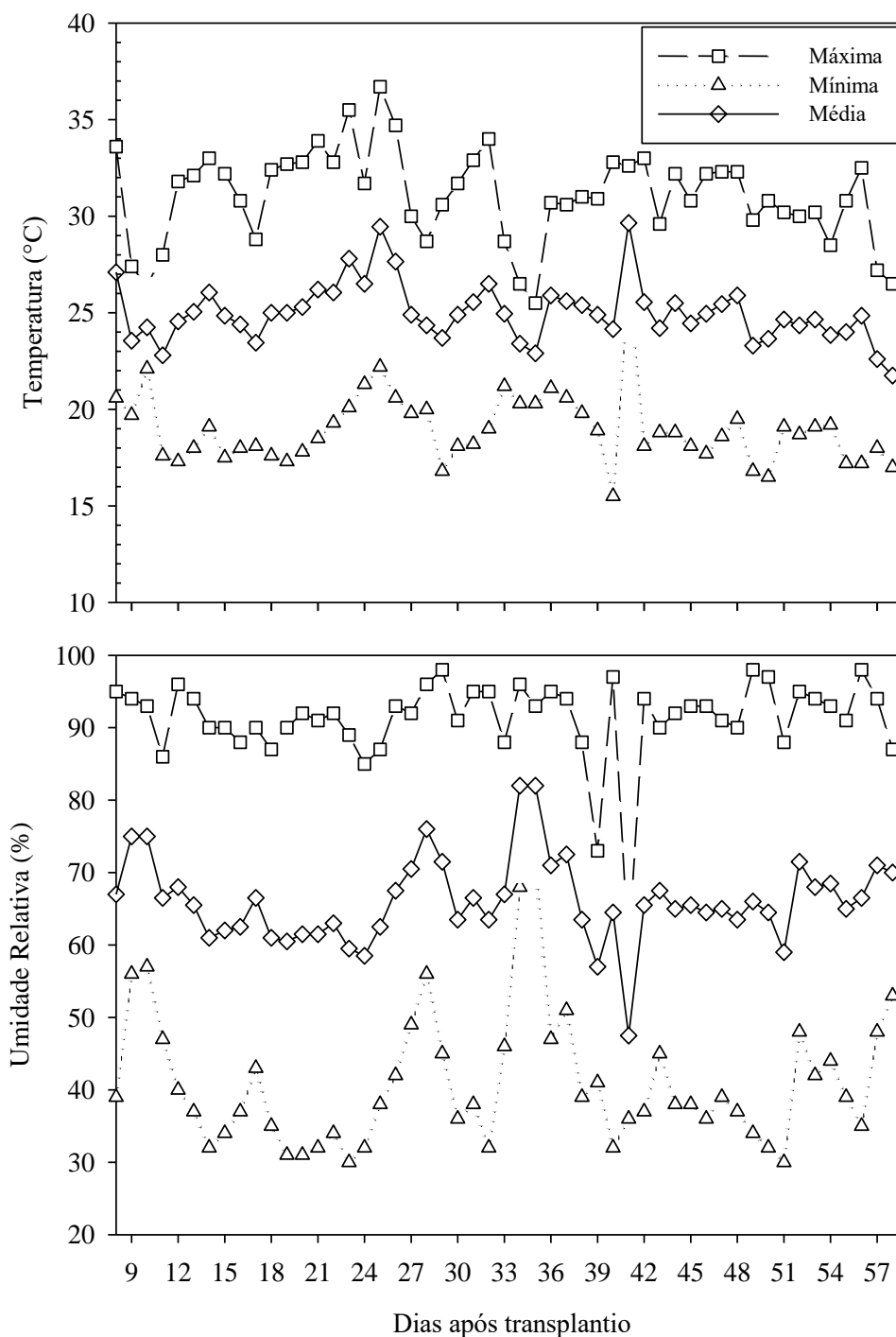
231 2.5. Análise dos dados

232 A avaliação estatística da influência do tipo de água e da tensão de água no solo foi
233 realizada pela aplicação da análise de variância (teste F) a 5% de probabilidade, e para os
234 fatores que apresentaram diferenças significativas foram aplicados o teste Tukey. Utilizou-se
235 o software SISVAR 5.7 para auxiliar nas análises.

236 3. Resultados e discussão

237 3.1. Condições meteorológicas do experimento

238 A temperatura do ar registrada no interior da casa de vegetação durante o experimento
239 apresentou os seguintes valores: temperatura máxima média de $31.0 \pm 2.4^\circ C$, temperatura
240 mínima média de $19.0 \pm 1.8^\circ C$, e temperatura média de $25.0 \pm 1.5^\circ C$. Com relação à umidade
241 relativa, o valor máximo médio foi da ordem de $91.2 \pm 6.3\%$, $41.0 \pm 9.2\%$ para o valor mínimo
242 médio, e $66.1 \pm 5.9\%$ como valor médio. Na Figura 2 é apresentada a variabilidade temporal da
243 temperatura e da umidade relativa média, máxima e mínima durante o experimento.



244
 245 Figura 2 Variabilidade temporal da temperatura e da umidade relativa máxima, média e
 246 mínima em função dos dias após o transplantio.

247 3.2. Curva de retenção de água no solo

248 Na Tabela 2 é apresentado o resumo da análise de regressão ($P \leq 0.05$) do ajuste dos
 249 dados de umidade volumétrica em função da tensão de água no solo, referente ao ensaio de
 250 campo, no uso da água comum (AC) e da água com tratamento magnético (AM).

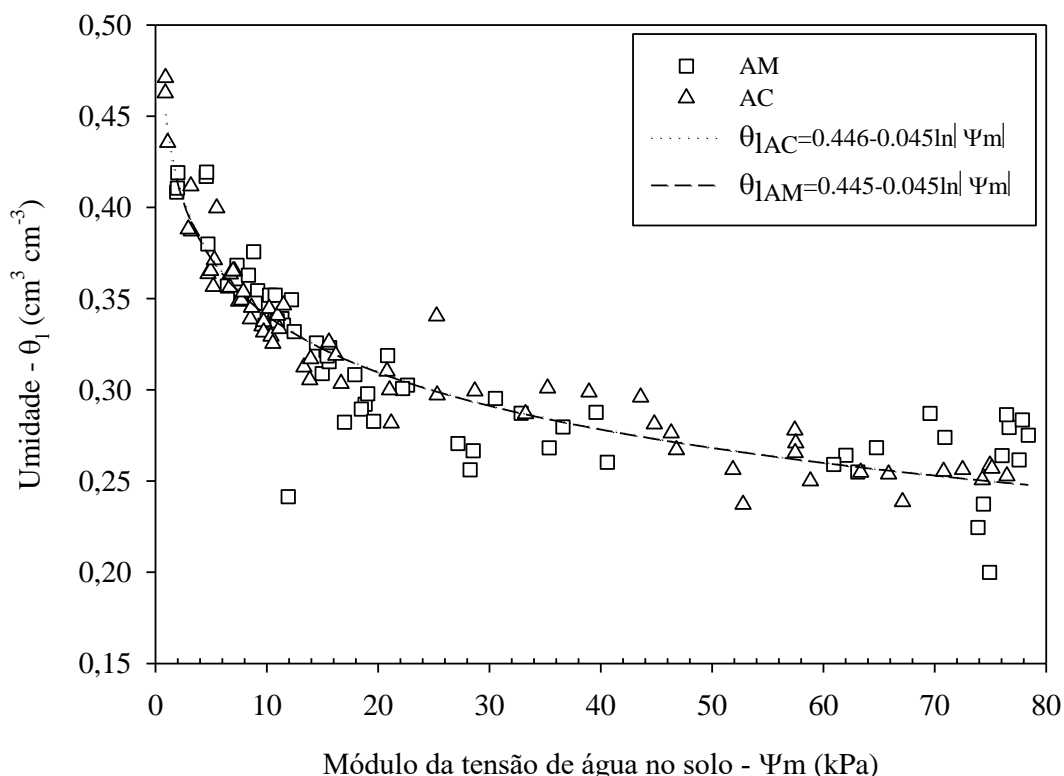
251 Tabela 2 . Resumo da análise de regressão ($P \leq 0.05$) no ajuste dos dados de umidade
 252 volumétrica do solo em função da tensão de água no solo, no uso de água comum (AC) e água
 253 com tratamento magnético (AM), referente ao ensaio de campo¹.

Modelo	Água comum (AC)		Água magnetizada (AM)	
	Quadrado médio	R ²	Quadrado médio	R ²
Linear	3.30*	72.4	3.21ns	55.9
2° Grau	2.20*	82.7	2.15*	78.4
Potencial	3.31*	94.4	3.23*	80.9
Logarítmico	3.31*	94.3	3.23*	79.8

254 ¹ * - significativo a 5% de probabilidade, ns – não significativo a 5% de probabilidade.

255 À exceção do modelo linear referente ao uso da água tratada magneticamente, os
 256 demais modelos representaram de forma significativa ($P \leq 0.05$) os dados de umidade em
 257 função da tensão de água no solo para ambos os tipos de água.

258 Selecionou-se o modelo logarítmico para representar a curva de retenção de água no
 259 solo para ambos os tipos de água, onde na Figura 3 pode-se observar o comportamento do
 260 ajuste dos dados para cada tratamento, bem como o modelo matemático ajustado.



261 Módulo da tensão de água no solo - Ψ_m (kPa)
 262 Figura 3 Curvas de retenção de água do solo realizadas em campo com água tratada
 263 magneticamente (AM) e sem tratamento magnético (AC).

264 Comparando os modelos matemáticos ajustados pelo teste F ($P \leq 0.05$) constatou-se que
 265 os dados gerados pelos modelos não apresentam diferenças estatísticas, demonstrando que o
 266 tipo de água não influenciou significativamente a retenção de água no solo.

267 A umidade e a tensão de água no solo referente à capacidade de campo foram
268 atingidas entre o quarto e o quinto dia após a saturação do solo para água submetida ao
269 tratamento magnético (tensão média em módulo de 10.39 ± 0.41 kPa, e umidade de
270 0.342 ± 0.008 cm³ cm⁻³), e entre o quinto e o sexto dia para água comum (tensão média em
271 módulo de 10.03 ± 0.41 kPa, e umidade de 0.334 ± 0.007 cm³ cm⁻³), não havendo diferença
272 estatística entre os valores ($P \leq 0.05$).

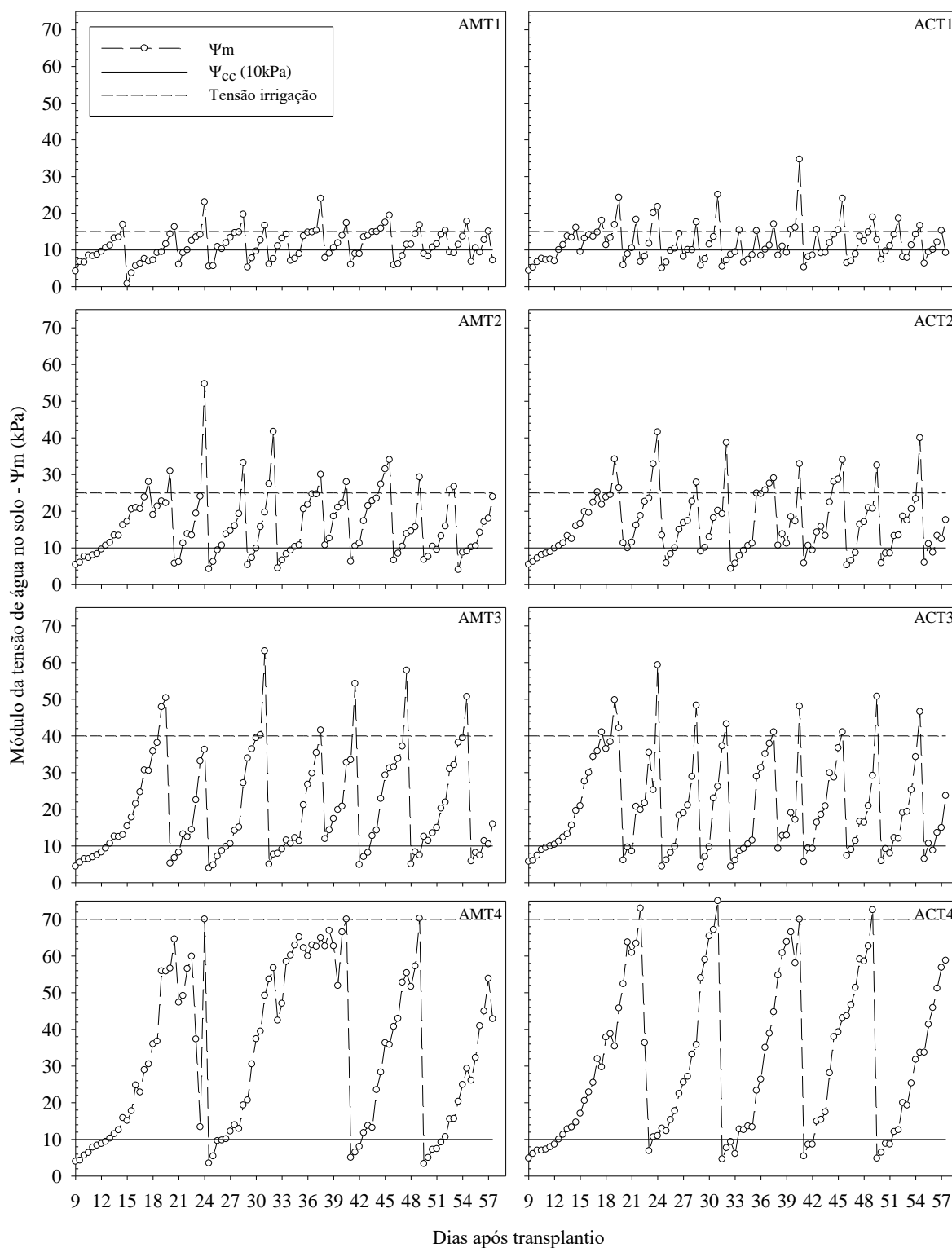
273 Aparentemente na situação de solo saturado, a água tratada magneticamente teve
274 maior mobilidade quando comparada à água comum, por ter atingido a condição de equilíbrio
275 ou de capacidade de campo mais rapidamente. Esse fato está em concordância com
276 Khoshravesh-Miangoleh e Kiani (2014) que obtiveram maior infiltração acumulada e
277 velocidade de infiltração de água no solo no uso de água tratada magneticamente.

278 Como não houve diferença estatística entre as curvas pela mudança do tipo de água,
279 para a realização do manejo da irrigação selecionou-se a curva de retenção referente ao uso da
280 água comum em campo por ter apresentado maior valor de coeficiente de determinação no
281 ajuste da curva (94.3%).

282 Baseado na curva de retenção de água no solo realizada em campo com água comum,
283 considerou-se para o manejo da irrigação a tensão em módulo de 10 kPa para representar a
284 capacidade de campo, resultando em 0.342 cm³ cm⁻³ de umidade com base no modelo na
285 curva de retenção de água no solo realizada em campo com água comum.

286 **3.3. Manejo da irrigação**

287 Na Figura 4 é apresentado a variabilidade temporal das tensões de água no solo a 12.5
288 cm de profundidade no decorrer do experimento, para os diferentes tratamentos de tensão de
289 água no solo para início da irrigação (T1, T2, T3 e T4) e tipos de água (AM e AC).



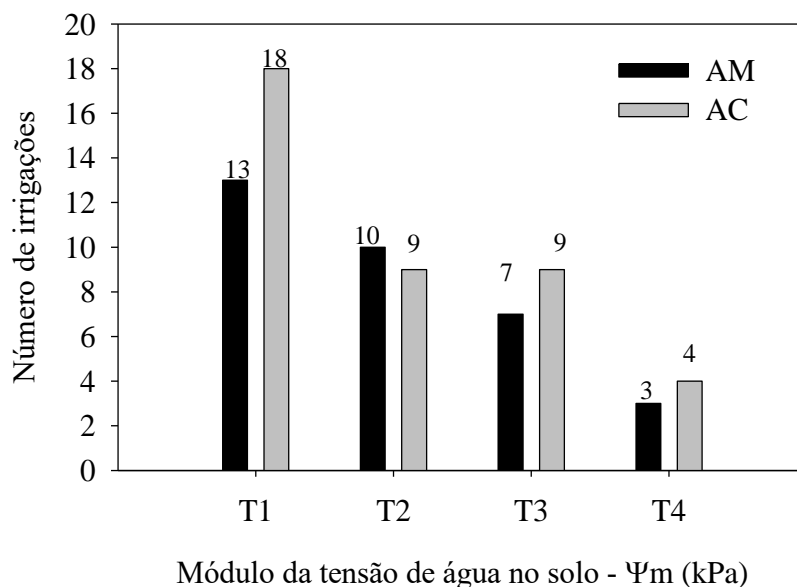
290
291
292
293

Figura 4 Variabilidade temporal da tensão de água no solo em módulo (kPa) no decorrer do experimento, para os diferentes tratamentos de tensão de água no solo para início da irrigação (T1, T2, T3 e T4) e tipos de água (AC e AM).

294
295

É visível a diferenciação da frequência de irrigação entre os tratamentos, observando-se maior número de eventos de irrigação com a diminuição da tensão de água no solo e no uso

296 da água comum (sem tratamento magnético) (exceção do tratamento referente à tensão T2,
 297 onde o uso da água magnetizada determinou maior quantidade de eventos). Em trabalho
 298 desenvolvido por Zlotopolski (2017a) foi observado que a tensão de água no solo durante a
 299 irrigação da alface com água tratada magneticamente atingiu valores menos negativos que o
 300 grupo controle (sem tratamento). A quantidade total de eventos de irrigação para as diferentes
 301 combinações experimentais é apresentada na Figura 5.



302
 303 Figura 5 Quantidade total de eventos de irrigação para diferentes combinações de tensão de
 304 água no solo para início da irrigação (T1 – 15 kPa, T2 – 25 kPa, T3 – 40 kPa e T4 - 70 kPa) e
 305 tipos de água (AC e AM).

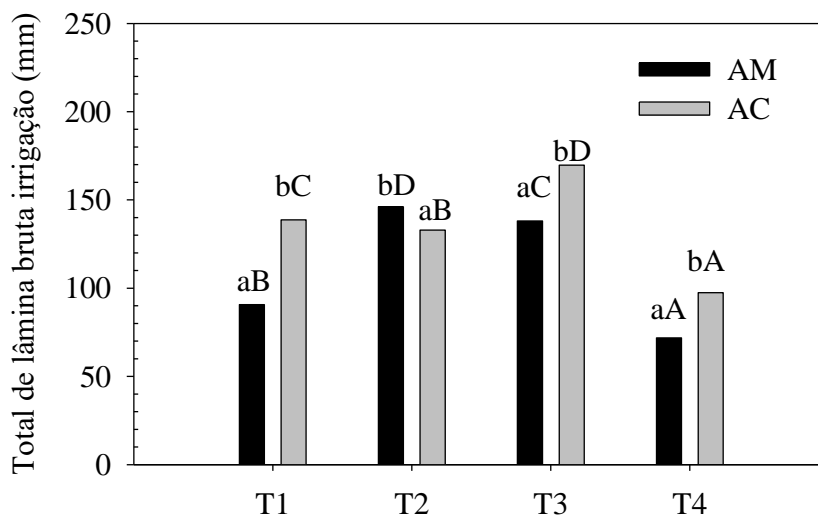
306 Geisenhoff et al. (2016) também obtiveram resultados semelhantes, com incremento
 307 no número de irrigações com a diminuição (em módulo) da tensão de água no solo no cultivo
 308 da alface americana Raider Plus. Com relação à influência do tratamento magnético,
 309 observou-se similaridade nos resultados encontrados por Mostafazadeh-Fard et al. (2011),
 310 Surendran, Sandeep e Joseph (2016) e Al-Ogaidi et al. (2017), que obtiveram menor variação
 311 temporal da umidade no solo na irrigação com água submetida ao tratamento magnético,
 312 resultando em menor frequência de irrigação. De acordo com os autores, o processo de
 313 magnetização tornou a água mais coesa e atraída às partículas de solo, e por tornarem os
 314 clusters menores, poderiam penetrar mais facilmente nos microporos do solo, dificultando a
 315 movimentação no solo.

316 De maneira geral observou-se que na condição de umidade acima da capacidade de
 317 campo, o uso da água submetida ao tratamento magnético determinou a ocorrência do
 318 equilíbrio mais rapidamente, com menor tempo para atingir a capacidade de campo (4 a 5

319 dias). Entretanto, quando a umidade do solo foi maior em módulo que a capacidade de campo,
320 observou-se maior resistência para a extração da água do meio, mantendo-se a umidade por
321 maior tempo e diminuindo o número de irrigações. Zlotopolski (2017b) observou o mesmo
322 comportamento no uso de água magnetizada em experimento de lixiviação de sais (cálcio,
323 magnésio, sódio e cloro) em colunas de solo não saturadas, afirmando que o fato pode ser
324 explicado pela diminuição da tensão superficial e da hidrofobicidade observado pela redução
325 do ângulo de contato, que faz com que a água fique mais facilmente aderida aos microporos,
326 aumentando a capacidade do solo de reter água mesmo após a drenagem da água acima da
327 capacidade de campo.

328 Outra possível causa da manutenção da umidade do solo por maior tempo pode estar
329 associada à redução da capacidade de evaporação da água (Surendran et al., 2016). Os autores
330 salientam que devido alguns íons como o cálcio poderem se tornar mais livres na água tratada
331 magneticamente, e serem carregados ao solo, o potencial osmótico do solo aumenta,
332 aumentando a capacidade de retenção de água do solo, podendo aumentar o tempo de
333 manutenção da umidade do solo. De acordo com Surendran et al. (2016), essa ocorrência é
334 mais facilmente observada em locais com água salina e com elevada dureza. Por outro lado,
335 essa teoria contradiz experimentos que observaram maior capacidade de lixiviação de sais no
336 uso da irrigação com água tratada magneticamente (Amer et al., 2014; Mohamed, 2013;
337 Mostafazadeh-Fard et al., 2011; Zlotopolski, 2017b).

338 Na Figura 6 é possível observar os valores totais de lâmina bruta de irrigação para os
339 diferentes tratamentos avaliados (FIGURA 6), bem como resultado do teste Tukey ($P \leq 0.05$)
340 entre os tipos de água e as tensões de água no solo.



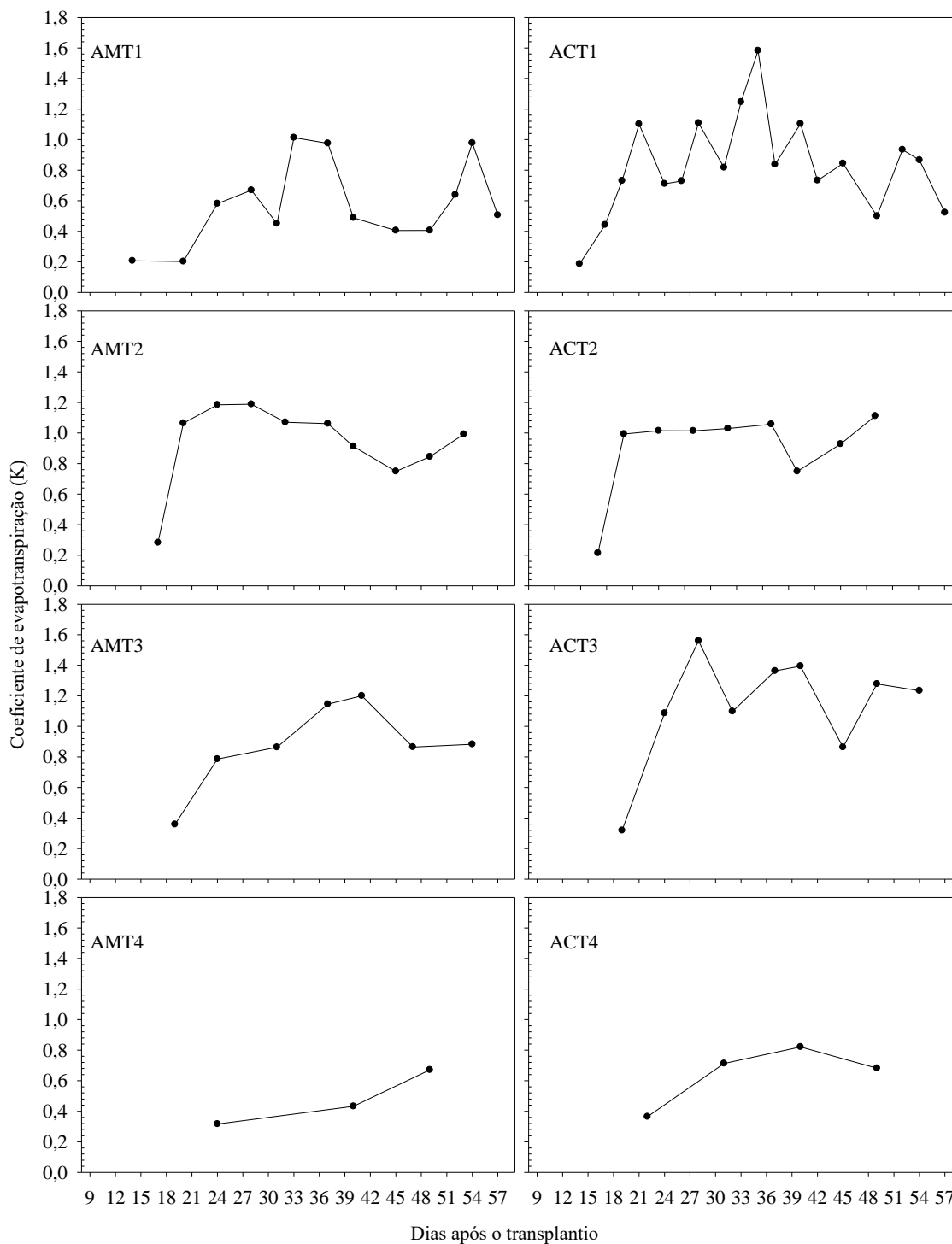
Módulo da tensão de água no solo - Ψ_m (kPa)

341
342 Figura 6. Valores totais de lâmina bruta de irrigação (mm) para as diferentes tensões de água
343 no solo (T1 – 15 kPa, T2 – 25 kPa, T3 – 40 kPa e T4 - 70 kPa) e tipos de água (AC e AM).
344 Letras maiúsculas comparam médias entre tensões dentro do mesmo tipo de água, e letras
345 minúsculas comparam o tipo de água para a mesma tensão de água no solo.

346 Observa-se menores valores de lâmina bruta de irrigação em quase todos os
347 tratamentos de tensão (com exceção para o tratamento T2), no uso da água tratada
348 magneticamente. Nos tratamentos T1, T3 e T4, o uso de água comum determinou um
349 aumento de lâmina em torno de 52.96, 22.88 e 35.76% respectivamente quando comparado ao
350 uso da água submetida ao tratamento magnético. Em trabalho de Selim et al.(2019) também
351 observou-se redução da quantidade de água aplicada (25% de redução) para a cultura do trigo
352 irrigada com água tratada magneticamente em comparação com água comum.

353 Com relação aos tratamentos de tensão de água no solo, o -70 kPa obtiveram as
354 menores lâminas totais de irrigação, fato também observado por Koetz et al. (2006), que
355 afirmaram que lâminas médias maiores acarretam em maiores intervalos de irrigações e
356 menores lâminas totais. Geisenhoff et al. (2016) obtiveram valores semelhantes aos
357 tratamentos ACT2 e ACT4 com relação aos valores de lâmina bruta de irrigação e número de
358 irrigações durante o ciclo.

359 O comportamento do coeficiente de evapotranspiração (K) para as diferentes
360 combinações experimentais, em função dos dias após o transplântio é visualizado pela Figura
361 7.



362
 363 Figura 7. Coeficiente de evapotranspiração para as diferentes tensões de água no solo (T1 –
 364 15 kPa, T2 – 25 kPa, T3 – 40 kPa e T4 - 70 kPa) e tipos de água (AC e AM), em função dos
 365 dias após o transplântio.

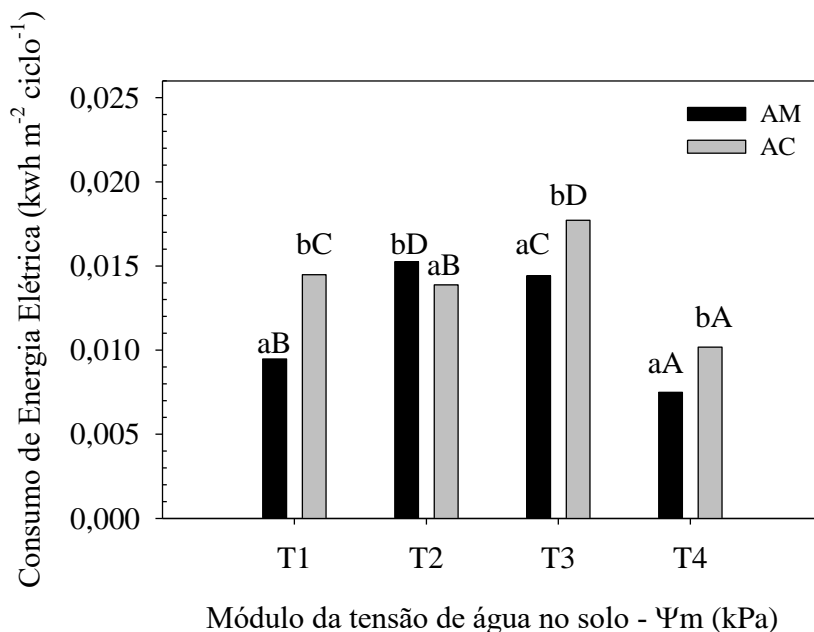
366 As menores tensões de água no solo obtiveram maiores coeficientes de
 367 evapotranspiração devido ao fato de ser indiretamente relacionado a evaporação acumulada

368 no minievaporímetro. Quanto maior a EA_i menor o K, o que podemos relacionar também a
369 frequência de irrigação, pois quanto menor a frequência, menor a EA_i maior o K.

370 PODE-SE OBSERVAR QUE OS TRATAMENTOS COM ÁGUA MAGNETIZADA OBTIVERAM OS MENORES
371 valores de coeficiente K quando comparado ao tratamento correspondente ao uso da água
372 comum. Esse fato corrobora com a informação de que o tratamento magnético da água pode
373 diminuir a capacidade de evapotranspiração da água (Mostafazadeh-Fard et al., 2011;
374 Surendran et al., 2016). Porém há divergências de resultados de pesquisas quanto à influência
375 do tratamento magnético da água na evapotranspiração de plantas. Yusuf e Ogunlela (2017c)
376 obtiveram maior evapotranspiração para o tomate irrigado com água tratada magneticamente,
377 com consumo de água medido diretamente pelo método de pesagem. Maheshwari e Grewal
378 (2009) afirmaram que o tratamento magnético da água de irrigação não influenciou
379 estatisticamente a evapotranspiração da cultura da ervilha torta (ou ervilha-da-neve), salsão e
380 ervilha para diferentes tipos de água. Estudos que avaliaram a evaporação da água tratada
381 magneticamente em reservatório, afirmam haver maior evaporação da água quando
382 comparado ao uso da água sem tratamento magnético (Seyfi et al., 2017; Chibowski and
383 Szcześ, 2018).

384 **3.4. Consumo de energia elétrica**

385 Com relação ao consumo de energia elétrica (C_{EE}), observaram-se diferenças
386 estatísticas ($P \leq 0.05$) entre os tipos de água e entre as tensões de água no solo, podendo-se
387 observar na Figura 8 o comportamento em função das variáveis experimentais.



388
 389 **Figura 8** Consumo de energia elétrica (kWh m⁻² ciclo⁻¹) para as diferentes tensões de água no
 390 solo (T1 – 15 kPa, T2 – 25 kPa, T3 – 40 kPa e T4 - 70 kPa) e tipos de água (AC e AM),
 391 considerando a curva de retenção de água no solo realizada em campo. Letras maiúsculas
 392 comparam médias entre tensões dentro do mesmo tipo de água, e letras minúsculas comparam
 393 o tipo de água para a mesma tensão de água no solo.

394 O menor valor de C_{EE} foi atingido no uso da água tratada magneticamente com a
 395 tensão de 70 kPa (0.0075 kWh m⁻² ciclo⁻¹), uma vez que foi o tratamento que demandou a
 396 menor lâmina de irrigação, decorrente da menor frequência de irrigação. O maior consumo foi
 397 correspondente ao uso de água comum na tensão de água no solo referente a 40 kPa (0.0177
 398 kWh m⁻² ciclo⁻¹), sendo o tratamento que demandou maior lâmina de irrigação.

399 Com exceção do tratamento T2, o uso da água tratada magneticamente comparado ao
 400 uso da água comum, possibilitou uma economia no consumo de energia elétrica da ordem de
 401 34.6, 18.6 e 26.3% para as tensões de água no solo T1, T3 e T4 respectivamente. Para T2 o
 402 uso da água magnetizada aumentou o consumo de energia elétrica em 10.0% em relação ao
 403 uso de água comum.

404 **4. Conclusões**

405 O uso de água submetida ao tratamento magnético determinou manutenção da
 406 umidade do solo por maior tempo, definindo menor quantidade de eventos de irrigação e
 407 consequentemente menores volumes de água aplicados e consumo de energia elétrica no
 408 cultivo da alface americana Lucy Brown irrigada com gotejamento em casa de vegetação.

409 **Agradecimentos**

410 O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de
411 Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

412 **Referências bibliográficas**

- 413 Al-Ogaidi, A.A.M., Wayayok, A., Rowshon, M.K., Abdullah, A.F., 2017. The influence of
414 magnetized water on soil water dynamics under drip irrigation systems. *Agric. Water*
415 *Manag.* 180, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.001>
- 416 Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., De Moraes Gonçalves, J.L., Sparovek, G., 2013.
417 Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift* 22, 711–728.
418 <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- 419 Amer, M.M., El Sanat, A.G., Rashed, S.H., 2014. Effects of magnetized low quality irrigation
420 water on some soil properties and soybean yield (*Glycine max* L.) under salt affected
421 soils conditions. *J. Soil Sci. Agric. Eng.* 5, 1377–1388.
422 <https://doi.org/10.21608/jssae.2014.49755>
- 423 Azevedo, J. de, Silva, E. da, 1999. Tensiômetro: dispositivo prático para controle da irrigação.
424 Embrapa Cerrados. *Circ. Técnica*, 001 33.
- 425 Bilibio, C., Carvalho, J. de A., Martins, M., Rezende, F.C., Freitas, W. de, Gomes, L.A.A.,
426 2010. Irrigated eggplant crop function in protected environment. *Irriga* 15, 10–22.
- 427 Cai, R., Yang, H., He, J., Zhu, W., 2009. The effects of magnetic fields on water molecular
428 hydrogen bonds. *J. Mol. Struct.* 938, 15–19.
429 <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2009.08.037>
- 430 Chibowski, E., Szcześ, A., 2018. Magnetic water treatment—A review of the latest approaches.
431 *Chemosphere* 203, 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.160>
- 432 Da Silva, J.A.T., Dobránszki, J., 2014. Impact of Magnetic Water on Plant Growth. *Environ.*
433 *Exp. Biol.* 12, 137–142.
- 434 Embrapa, 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos, Embrapa Solos.
- 435 Esmailnezhad, E., Choi, H.J., Schaffie, M., Gholizadeh, M., Ranjbar, M., 2017.
436 Characteristics and applications of magnetized water as a green technology. *J. Clean.*
437 *Prod.* 161, 908–921. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.166>
- 438 Geisenhoff, L.O., Pereira, G.M., Lima Junior, J.A. De, Silva, A.L.P. da, Aviz, W.L.C. de,
439 2016. Greenhouse crisphead lettuce grown with mulching and under different soil water
440 tensions. *Eng. Agrícola* 36, 46–54. [https://doi.org/10.1590/1809-4430-](https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p46-54/2016)
441 [Eng.Agric.v36n1p46-54/2016](https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p46-54/2016)
- 442 Grohskopf, M.A., Cassol, P.C., Correa, J.C., Mafra, M.S.H., Panisson, J., 2015. Organic
443 nitrogen in a Typic hapludox fertilized with pig slurry. *Rev. Bras. Cienc. do Solo* 39,
444 127–139. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150080>
- 445 Haq, Z. ul, Iqbal, M., Jamil, Y., Anwar, H., Younis, A., Arif, M., Fareed, M.Z., Hussain, F.,

- 446 2016. Magnetically treated water irrigation effect on turnip seed germination, seedling
447 growth and enzymatic activities. *Inf. Process. Agric.* 3, 99–106.
448 <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.03.004>
- 449 Hozayn, M., Abdallha, M.M., Abd, E.M.A.A., El Saady, A.A., Darwish, M.A., 2016.
450 Applications of magnetic technology in agriculture: A novel tool for improving crop
451 productivity (1): Canola. *African J. Agric. Res.* 11, 441–449.
452 <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9382>
- 453 Khoshravesh-Miangoleh, M., Kiani, A.-R., 2014. Effect of magnetized water on infiltration
454 capacity of different soil textures. *Soil Use Manag.* 30, 588–594.
455 <https://doi.org/10.1111/sum.12140>
- 456 Koetz, M., Coelho, G., Costa, C.C. da, Lima, E.P., Souza, R.J. de, 2006. Effect of potassium
457 doses and irrigation frequency in the production of the american lettuce in greenhouse
458 condition. *Eng. Agrícola* 26, 730–737. [https://doi.org/10.1590/S0100-](https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000300009)
459 [69162006000300009](https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000300009)
- 460 Maheshwari, B.L., Grewal, H.S., 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on
461 vegetable crop yield and water productivity. *Agric. Water Manag.* 96, 1229–1236.
462 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.016>
- 463 Mohamed, A.I., 2013. Effects of magnetized low quality water on some soil properties and
464 plant growth. *Int. J. Res. Chem. Environ.* 3, 140–147.
- 465 Mostafazadeh-Fard, B., Khoshravesh, M., Mousavi, S.F., Kiani, A.R., 2011. Effects of
466 magnetized water and irrigation water salinity on soil moisture distribution in trickle
467 irrigation. *J. Irrig. Drain. Eng.* 137, 398–402. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000304)
468 [4774.0000304](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000304)
- 469 Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em
470 Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de
471 Minas Gerais. p. 25-32, 1999.
- 472 Selim, D.A.H., Nassar, R.M.A., Boghdady, M.S., Bonfill, M., 2019. Physiological and
473 anatomical studies of two wheat cultivars irrigated with magnetic water under drought
474 stress conditions. *Plant Physiol. Biochem.* 135, 480–488.
475 <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.11.012>
- 476 Seyfi, A., Afzalzadeh, R., Hajnorouzi, A., 2017. Increase in water evaporation rate with
477 increase in static magnetic field perpendicular to water-air interface. *Chem. Eng.*
478 *Process. Process Intensif.* 120, 195–200. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2017.06.009>
- 479 Surendran, U., Sandeep, O., Joseph, E.J., 2016. The impacts of magnetic treatment of
480 irrigation water on plant, water and soil characteristics. *Agric. Water Manag.* 178, 21–29.
481 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.016>
- 482 TIMOL Group: Área Rural. 2012. Disponível em: <[http://www.timolgroup.com.br/content.as](http://www.timolgroup.com.br/content.asp?contentid=290)
483 [p?contentid=290](http://www.timolgroup.com.br/content.asp?contentid=290)>. Acesso 28, de maio, 2019.
- 484 Toledo, E.J.L., Ramalho, T.C., Magriotis, Z.M., 2008. Influence of magnetic field on
485 physical-chemical properties of the liquid water: Insights from experimental and
486 theoretical models. *J. Mol. Struct.* 888, 409–415.

- 487 <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2008.01.010>
- 488 Valnir Júnior, M., Ribeiro, F.C., Rocha, J.P.A. da, Lima, S.C.R.V., Carvalho, C.M. de, Filho,
489 R.R.G., 2017. Desenvolvimento de um software para o manejo da microirrigação. Rev.
490 Bras. Agric. Irrig. 11, 1324–1330. <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n200616>
- 491 Yusuf, K.O., Ogunlela, A.O., 2017a. Effects of magnetized water on the vegetative growth
492 and yield of tomato. Agric. Eng. Int. CIGR J. 19, 1–8.
- 493 Yusuf, K.O., Ogunlela, A.O., 2017b. Effects of deficit irrigation on the growth and yield of
494 tomato (*Solanum lycopersicum*) irrigated with magnetised water. Environ. Res. Eng.
495 Manag. 73, 59–68. <https://doi.org/10.5755/j01.erem.73.1.14138>
- 496 Yusuf, K.O., Ogunlela, A.O., 2017c. Effect of magnetic treatment of water on
497 evapotranspiration of tomato. Arid Zo. J. Eng. Technol. Environ. 13, 86–96.
- 498 Zlotopolski, V., 2017a. Magnetic Treatment Reduces Water Usage in Irrigation Without
499 Negatively Impacting Yield, Photosynthesis and Nutrient Uptake in Lettuce. Int. J. Appl.
500 Agric. Sci. 3, 117. <https://doi.org/10.11648/j.ijaas.20170305.13>
- 501 Zlotopolski, V., 2017b. The Impact of magnetic water treatment on salt distribution in a large
502 unsaturated soil column. Int. Soil Water Conserv. Res. 5, 253–257.
503 <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.009>
- 504

ARTIGO 2 - DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DA ALFACE AMERICANA IRRIGADA COM ÁGUA SUBMETIDA AO TRATAMENTO MAGNÉTICO

Resumo

O tratamento magnético da água de irrigação vem demonstrando ser uma técnica benéfica na otimização do uso da água em algumas culturas. Uma cultura exigente em água para produção, e muito consumida no mundo por possuir vitaminas e minerais, é a alface. Nesse sentido, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a influência do uso da água submetida ao tratamento magnético com irrigação por gotejamento, sob diferentes tensões de água no solo para início da irrigação, no desenvolvimento e na produção da alface americana Lucy Brown (*Lactuca sativa* L.) em casa de vegetação. A alface americana Lucy Brown foi transplantada em casa de vegetação no delineamento experimental inteiramente casualizado, no esquema fatorial, com dois tipos de água (água submetida ao tratamento magnético - AM, e água sem tratamento magnético - AC) e quatro tensões de água no solo (T1 - 15 kPa, T2 - 25 kPa, T3 - 40 kPa e T4 - 70 kPa) com três repetições. Os parâmetros avaliados foram: massa fresca e seca total da parte aérea, massa fresca e seca da cabeça comercial, massa fresca e seca da raiz, massa fresca e seca do caule, comprimento e diâmetro do caule, porcentagem de folhas com presença de *tipburn*, produtividade total e comercial, eficiência do uso da água total e comercial, área coberta, massa unitária e conteúdo de massa seca. Apesar de determinar maior eficiência no uso da água, tanto para a produtividade total, quanto para a produtividade comercial, as irrigações com água submetida a tratamento magnético pode ter dificultado a retirada de água do solo pela cultura, onde o aumento das tensões de água no solo dificultaram ainda mais a retirada de água pelas plantas.

Palavras-chave: Manejo da irrigação, *Lactuca sativa* L., água magnetizada, produtividade.

DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF ICEBERG LETTUCE IRRIGATED WITH WATER SUBMITTED TO MAGNETIC TREATMENT

Abstract

The magnetic treatment of irrigation water has been shown to be a beneficial technique in optimizing some crops water use. Lettuce is a demanding crop in water for production, and widely consumed in the world because it has vitamins and minerals. In this sense, the objective of this study was to evaluate the influence of the use of water subjected to magnetic treatment with drip irrigation, under different soil water tensions to start irrigation, in the development and production of Lucy Brown lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a greenhouse. The iceberg lettuce was transplanted in a greenhouse in a completely randomized experimental design, in a factorial scheme, with two types of water (water subjected to magnetic treatment - AM, and water without magnetic treatment - AC) and four soil water tension (T1 - 15 kPa, T2 - 25 kPa, T3 - 40 kPa and T4 - 70 kPa) with three repetitions. The parameters evaluated were: total fresh and dry mass of the aerial part, fresh and dry mass of the commercial head, fresh and dry mass of the root, fresh and dry mass of the stem, length and diameter of the stem, percentage of leaves with the presence of *tipburn*, total and commercial productivity, total and commercial water use efficiency, covered area, unitary mass and dry mass content. Despite determining greater water use efficiency, both for total and commercial productivity, irrigation with water subjected to magnetic treatment may have hindered the removal of water

44 from the soil by the crop, where the increase in soil water tension made it more difficult for
45 the plants to withdraw water.

46 **Keywords:** Irrigation management, *Lactuca sativa* L., magnetized water, productivity.

47 **1. Introdução**

48 O uso eficiente da água de irrigação, mediante a adoção de novas técnicas e produtos
49 que visam aperfeiçoar o manejo da irrigação, deve ser uma preocupação constante do sistema
50 produtivo. De acordo com a Agência Nacional das Águas (2017), a agricultura irrigada é a
51 principal usuária, e foi responsável no ano de 2017 pela captação a cada segundo de
52 aproximadamente 2105 m³ de água, correspondendo a 46% do uso da água no Brasil.

53 Novas técnicas para aumento da eficiência do uso da água vêm sendo investigadas
54 com o intuito de se obter incremento da produtividade dos cultivos, proporcionando aumento
55 da renda ao agricultor. Nesse sentido, o uso do tratamento magnético da água de irrigação
56 tem-se tornado alvo de avaliação pela comunidade científica mundial, pois de acordo com os
57 autores, o procedimento determina aos cultivos incrementos produtivos e qualitativos da
58 produção, redução do consumo de água, fertilizantes e de energia, além de possibilitar o uso
59 de águas com padrões qualitativos inadequados às plantas (Esmailnezhad et al., 2017;
60 Hozayn et al., 2016; Maheshwari e Grewal, 2009; Surendran et al., 2016; Teixeira e
61 Dobránszki, 2014; Yusuf e Ogunlela, 2017a, 2017b). Essa técnica consiste em expor a água a
62 um campo magnético, que pode alterar alguns parâmetros químicos e físicos da água, fato que
63 pode trazer benefícios às plantas (Cai et al., 2009; Toledo et al., 2008; Seyfi et al., 2017;
64 Surendran et al., 2016; Wang et al., 2018).

65 Dentre os cultivos com obrigatoriedade de utilização da irrigação para a produção,
66 decorrente da elevada exigência de água (Geisenhoff et al., 2016), e conseqüentemente com
67 potencialidade de haver benefícios econômicos no setor produtivo na utilização da água
68 tratada magneticamente, tem-se a cultura da alface americana (*Lactuca sativa* L.). A alface é
69 uma hortaliça folhosa de rápido crescimento e curto ciclo de produção, que representa
70 importante parcela na dieta da população brasileira por ser considerada uma importante fonte
71 de sais minerais e vitaminas, além de apresentar elevado tempo de conservação após a
72 colheita (Baudoin et al., 2017; Geisenhoff et al., 2016; Hotta, 2008; Urbano et al., 2017). Em
73 2016 a produção brasileira da alface foi da ordem de 575.5 mil toneladas, o que corresponde a
74 aproximadamente 50% da área de toda produção de hortaliças, estando variedade americana
75 em segundo lugar de importância entre os tipos de alface (Kist et al., 2019).

76 A irrigação determina significativos benefícios no rendimento da alface americana.
77 Em trabalho de Da Silva et al. (2018) avaliando a produtividade de diferentes cultivares de
78 alface sob diferentes níveis de reposição de água, obtiveram o melhor resultado na reposição
79 de 100% da evapotranspiração da cultura. Valeriano et al. (2018) também obtiveram com uma
80 lâmina de reposição de 100% da evapotranspiração o maior peso da cabeça comercial da
81 alface americana.

82 Com relação à influência do uso da água de irrigação submetida ao tratamento
83 magnético, Putti et al. (2015a) e Putti et al. (2015b) obtiveram incremento em torno de 63%
84 na massa fresca aérea da alface crespa, com redução do volume de água aplicado, bem como
85 do ciclo da cultura, possibilitando um aumento da produtividade e a eficiência do uso da água.
86 Em trabalho de Pradela et al. (2018) observaram benefícios no uso da água magnetizada,
87 obtendo incremento de biomassa da parte aérea (11.02%) e da raiz (12.09%) de mudas de
88 alface crespa irrigadas com água tratada magneticamente.

89 Baseado nessas informações, acredita-se que o manejo da irrigação com gotejamento
90 via solo, no uso de água submetida ao tratamento magnético, determina maior
91 desenvolvimento e produção da cultura da alface americana Lucy Brown em casa de
92 vegetação. Nesse sentido, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a influência do uso da
93 água submetida ao tratamento magnético com irrigação por gotejamento, sob diferentes
94 tensões de água no solo para início da irrigação, no desenvolvimento e na produção da alface
95 americana Lucy Brown (*Lactuca sativa* L.) em casa de vegetação.

96 **2. Material e métodos**

97 **2.1. Caracterização da área experimental**

98 O experimento foi conduzido em casa de vegetação (7x30 m de dimensão, composto
99 por filme plástico transparente aditivado anti-UV (150 µm) na parte superior, e tela
100 antiafídeos nas laterais), no sul do estado de Minas Gerais - Brasil (21°14'S, 45°00'O e 910
101 m). O clima da região segundo a classificação climática de Köppen-Geiger é cwa, com
102 temperatura média anual do ar de 20.4° C e precipitação média anual de 1460 mm (Alvares et
103 al., 2013). No decorrer do experimento realizou-se o monitoramento da temperatura e da
104 umidade relativa com um termohigrômetro digital, instalado em abrigo (2 m de altura) no
105 interior da casa de vegetação.

106 O solo da área experimental foi classificado como sendo um Latossolo Vermelho
 107 Distroférico (LVd) - Typic Hapludox (Embrapa, 2013; Grohskopf et al., 2015). Na Tabela 1
 108 é apresentado o resultado da análise química e física do solo, referente às profundidades de 0
 109 a 20 cm e 20 a 40 cm.

110 Tabela 3. Análise química e física do solo da área experimental, referente às profundidades de
 111 0 a 20 e 20 a 40 cm¹.

Característica (unidade)	Profundidade (cm)		Característica (unidade)	Profundidade (cm)	
	0 - 20	20 - 40		0 - 20	20 - 40
pH	6.60	6.40	M.O. (dag kg ⁻¹)	2.96	2.39
K (mg dm ⁻³)	87.00	39.22	P-Rem (mg L ⁻¹)	67.10	67.70
P (mg dm ⁻³)	10.03	4.89	Zn (mg dm ⁻³)	2.98	1.79
Na (mg dm ⁻³)	-	-	Fe (mg dm ⁻³)	63.13	57.76
Ca (cmolc dm ⁻³)	4.82	4.16	Mn (mg dm ⁻³)	85.78	68.12
Mg (cmolc dm ⁻³)	2.10	1.83	Cu (mg dm ⁻³)	5.46	5.27
Al (cmolc dm ⁻³)	0.04	0.04	B (mg dm ⁻³)	0.28	0.27
H+Al (cmolc dm ⁻³)	1.03	1.10	S (mg dm ⁻³)	64.37	61.33
SB (cmolc dm ⁻³)	7.14	6.09	Areia (%)	10	
t (cmolc dm ⁻³)	7.18	6.13	Silte (%)		29
T (cmolc dm ⁻³)	8.17	7.19	Argila (%)		61
V (%)	87.43	84.71	ρ _s (g cm ⁻³)		1,14
Mg (%)	0.56	0.65	-		-

112 ¹K - potássio; P - fósforo; Na sódio; Ca - cálcio; Al - alumínio; H+Al - acidez potencial com extrator
 113 SMP; SB - soma de base trocáveis; t - capacidade de troca catiônica efetiva; T - capacidade de troca
 114 catiônica a pH 7.0; V - Índice de saturação de bases; Mg - magnésio; M.O. - Matéria Orgânica; P-Rem
 115 - fósforo remanescente; Zn - zinco; Mn - manganês; Cu - cobre; B - boro; S - enxofre; ρ_s - massa
 116 específica do solo.

117 Com relação à água utilizada, o pH médio da água comum foi da ordem de 6.03, e
 118 6.45 para a água submetida ao tratamento magnético. A condutividade elétrica média foi em
 119 torno de 126.83 e 113.67 μS para água comum e para água submetida ao tratamento
 120 magnético, respectivamente.

121 2.2. Implantação da cultura

122 A cultura avaliada foi a alface americana Lucy Brown (*Lactuca sativa* L.), que de
 123 acordo com a empresa fornecedora das sementes (Seminis®) é uma planta grande e vigorosa,
 124 com folhas grossas que conferem ótima proteção à cabeça comercial. As plantas foram
 125 transplantadas em canteiro construído manualmente (1.2 x 2.4 m = 2.88 m²), 23 dias após a

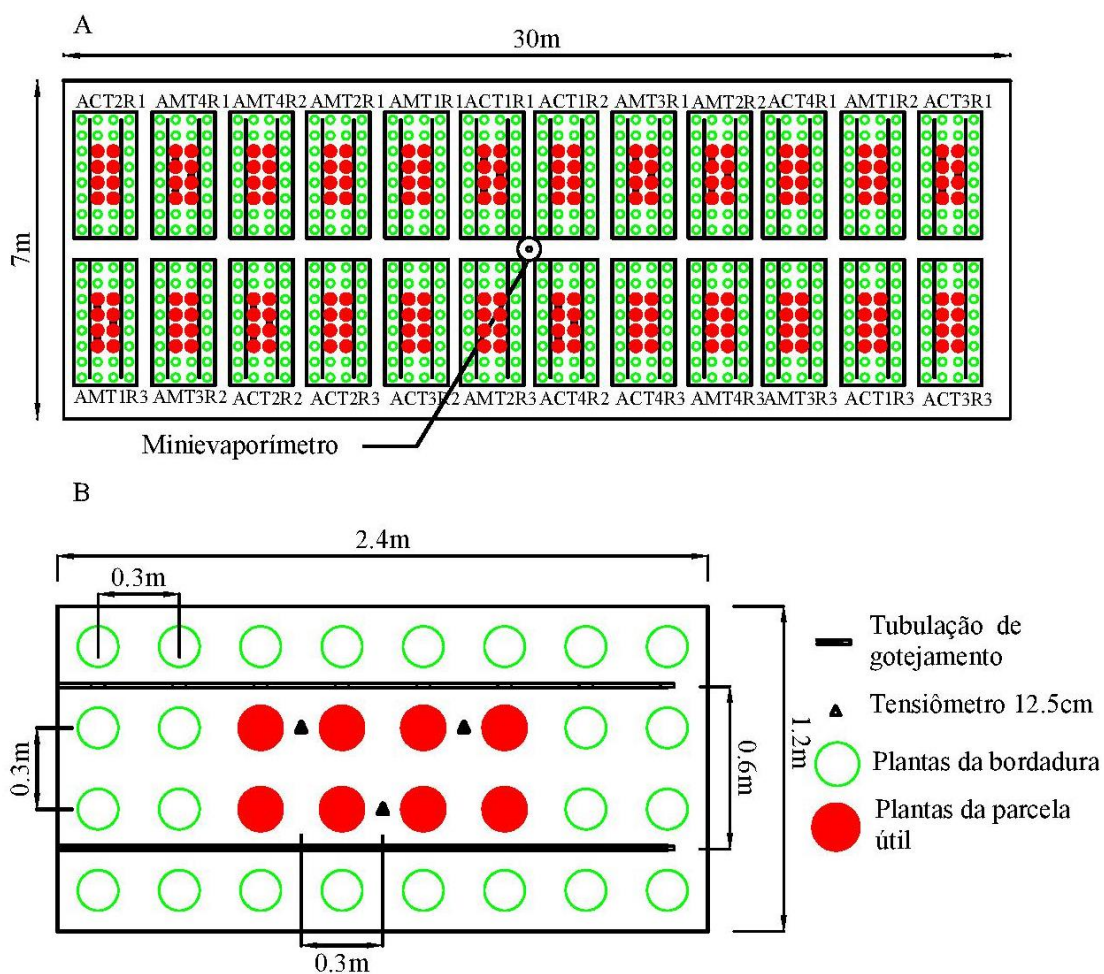
126 semeadura (momento da ocorrência de 4 a 5 folhas definitivas), no espaçamento de 0.30 x
127 0.30 m (32 plantas por canteiro). A colheita foi realizada aos 57 dias após o transplântio

128 As adubações antes do plantio e de cobertura foram iguais para todos os canteiros, e
129 realizadas com base na análise química do solo seguindo recomendações de Ribeiro (1999).
130 Durante a condução do experimento observou-se presença de fungos *Septoria lactucae*, mais
131 conhecido como mal das folhas, e realizou-se o controle pela aplicação de 200 mL ha⁻¹ de
132 fungicida (Amistar Top da Syngenta Proteção de Cultivos Ltda).

133 Para que houvesse o pegamento e a sobrevivência das mudas, bem como visando a
134 padronização das plantas, inicialmente a lâmina de irrigação foi igual em todos os tratamentos
135 até o oitavo dia após o transplântio (total de lâmina bruta de irrigação inicial de 15.85 mm). A
136 frequência de irrigação foi diária, mantendo-se a umidade do solo sempre na capacidade de
137 campo.

138 **2.3. Tratamentos e delineamento experimental**

139 O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, no esquema
140 fatorial com dois fatores e três repetições (R1, R2 e R3). Os tratamentos foram compostos
141 pela combinação de dois tipos de água (água tratada magneticamente – AM; e água comum
142 ou sem tratamento magnético - AC) e quatro tensões de água no solo para início das
143 irrigações (T1 – 15 kPa, T2 – 25 kPa, T3 – 40 kPa e T4 – 70 kPa). A Figura 1A apresenta a
144 distribuição dos tratamentos na área, e a Figura 1B apresenta o detalhamento da distribuição
145 dos equipamentos (tubulação de gotejamento e tensiômetros) no canteiro, com a definição da
146 parcela útil experimental (8 plantas) e das plantas de bordadura.



147
148 Figura 9. Distribuição dos tratamentos, bem como dos equipamentos no canteiro,
149 especificando as plantas da parcela útil e da bordadura.

150 Para o tratamento magnético da água utilizou-se o magnetizador Sylocimol
151 Residencial, da empresa Timol Indústria e Comércio de Produtos Magnéticos. Esse
152 equipamento é composto de ímãs alternados e recoberto por uma proteção em aço inox, que
153 submete a água a um campo magnético de 3860 Gauss, com capacidade de magnetizar 1000
154 litros em uma hora de exposição ao campo magnético (TIMOL, 2012).

155 O tratamento referente à tensão de água no solo tratava-se de valores para início da
156 irrigação, com lâmina suficiente para elevar a umidade à capacidade de campo. Como é
157 indicado um limite de -80 kPa para funcionamento adequado dos tensiômetros (Azevedo and
158 Silva, 1999), definiu-se -70 kPa como o tratamento com maior depleção da tensão referente à
159 capacidade de campo.

160 2.4. Manejo da irrigação

161 O manejo da irrigação baseou-se na definição do momento (tensão de água no solo
162 para início da irrigação) e na quantidade a ser irrigada para atingir a umidade equivalente à
163 capacidade de campo, sendo realizada de forma indireta pelo método da tensiometria, onde
164 para isso utilizou-se a equação da curva de retenção de água no solo confeccionada a partir de
165 dados gerados de avaliação em campo (na área experimental) (Lemos et al., 2019) (Equação
166 1).

$$\theta_1 = 0.44554 - 0.04528 \ln (|\Psi_m|) \quad (1)$$

167 Onde θ_1 é a umidade do solo no momento da leitura ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), e Ψ_m é a tensão de
168 água no solo do solo ou potencial matricial (kPa).

169 Para a determinação da tensão de água no solo ou potencial matricial a partir da leitura
170 do tensiômetro instalado à 12.5 cm (correspondente a metade da profundidade efetiva do
171 sistema radicular (z), considerada igual a 250 mm para a alface (Geisenhoff et al., 2016)),
172 utilizou-se a Equação 2. A altura da coluna de água nos tensiômetros foi de 22,5 cm.

$$\Psi_m = L - 0,098.h \quad (2)$$

173 Onde L é a leitura do tensímetro (kPa), e h é a altura da coluna de água nos
174 tensiômetros (cm).

175 A leitura dos tensiômetros foram realizadas diariamente (9 e 15 horas) com auxílio de
176 um tensímetro digital (modelo TENSIMETER, da empresa Hidrodinâmica Irrigação,
177 Piracicaba – SP, Brasil). Para haver repetitividade da informação, em cada canteiro foram
178 instalados três tensiômetros.

179 Para obtenção da lâmina líquida de irrigação (LL) foi utilizada a Equação 3.

$$LL = (\theta_{cc} - \theta_1).z \quad (3)$$

180 Onde LL é a lâmina líquida de irrigação (mm), θ_{cc} é a umidade volumétrica na
181 capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), e z é profundidade efetiva da raiz (mm).

182 De acordo com os resultados de Lemos et al. (2019), o solo da área experimental
183 apresentou em condição de campo, umidade na capacidade de campo de $0.342 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$,
184 referente a uma tensão de água no solo de -10 kPa, sendo utilizada essas informações para a
185 realização do manejo da irrigação do experimento.

186 A irrigação do experimento foi realizada utilizando um sistema de gotejamento (97%
187 de coeficiente de uniformidade de Christiansen - CUC, e 95.4% de uniformidade de

188 distribuição - UD), com emissor autocompensante ClickTif NaanDanJain (vazão média de
189 $2.14 \pm 0.08 \text{ L h}^{-1}$), com espaçamento de 30 cm (16 emissores por canteiro).

190 A lâmina aplicada nas irrigações ou lâmina bruta de irrigação (LB), foi obtida pela
191 utilização da Equação 4. Com base na lâmina estimada, calculou-se tempo dos eventos de
192 irrigação (T) utilizando a Equação 5.

$$LB = \frac{LL}{E_a UD} \quad (4)$$

193 Onde LB é lâmina bruta de irrigação (mm), E_a é a eficiência de aplicação do sistema
194 (decimal); UD é o valor de coeficiente de uniformidade de distribuição do sistema de
195 irrigação do experimento (decimal).

$$T = LB \cdot \frac{A}{n_e q_a} \cdot 60 \quad (5)$$

196 Onde T é o tempo do evento de irrigação (min), A é a área do canteiro (m^2), q_a é a
197 vazão média do emissor (L h^{-1}), n_e é o número de emissores por canteiro.

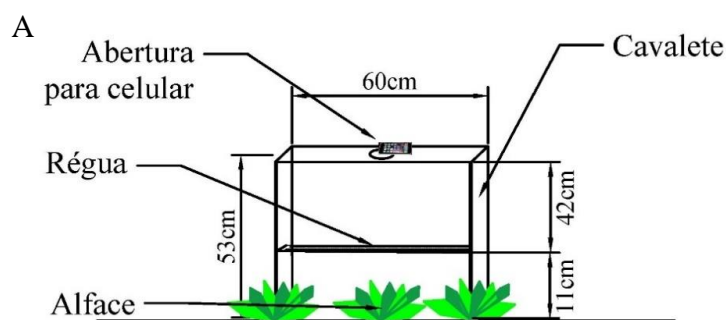
198 Foi assumido nas irrigações uma eficiência de aplicação do sistema da ordem de 95%
199 (Pizarro Cabello, 1996).

200 **2.5. Parâmetros avaliados**

201 **2.5.1. Desenvolvimento da cultura**

202 Durante o experimento foram realizadas fotografias das plantas de todos os
203 tratamentos (três plantas aleatórias da parcela útil de uma das três repetições por tratamento),
204 a cada semana, até o dia 49 após o transplântio à 53 cm da superfície do solo com auxílio de
205 um cavalete com régua graduada, que possibilitou verificar as dimensões das plantas. Pela
206 Figura 2 é possível ver o esquema utilizado para realização das fotografias, bem como
207 algumas fotografias realizadas durante o experimento.

208



209

210 Figura 10. Esquema do cavalete com régua graduada para fotografar as plantas do
 211 experimento (A) e exemplo de foto realizada com régua e plantas (B).

212 Com o auxílio do software ImageJ, contabilizou-se a área exposta da planta
 213 fotografada (A_p), sendo possível acompanhar o desenvolvimento das plantas para cada
 214 tratamento, relacionando a área exposta da planta e o tempo. O objetivo foi avaliar a
 215 influência dos tratamentos no tempo de desenvolvimento máximo das plantas (ou ciclo da
 216 planta), pois em experimento de Putti et al. (2015a) houve uma redução média de 5 dias no
 217 ciclo de produção da alface utilizando água tratada magneticamente na irrigação. Em trabalho
 218 de Seron et al. (2019) para produção de jiló observou-se redução do ciclo de
 219 desenvolvimento, com aceleração da floração e da frutificação no uso de água submetida ao
 220 tratamento magnético. Para contabilizar o tempo referente ao ciclo da cultura, foi adotado
 221 como referência o valor de área exposta máxima ($A_{p\text{máx}}$), pois comercialmente a alface deve
 222 ser colhida antes da fase de floração/pendoamento, época da ocorrência da área exposta
 223 máxima.

224 Realizou-se também a determinação do comprimento e do diâmetro do caule (L_c e
 225 D_c). Para isso utilizou-se um paquímetro digital milimétrico. Selecionou-se aleatoriamente

226 quatro plantas por parcela útil experimental. Nas mesmas plantas avaliou-se o percentual de
227 folhas que apresentaram *tipburn* (PFtb), que é caracterizada como uma desordem fisiológica
228 em decorrência da deficiência de cálcio, queimando a bordas de pontos de crescimento das
229 folhas jovens, e favorecendo a entrada de microorganismos (Turini et al., 2011; Yuri et al.,
230 2006). Esse processo pode estar associado e pode ser agravado pelas temperaturas e umidades
231 relativas elevadas, e pela baixa umidade do solo determinando baixa mobilidade do cálcio na
232 folha (Corriveau et al., 2012; Baudoin et al., 2017; De Carvalho and Sabbag, 2015; Jayalath et
233 al., 2017; Mota et al., 2003). O percentual de folhas com *tipburn* foi calculado com a Equação
234 6.

$$PFtb = \frac{NFtb}{NFt} 100 \quad (6)$$

235 Onde PFtb é o percentual de folhas com a desordem de *tipburn* (%), NFtb é o número
236 de folhas com *tipburn* e NFt é o número total de folhas da planta.

237 Adicionalmente foi avaliada a compacidade da cabeça das plantas, uma característica
238 importante para alfaces do tipo americana especialmente quando destinada ao processamento
239 e ao beneficiamento, onde se comercializa apenas a parte mais interna com folhas mais
240 fechadas, compactas e mais claras que formam a cabeça comercial. Ou seja, quanto maior a
241 compacidade, maior a massa comercial, sendo o visual da planta influencia positivamente o
242 comércio da planta (Neves et al., 2016; Benett et al., 2018). A cultivar Lucy Brown é descrita
243 pela Seminis® como uma alface americana com cabeças grandes e com boa compacidade,
244 sendo essa avaliação sujeita a interpretação (Semini, 2019). Para avaliar a compacidade foi
245 utilizada uma escala de 0 a 5, sendo 0 aquela planta que não possui compacidade alguma, ou
246 seja, não há cabeça comercial visivelmente formada. A nota 1 foi dada para plantas com
247 cabeça sem miolo definido, 2 para plantas que apresentam cabeça com miolo aparente e
248 folhas periféricas soltas, 3 para plantas com cabeça que apresentem miolo definido e folhas
249 iniciando a compactação na periferia, 4 para plantas com cabeça que apresentam miolo
250 definido e folhas periféricas compactas mas que permitam uma individualização visual, e 5
251 para cabeça com miolo compacto e sem individualização visual das folhas periféricas (De
252 Souza et al., 2013).

253 **2.5.2. Parâmetros produtivos da cultura**

254 Os parâmetros produtivos da cultura foram avaliados nas mesmas quatro plantas
255 selecionadas na parcela útil experimental, sendo: - massa fresca e seca total da parte aérea

256 (MFt e MSt); - massa fresca e seca da cabeça comercial (MFcc e MSc); - massa fresca e seca
 257 da raiz (MFr e MSr); - massa fresca e seca do caule (MFc e MSc); Produtividade total e
 258 comercial (Pt e Pc); Eficiência no uso da água para produtividade total e produtividade
 259 comercial (EUAt e EUAc); Massa fresca total unitária (MA); Conteúdo de massa seca (C).

260 A determinação das massas frescas foi realizada no local de colheita, utilizando-se
 261 balança digital (precisão de 0.01 g). A massa fresca comercial (MFc) foi determinada após a
 262 retirada das folhas externas excessivas (mais escuras), que entraram em contato com o solo,
 263 restando as folhas mais claras e mais compactas (Yuri et al., 2002). A massa seca dos
 264 constituintes da planta foi determinada após a secagem em estufa de circulação forçada, com
 265 temperatura regulada à 65°C (Cardoso et al., 2018). Para isso realizou-se o acondicionamento
 266 do material em sacos de papel.

267 A produtividade total e comercial (Pt e Pc respectivamente) foram estimadas
 268 utilizando-se respectivamente as Equações 7 e 8.

$$Pt = 0.01 \frac{n_p MFt}{A} \quad (7)$$

269 Onde Pt é a produtividade total (t ha⁻¹), n_p é o número de plantas por canteiro (32
 270 plantas), MFt é a média da massa fresca total da parte aérea das plantas do canteiro (g planta⁻¹),
 271 e A é a área do canteiro (m²).

$$Pc = 0.01 \frac{n_p MFc}{A} \quad (8)$$

272 Onde Pc é a produtividade comercial (t ha⁻¹), n_p é o número de plantas por canteiro (32
 273 plantas), MFc é a média da massa fresca comercial das plantas do canteiro (g planta⁻¹), e A é a
 274 área do canteiro (m²).

275 A eficiência no uso da água na produtividade total e comercial (EUAt e EUAc
 276 respectivamente) foram estimadas utilizando-se as Equações 9 e 10.

$$EUAt = \frac{Pt}{\sum LB} \quad (9)$$

277 Onde EUAt é a eficiência no uso da água na produtividade total (t ha⁻¹ mm⁻¹), Pt é a
 278 produtividade total (t ha⁻¹), e $\sum LB$ é o somatório da lâmina bruta de irrigação aplicada em
 279 cada tratamento (mm).

$$EUAc = \frac{Pc}{\sum LB} \quad (10)$$

280 Onde EUAc é a eficiência no uso da água na produtividade comercial ($t\ ha^{-1}\ mm^{-1}$), Pc
 281 é a produtividade comercial ($t\ ha^{-1}$), e $\sum LB$ é o somatório da lâmina bruta de irrigação
 282 aplicada (mm).

283 A massa fresca total unitária (MA) relaciona a massa fresca total média da parte aérea
 284 de uma planta (MFt) e a área exposta máxima de uma planta no final do seu desenvolvimento
 285 (A_p) (Equação 11).

$$MA = \frac{MFt}{A_p} \quad (11)$$

286 Onde MA é a massa fresca total unitária ($g\ cm^{-2}$), MFt é a massa fresca total média da
 287 parte aérea de uma planta ($g\ planta^{-1}$), e A_p é a área exposta máxima de uma planta no final
 288 do seu desenvolvimento (cm^2).

289 O conteúdo de massa seca é a razão entre a massa seca total da parte aérea (MSt) e a
 290 massa fresca total da parte aérea (MFt) (Equação 12). De acordo com Di Gioia et al. (2017),
 291 este índice possibilita quantificar o percentual da massa fresca total que constitui em massa
 292 seca total.

$$C = \frac{MSt}{MFt} 100 \quad (12)$$

293 Onde C é o conteúdo de massa seca (%), MSt é a massa seca total da parte aérea (g
 294 $planta^{-1}$) e MFt é a massa fresca total da parte aérea ($g\ planta^{-1}$).

295 **2.6. Análise dos dados**

296 A avaliação estatística da influência do tipo de água e da tensão de água no solo foi
 297 realizada pela aplicação da análise de variância (teste F) a 5% de probabilidade, e para os
 298 fatores que apresentaram diferenças significativas foram aplicados o teste Tukey. Utilizou-se
 299 o software SISVAR 5.7 para auxiliar nas análises.

300 **3. Resultados e discussão**

301 **3.1. Condições meteorológicas do experimento**

302 No decorrer do experimento os valores médios de temperatura e umidade relativa no
 303 interior da casa de vegetação foram de $25.0 \pm 1.5^\circ C$ e $66.1 \pm 5.9\%$ respectivamente, enquanto as
 304 máximas e mínimas médias foram $31.0 \pm 2.4^\circ C$ e $91.2 \pm 6,3\%$, e $19.0 \pm 1.8^\circ C$ e $41.0 \pm 9.2\%$,
 305 respectivamente.

306 De acordo com o boletim 230 da FAO (Baudoin et al., 2017), a alface tem seu
 307 desempenho bastante influenciado pelas condições meteorológicas, com melhor
 308 desenvolvimento ocorrendo na faixa de temperatura de 7 a 23°C, e na faixa de umidade
 309 relativa entre 75 e 85%. Temperaturas elevadas podem produzir plantas menores e com
 310 cabeças pouco compactas, provocar a queima das bordas das folhas externas, contribuir para
 311 ocorrência de *tipburn*, e especialmente se associada à alta umidade relativa facilitar a
 312 ocorrência de doenças fúngicas (Baudoin et al., 2017; De Carvalho e Sabbag, 2015; Jayalath
 313 et al., 2017; Mota et al., 2003; Turini et al., 2011). Apesar das informações apresentadas,
 314 Valeriano et al. (2018) obtiveram bom desenvolvimento da alface americana cultivar Mirena,
 315 em experimento cuja temperatura média foi da ordem de 32.5°C e umidade relativa média foi
 316 em torno de 62%.

317 3.2. Manejo da irrigação

318 A quantidade total de água aplicada (somatório das lâminas brutas de cada evento de
 319 irrigação), bem como o número de eventos de irrigação para cada combinação experimental é
 320 apresentada pela Tabela 2.

321 Tabela 4. Valores totais de lâmina bruta de irrigação (mm) e número de eventos de irrigação
 322 aplicados na cultura da alface, para as diferentes combinações de tipos de água e tensões de
 323 água no solo.

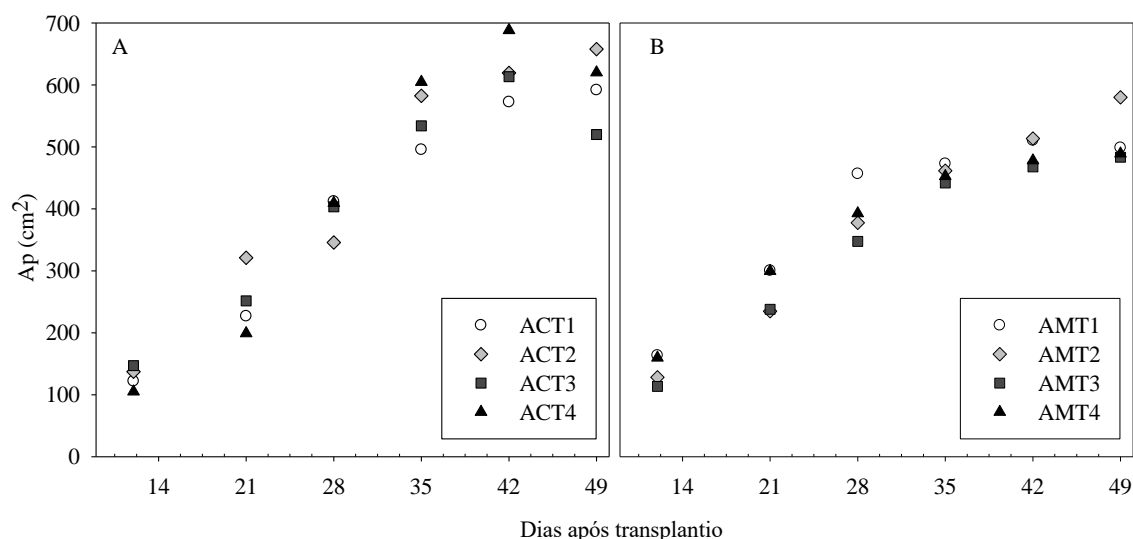
Tensão de água no solo	Água magnetizada		Água comum	
	Σ LB (mm)	Número de irrigações	Σ LB (mm)	Número de irrigações
T1	90.69	13	138.72	18
T2	146.11	10	132.87	9
T3	138.11	7	169.71	9
T4	71.78	3	97.45	4

324 Com exceção do tratamento de tensão de água no solo T2, pode-se observar que a
 325 quantidade de água demandada e o número de eventos de irrigação no uso do tratamento com
 326 água submetida ao tratamento magnético foram menores em relação ao uso da água comum.
 327 Como as irrigações foram realizadas em resposta à ocorrência de determinadas tensões de
 328 água no solo, lâminas menores e menor quantidade de eventos de irrigação indicam que o solo
 329 se manteve úmido por maior tempo. Alguns autores observaram resultados análogos no uso
 330 da água magnetizada na irrigação. Surendran et al. (2016) obtiveram maior umidade no solo
 331 após três dias de irrigação no uso de água magnetizada. Zlotopolski (2017) obtiveram valores

332 de potencial matricial de água no solo menos negativos no uso da água submetida ao
 333 tratamento magnético.

334 3.3. Desenvolvimento da cultura

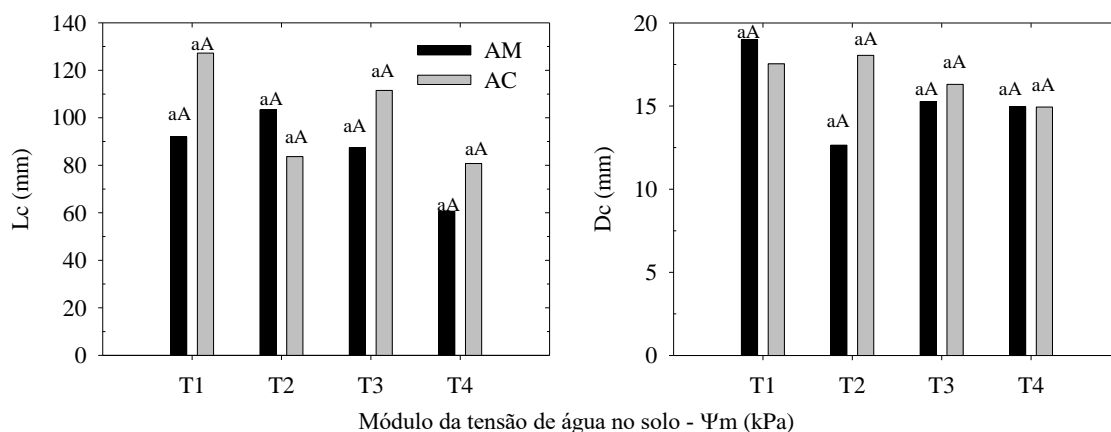
335 A Figura 3 mostra o comportamento da área exposta da planta de alface (A_p) em
 336 função dos dias após o transplântio (DAT), para as diferentes combinações experimentais.



337
 338 Figura 11. Comportamento da área exposta da planta de alface - A_p (cm^2) em função dos dias
 339 após o transplântio, para as diferentes tensões de água no solo (T1, T2, T3 e T4) associados
 340 aos diferentes tipos de água (A - água comum e B – água magnetizada).

341
 342 É possível observar que o uso da água submetida ao tratamento magnético
 343 proporcionou a ocorrência de menor valor de área máxima de exposição ($A_{p\text{máx}}$ de
 344 aproximadamente 528 cm^2 para água tratada magneticamente, e 658 cm^2 no uso da água
 345 comum). Adicionalmente pode-se observar que o tempo para atingir o valor máximo de área
 346 exposta (em torno de 42 dias após o transplântio para ambos os tipos de água e tensões de
 347 água no solo) não sofreu influência do tipo de água como mencionado nos resultados de Putti
 348 et al. (2015a). Putti et al. (2015a) observaram redução no tempo de desenvolvimento da alface
 349 crespa no uso da água tratada magneticamente, atingindo o mesmo número de folhas e massa
 350 fresca da cultura (aproximadamente 30 dias após o transplântio) 5 dias antes ao tratamento
 351 referente à água comum.

352 A Figura 4 mostra o resultado do teste Tukey ($P \leq 0.05$) referente ao comprimento e ao
 353 diâmetro do caule da alface para as diferentes combinações de tipos de água e tensões de água
 354 no solo.



355
 356 Figura 12. Resultado do teste Tukey ($P \leq 0.05$) referente ao comprimento (mm) e ao diâmetro
 357 do caule (mm) da alface, para as diferentes combinações de tipo de água e tensões de água no
 358 solo. (OBS: as letras minúsculas comparam a influência do tipo de água, e as letras
 359 maiúsculas comparam a influência da tensão de água no solo).

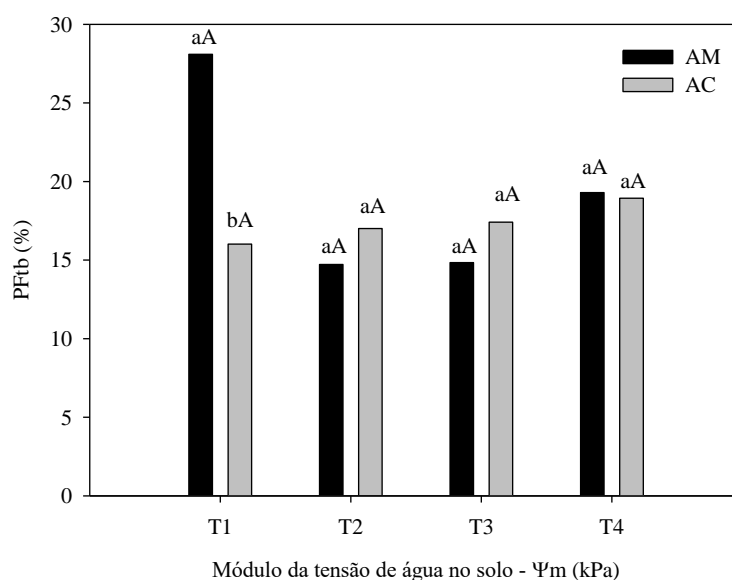
360
 361 Observou-se não haver diferenças significativas ($P \leq 0.05$) na modificação do tipo de
 362 água e da tensão de água no solo para início da irrigação nos resultados de comprimento e
 363 diâmetro do caule. O valor médio de comprimento e diâmetro do caule da alface foi da ordem
 364 de 93.3 e 16.1 mm respectivamente. Maboko et al. (2007) encontraram 122.8 e 28.4 mm de
 365 comprimento e diâmetro de caule respectivamente em experimento hidropônico em condições
 366 meteorológicas de verão.

367 O comprimento do caule da alface americana tem importância no processo de
 368 industrialização do produto, onde comprimentos abaixo de 60 mm são os mais adequados,
 369 sendo aceitável até 90 mm (Yuri et al., 2004). Por outro lado Gil et al. (2012) afirmam que o
 370 comprimento máximo do caule deve ser de 50 mm, com diâmetro de 5 a 15 mm quando a
 371 planta atinge sua maturidade para a colheita, para qualquer estação do ano. Caules menores
 372 geram menores perdas durante o beneficiamento, e também alteram mais a qualidade final do
 373 produto por afetar a compactidade da cabeça (cabeças mais compactas), além de ser um
 374 indicador de maior resistência ao pendoamento (Neves et al., 2016). Os tratamentos que se
 375 adequaram ao intervalo ideal recomendado por Yuri et al., (2004) de uso na indústria referem-
 376 se à AMT3 (87.43 mm), AMT4 (60.66 mm), ACT2 (83.64 mm) e ACT4 (80.76 mm), onde os
 377 demais tratamentos alcançaram valores acima de 90 mm.

378 Quanto ao diâmetro do caule, apenas AMT2 (12.65 mm), AMT4 (14.97 mm) e ACT4
 379 (14.94 mm) estão abaixo do recomendado por Gil et al. (2012), indicando que os demais
 380 tratamentos já haviam atingido a maturidade desejável para colheita.

381 Apesar da alface americana cv. Lucy Brown ser indicada para produção de verão, com
 382 ciclo médio variando de 70 a 80 dias de acordo com o catálogo de produtos Seminis® (2019),
 383 e de acordo com o site da mesma empresa 85 a 90 dias, a alta temperatura, principalmente
 384 com padrão constante, é um dos fatores que estão associados ao maior comprimento do caule
 385 e ao pendoamento precoce (Neves et al., 2016; Al-Said et al., 2018). A colheita foi realizada
 386 no 80º dia após a semeadura.

387 Na Figura 5 é apresentando o resultado da avaliação do percentual de ocorrência de
 388 folhas com *tipburn* (PFtb) para as diferentes combinações experimentais.



389 Figura 13. Resultado do teste Tukey ($P \leq 0.05$) referente ao percentual de ocorrência de folhas
 390 com tipburn nas plantas de alface (%), para as diferentes combinações de tipo de água e
 391 tensões de água no solo. (OBS: as letras minúsculas comparam a influência do tipo de água, e
 392 as letras maiúsculas comparam a influência da tensão de água no solo).

394 É possível observar diferenciação significativa ($P \leq 0.05$) no percentual de folhas com
 395 *tipburn* na mudança do tipo de água, especificamente para a tensão de -15 kPa, onde o uso da
 396 água magnetizada determinou aumento da ocorrência de tipburn (28.1% para água
 397 magnetizada, e 16.0% para água comum). Apesar do tratamento magnético da água ter
 398 possibilitado a manutenção da umidade do solo por maior tempo, pode ter havido menor
 399 disponibilidade às plantas quando comparado ao uso da água comum. O tratamento
 400 magnético pode ter causado baixa mobilidade da água decorrente da maior resistência à
 401 movimentação no solo, como já citado, a água fica mais aderida aos microporos (Al-Ogaidi et
 402 al., 2017; Mostafazadeh-Fard et al., 2011; Surendran et al., 2016).

403 Em relação à influência das tensões de água no solo para início da irrigação,
 404 Plamondon et al. (2011) obtiveram maior presença de *tipburn* em tensões mais baixas (solos

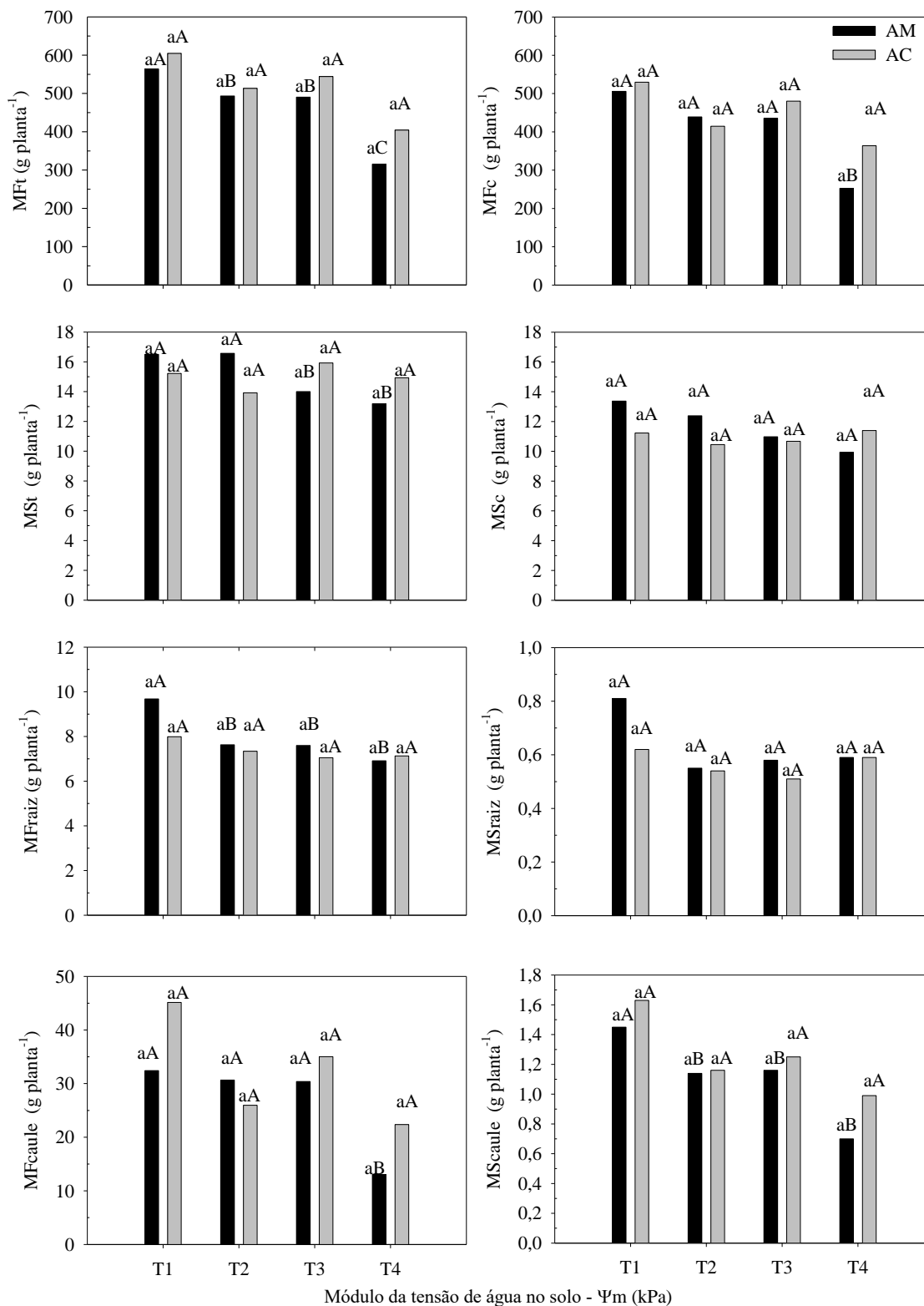
405 mais úmidos). Os autores explicaram que plantas que recebem água mais frequentemente
406 tendem a maturar mais rapidamente e se tornarem mais pesadas, e o crescimento mais rápido
407 tende a proporcionar maior ocorrência de *tipburn*.

408 Outra possibilidade da ocorrência de *tipburn* é a alta umidade relativa do ar associada
409 a alta temperatura (Baudoin et al., 2017; Mota et al., 2003; Turini et al., 2011). A faixa média
410 de UR variou entre 47.5% e 82% estando dentro do recomendado como ótimo pela FAO
411 (Baudoin et al., 2017), como os tratamentos estavam todos no mesmo ambiente, infere-se que
412 a UR teve baixa influencia na diferença de PFTb.

413 Com relação à avaliação da compacidade das cabeças de alface, observou-se não haver
414 diferenças significativas ($P \leq 0.05$) na modificação dos tratamentos, alcançando-se a nota
415 média de 2 (cabeça com miolo aparente e folhas periféricas soltas). Utilizando a mesma escala
416 de notas, alguns autores obtiveram classificação muito próxima. De Souza et al. (2013)
417 obtiveram compacidade de 1.95, e Neves et al. (2016) obtiveram compacidade de 2.15. Esses
418 resultados corroboram com Turini et al. (2011), que afirmam que elevadas temperaturas
419 causam má formação da cabeça da alface americana, não sendo favorável à industrialização, e
420 segundo Neves et al. (2016) seria um indicativo que a cultivar pode não ser adaptada à região
421 que está sendo cultivada.

422 **3.3.1. Parâmetros produtivos da cultura**

423 A Figura 6 mostra o resultado do teste Tukey ($P \leq 0.05$) referente ao comportamento da
424 massa fresca total e comercial (MFT e MFC), e da massa seca total e comercial (MST e MSC),
425 bem como da massa fresca e seca da raiz (MFR e MSR), e da massa fresca e seca do caule
426 (MFcaule e MScaule).



427
428
429
430
431
432
433

Módulo da tensão de água no solo - Ψ_m (kPa)

Figura 14. Resultado do teste Tukey ($P \leq 0.05$) referente ao comportamento da massa fresca total e comercial (g planta^{-1}), da massa seca total e comercial (g planta^{-1}), da massa fresca e seca da raiz (g planta^{-1}), e da massa fresca e seca do caule (g planta^{-1}), da alface americana, para as diferentes combinações de tipos de água e tensões de água no solo. (OBS: as letras minúsculas comparam a influência do tipo de água, e as letras maiúsculas comparam a influência da tensão de água no solo).

434 No uso da água comum, observou-se não haver diferenças significativas ($P \leq 0.05$) para
435 MFt, MFc, MSt e MSc pela variação da tensão de água no solo para início da irrigação (valor
436 médio de 516.75 g planta⁻¹ para MFt, 447.21 g planta⁻¹ para MFc, 15.00 g planta⁻¹ para MSt e
437 10.89 g planta⁻¹ para MSc). Os valores alcançados neste trabalho estão próximos aos valores
438 obtidos por De Souza et al. (2013) que avaliaram o comportamento de diferentes cultivares de
439 alface em clima tropical. Os autores obtiveram para Lucy Brown massa fresca total de 574.8 g
440 planta⁻¹, massa fresca comercial 412.3 g planta⁻¹ e massa seca comercial de 14.1 g planta⁻¹,
441 com 67 dias após a semeadura. Diferentemente do comportamento observado, Dos Santos and
442 Pereira (2004) e Coelho et al. (2005) obtiveram comportamento decrescente da massa fresca
443 comercial da alface americana com o aumento, em módulo, da tensão de água no solo para
444 início da irrigação. Em trabalho com diferentes lâminas de reposição para diferentes cultivares
445 de alface, Da Silva et al. (2018) observaram que não houve influência do aumento da lâmina
446 de irrigação na massa fresca das plantas, mas influenciou na massa seca, que aumentou com
447 as maiores lâminas.

448 Já no uso de água submetida ao tratamento magnético observou-se redução da MFt, da
449 MFc e da MSt com o aumento da tensão de água no solo, sendo T1 (563.42 g) > T2 (493.23 g
450 planta⁻¹) = T3 (490.38 g planta⁻¹) > T4 (315.17 g planta⁻¹) para MFt, T1 (505.63 g planta⁻¹) =
451 T2 (493.12 g planta⁻¹) = T3 (435.46 g planta⁻¹) > T4 (252.53 g planta⁻¹) para MFc, e T1 (16.50
452 g planta⁻¹) = T2 (16.57 g planta⁻¹) > T3 (14.00 g planta⁻¹) = T4 (13.19 g planta⁻¹) para MSt.
453 Putti et al. (2015b) obtiveram influência significativa positiva do uso dos níveis de reposição
454 de água magnetizada na média de massa fresca e seca aérea. Como citado anteriormente a
455 hipótese da água submetida ao tratamento magnético determina aumento da resistência de sua
456 extração da matriz do solo, pode-se observar que o aumento da tensão de água no solo para
457 início da irrigação (ou seja, aumento da depleção em relação à capacidade de campo)
458 determina ainda mais aumento da resistência à absorção da água. Zlotopolski (2017) também
459 observou que a redução das lâminas de reposição de água associadas ao uso de água
460 magnetizada acarretou diminuição da massa fresca média da alface.

461 Considerando o efeito do tipo de água, observou-se não haver diferenças estatísticas
462 ($P \leq 0.05$) nos resultados de MFt, MFc, MSt e MSc, para nenhuma tensão de água no solo
463 avaliada. O contrário foi observado por Putti et al. (2015), onde obtiveram incremento
464 significativo da massa fresca da alface crespa no uso de água submetida ao tratamento
465 magnético. Pradela et al. (2018) observaram incremento da massa seca da parte aérea da

466 alface no uso de água magnetizada. De maneira geral, a maioria dos autores que observaram
467 efeito significativo do uso da água submetida ao tratamento magnético na irrigação atribuem a
468 causa nas alterações físicas e químicas da água, melhorando a capacidade da planta em
469 absorver água e nutrientes, além de possibilitar aumento das atividades metabólicas da planta
470 em função da absorção da água submetida ao tratamento magnético (Maheshwari e Grewal,
471 2009; Pradela et al., 2018; Putti et al., 2015b; Ul Haq et al., 2016).

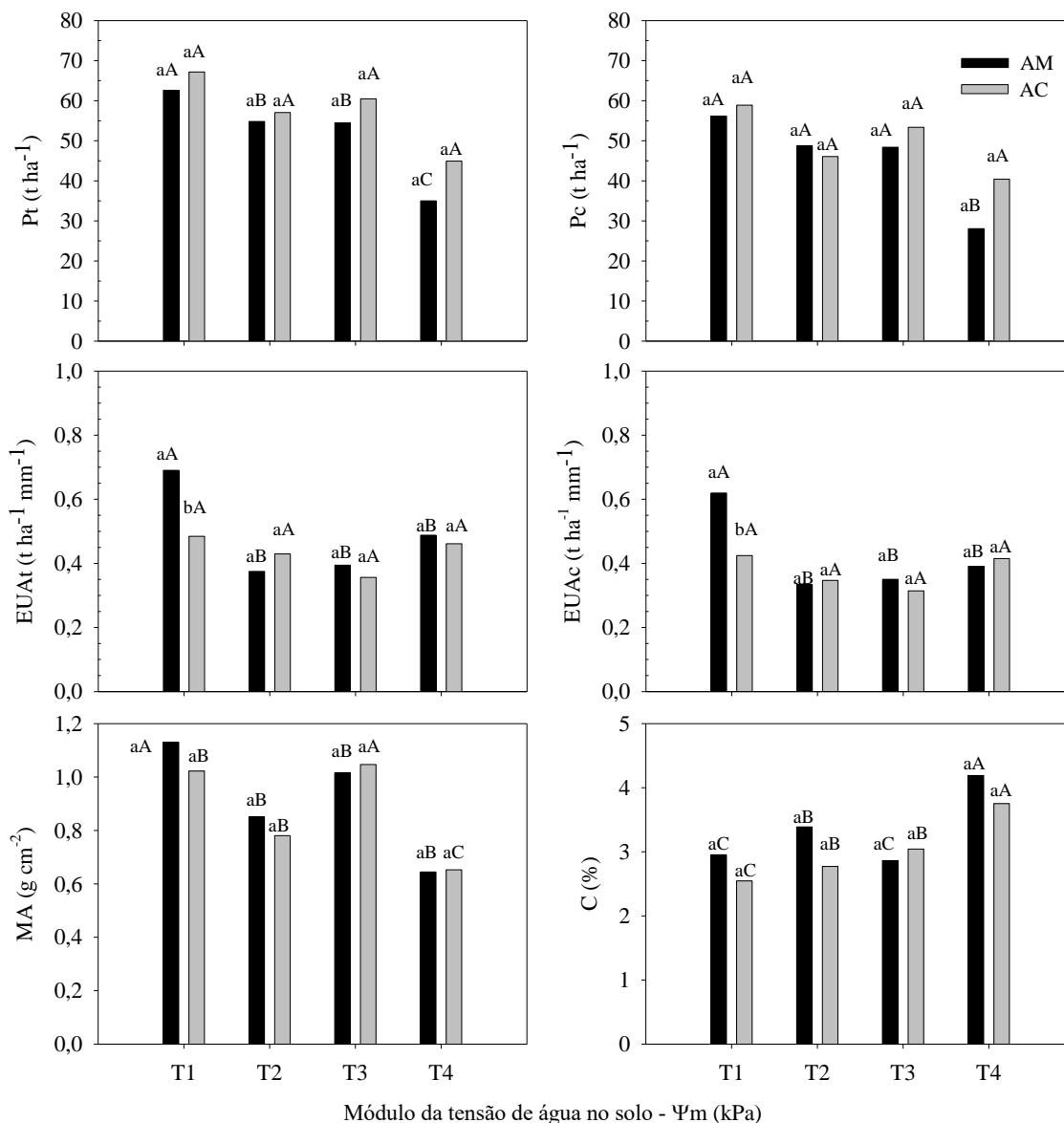
472 Com relação à massa de raízes, observou-se que no uso da água magnetizada a raiz
473 fresca (MFr) sofreu influência da tensão de água no solo, onde o aumento da tensão
474 determinou diminuição significativa ($P \leq 0.05$), com T1 ($9.68 \text{ g planta}^{-1}$) > T2 ($7.63 \text{ g planta}^{-1}$)
475 = T3 ($7.60 \text{ g planta}^{-1}$) = T4 ($6.91 \text{ g planta}^{-1}$). Já no uso da água comum, a MFr não apresentou
476 diferenças significativas com a alteração da tensão de água no solo (média de $7.38 \text{ g planta}^{-1}$).
477 Da Silva et al. (2018) obtiveram uma relação linear decrescente da massa seca da raiz da
478 alface americana com o aumento da tensão da água no solo para irrigação com água comum.
479 Em trabalho de Putti et al. (2015b) observou-se aumento na massa fresca da raiz da alface
480 crespa no uso da água submetida ao tratamento magnético e no aumento da lâmina de água de
481 reposição. Os autores interpretaram que o tratamento magnético determinou a diminuição do
482 pH da água e a acidificação do solo, que é benéfico para a alface, determinou que as raízes
483 desenvolvessem em comprimento e massa, absorvendo mais nutrientes e água, tendo como
484 consequência maior massa da parte aérea.

485 Com relação à massa das raízes secas (MSr), tanto no uso da água comum (média de
486 $0.565 \text{ g planta}^{-1}$), quanto no uso da água magnetizada (média de $0.633 \text{ g planta}^{-1}$), não houve
487 diferenças significativas dos resultados com a modificação da tensão de água no solo, fato que
488 está em concordância com os resultados de Putti et al. (2015b).

489 Para a massa fresca e seca do caule, observou-se não haver diferenças significativas
490 ($P \leq 0.05$) na mudança da tensão de água no solo, no uso de água comum (valor médio de
491 MFcaule igual à $32.13 \text{ g planta}^{-1}$, e de MScaule igual à $1.26 \text{ g planta}^{-1}$). Contudo, no uso da
492 água submetida ao tratamento magnético observou-se redução das massas com o aumento da
493 tensão de água no solo para início da irrigação. Para MFcaule observou-se que T1 (32.41 g
494 planta^{-1}) = T2 ($30.67 \text{ g planta}^{-1}$) = T3 ($30.39 \text{ g planta}^{-1}$) > T4 ($13.05 \text{ g planta}^{-1}$), e para
495 MScaule observou-se que T1 ($1.45 \text{ g planta}^{-1}$) > T2 ($1.14 \text{ g planta}^{-1}$) = T3 ($1.16 \text{ g planta}^{-1}$) =
496 T4 ($0.70 \text{ g planta}^{-1}$). A maior massa fresca do caule pode não ser visto como uma vantagem,
497 haja visto ser descartado após o seu processamento (Neves et al., 2016).

498 Já com relação à influência do tipo de água, observou-se que em nenhuma tensão de
 499 água no solo houve diferenças significativas ($P \leq 0.05$) nos valores de MFcaule e MScaule.

500 A Figura 7 apresenta o resultado do teste Tukey ($P \leq 0.05$) na avaliação da
 501 produtividade total e comercial (Pt e Pc, respectivamente), da eficiência no uso da água
 502 referente à produtividade total e comercial (EUAt e EUAc), da massa fresca total unitária
 503 (MA) e do conteúdo de massa seca (C).



504
 505 **Figura 15** Resultado do teste Tukey ($P \leq 0.05$) referente à produtividade total e comercial (t ha⁻¹),
 506 à eficiência no uso da água para produtividade total e produtividade comercial (t ha⁻¹ mm⁻¹),
 507 à massa fresca total unitária (g cm⁻²), e ao conteúdo de massa seca (%) da alface americana
 508 para as diferentes combinações experimentais. (OBS: as letras minúsculas comparam a
 509 influência do tipo de água, e as letras maiúsculas comparam a influência da tensão de água no
 510 solo).

511 A produtividade total e comercial da alface não apresentou influência significativa
512 ($P \leq 0.05$) na alteração da tensão de água no solo para início da irrigação no uso da água
513 comum. Este fato pode ser explicado pela possibilidade de erro da curva de retenção de água
514 no solo que mesmo apresentando elevado coeficiente de determinação (94.3%), o erro pode
515 ter diminuído as diferenças necessárias entre lâminas de irrigação, diminuindo a possibilidade
516 de haver diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade nos parâmetros avaliados.
517 O valor médio para Pt e Pc foi de 56.28 e 48.82 t ha⁻¹ respectivamente. Por outro lado Kirnak
518 et al. (2016) obtiveram na aumento da produtividade da alface com o aumento da lâmina de
519 irrigação. Em trabalho de Coelho et al. (2005) observou-se redução das produtividades total e
520 comercial da alface americana Lucy Brown com o aumento em módulo da tensão para início
521 da irrigação. Os autores observaram os maiores valores de Pt e Pc (em torno de 69.85 e 59.40
522 t ha⁻¹ respectivamente) para o tratamento mais próximo da capacidade de campo (-27.92 kPa).
523 Neves et al. (2016) obtiveram produtividade total de 24.13 t ha⁻¹, sendo esse baixo valor
524 atribuído à ocorrência de elevadas temperaturas durante o experimento. Em estudo com a
525 cultivar de alface americana Laureau, De Lima Junior et al. (2012) observaram diferenças
526 significativas na produtividade total, com relação quadrática com as lâminas de reposição,
527 obtendo-se valor máximo em torno de 66.9 t ha⁻¹. De Lima Junior et al. (2010) também
528 encontraram relação quadrática entre produtividade total e comercial da alface americana
529 Laureau com a lâmina de irrigação, obtendo-se respectivamente o valor de 65.58 t ha⁻¹ e 35.31
530 t ha⁻¹.

531 As produtividades também não apresentaram resultados significativos na diferenciação
532 do tipo de água para qualquer tensão de água no solo avaliada, contrariando resultados
533 favoráveis a AM de autores em pesquisas com outras culturas (Surendran et al., 2016; Yusuf e
534 Ogunlela, 2017b) e com a própria cultura de alface que, segundo resultados de Putti et al.
535 (2015b) e Zlotopolski (2017), possibilitaria maior produtividade em relação a irrigação com
536 água sem tratamento magnético.

537 Entretanto, no uso da água submetida ao tratamento magnético observou-se redução
538 dos valores de Pt e Pc com o aumento dos valores de tensão, sendo T1 (62.60 t ha⁻¹) > T2
539 (54.80 t ha⁻¹) = T3 (54.49 t ha⁻¹) > T4 (35.02 t ha⁻¹) para Pt, e T1 (56.18 t ha⁻¹) = T2 (48.80 t
540 ha⁻¹) = T3 (48.39 t ha⁻¹) > T4 (28.06 t ha⁻¹) para Pc. Como mencionado anteriormente, a
541 hipótese da causa desses resultados pode estar associada ao aumento da resistência de
542 absorção da água da matriz do solo, haja visto a manutenção da umidade por maior tempo nos

543 tratamentos com água magnetizada. Quanto maior a tensão de água no solo, mais dificuldade
544 a planta teve de retirar a água, aumentando o intervalo entre irrigações e conseqüentemente
545 diminuindo ainda mais a produtividade total.

546 Com relação à eficiência no uso da água, tanto para a produtividade total (EUAt),
547 quanto para a produtividade comercial (EUAc), observou-se influência significativa ($P \leq 0.05$)
548 nos resultados em função do tipo de água associado ao uso da tensão de -15 kPa para início
549 das irrigações, onde o uso da água submetida ao tratamento magnético apresentou-se 43.8%
550 superior ao uso da água comum para EUAt (média de $0.69 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para AM, e média de
551 $0.48 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para AC), e 47.6% superior para EUAc (média de $0.62 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para AM,
552 e média de $0.42 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para AC). Porém essa diferença pode ser devida a maior
553 dificuldade que as plantas irrigadas com AM tiveram em retirar a água do solo, mesmo que a
554 produtividade foi estatisticamente igual.

555 Com relação à influência da tensão de água no solo para início da irrigação, observou-se
556 se haver influência significativa ($P \leq 0.05$) apenas no uso da água magnetizada, com redução
557 dos valores de EUAt e EUAc com o aumento da tensão. Para EUAt observou-se que T1 (0.69
558 $\text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) > T2 ($0.38 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) = T3 ($0.40 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) = T4 ($0.49 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), bem
559 como para EUAc observou-se que T1 ($0.62 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) > T2 ($0.33 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) = T3 (0.35 t
560 $\text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) = T4 ($0.39 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Já em trabalho desenvolvido por Maggi et al. (2006),
561 obteve-se maior valor de eficiência no uso da água na produção de diferentes tipos de alface,
562 no manejo da irrigação com tensão de água no solo referente à -35 kPa no uso de água
563 comum. Também utilizando água comum, Dos Santos e Pereira (2004) obtiveram maior
564 eficiência do uso da água ($0.469 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) com tensão de água no solo correspondente a -
565 15kPa, e o menor valor ($0.380 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) com tensão de -51.95 kPa.

566 Com relação à massa unitária (MA), não houve diferença estatística entre os tipos de
567 água ($P \leq 0.05$), porém observou-se diferença significativa entre as tensões ($P \leq 0.05$). Para a
568 água tratada magneticamente obteve-se T1 (1.13 g cm^{-2}) > T2 (0.85 g cm^{-2}) = T3 (1.01 g cm^{-2})
569 = T4 (0.64 g cm^{-2}). Para água comum observou-se T3 (1.05 g cm^{-2}) > T1 (1.02 g cm^{-2}) = T2
570 (0.78 g cm^{-2}) > T4 (0.65 g cm^{-2}). Referente ao uso de água tratada magneticamente, observa-se
571 se que o tratamento com tensão -15 kPa obteve a maior massa fresca unitária. Isso se deve a
572 área exposta final da planta ser menor em relação aos demais tratamentos e sua massa fresca
573 total estar entre as maiores. Os tratamentos com água sem tratamento magnético obtiveram

574 área de cobertura final maior para todas as tensões, fazendo com que, mesmo que a massa
575 fresca total tenha sido maior, a massa fresca unitária foi menor.

576 Para o conteúdo de massa seca (C) observou-se diferença significativa apenas entre as
577 tensões ($P \leq 0.05$). Para a água tratada magneticamente obteve-se $T4 (4.19 \%) > T2 (3.39 \%) >$
578 $T1 (2.95 \%) = T3 (2.86 \%)$. Para água comum observou-se $T4 (3.75 \%) > T3 (3.04 \%) = T2$
579 $(2.77 \%) > T1 (2.54 \%)$. De maneira geral os tratamentos com maiores tensões (em módulo)
580 de água no solo obtiveram os maiores valores de conteúdo de massa seca.

581 Putti et al. (2015b) e Zlotopolski (2017) observaram que o uso de água submetida ao
582 tratamento magnético determinou maior incremento de massa seca na alface. Zlotopolshi
583 (2017) indica que o tratamento magnético da água aumentou a absorção de nutrientes e a
584 conversão de conteúdo de massa seca. O comportamento crescente do conteúdo de massa seca
585 em relação à tensão de água no solo corrobora com o encontrado por Dos Santos e Pereira.
586 (2004), para a alface americana cv. Raider. Os autores afirmaram que o menor conteúdo de
587 massa seca é desejável para a alface, uma vez que as folhas ficam mais saborosas e tenras,
588 apesar de poderem ter menos tempo de prateleira.

589 **4. Conclusões**

590 O uso de água submetida ao tratamento magnético nas irrigações da alface americana
591 Lucy Brown determinou redução das variáveis produtivas com o aumento da tensão de água
592 no solo para início da irrigação. Já o uso de água comum não há diferenciação significativa na
593 alteração da tensão. Esse fato pode estar associado ao aumento da resistência à absorção da
594 água nos tratamentos submetidos magnetismo, onde o incremento da tensão pode ter
595 potencializado a resistência, resultando em menor quantidade de água exigido pelo solo nas
596 irrigações. Conseqüentemente, como o tratamento magnético determinou menor consumo de
597 água, e não apresentou redução significativa da produtividade quando comparado ao
598 tratamento com água comum, apresentou maior eficiência no uso da água relativo à
599 produtividade total e comercial da cultura da alface.

600 **Agradecimentos**

601 O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de
602 Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

603 **Referências bibliográficas**

- 604 Agência Nacional de Águas (ANA), 2017. Atlas Irrigação.
- 605 Al-Ogaidi, A.A.M., Wayayok, A., Rowshon, M.K., Abdullah, A.F., 2017. The influence of
606 magnetized water on soil water dynamics under drip irrigation systems. *Agric. Water*
607 *Manag.* 180, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.001>
- 608 Al-Said, F., Hadley, P., Pearson, S., Khan, M.M., Iqbal, Q., 2018. Effect of high temperature
609 and exposure duration on stem elongation of iceberg lettuce. *Pakistan J. Agric. Sci.* 55,
610 95–101. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/18.6554>
- 611 Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., De Moraes Gonçalves, J.L., Sparovek, G., 2013.
612 Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift* 22, 711–728.
613 <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- 614 Azevedo, J. de, Silva, E. da, 1999. Tensiômetro: dispositivo prático para controle da irrigação.
615 Embrapa Cerrados. *Circ. Técnica*, 001 33.
- 616 Baudoin, W., Nersisyan, A., Shamilov, A., Hodder, A., Gutierrez, D., Pascale, S. De, Nicola,
617 S., Gruda, N., Urban, L., Tany, J., 2017. Good Agricultural Practices for greenhouse
618 vegetable production in the South East European countries - Principles for sustainable
619 intensification of smallholder farms., *FAO Plant Production and Protection Paper* Nr 230.
620 Rome.
- 621 Benett, C.G.S., Pereira, A.K. dos S., Salomão, L.C., Benett, K.S.S., Arruda, N., 2018.
622 Calcium Nitrate Dose and Application Period in American Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *J.*
623 *Agric. Sci.* 10, 154. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n6p154>
- 624 Cai, R., Yang, H., He, J., Zhu, W., 2009. The effects of magnetic fields on water molecular
625 hydrogen bonds. *J. Mol. Struct.* 938, 15–19.
626 <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2009.08.037>
- 627 Cardoso, S.S., Guimarães, M. de A., Neto, H. de S.L., Tello, J.P. de J., DoVale, J.C., 2018.
628 Morphological and productive aspects of lettuce in low altitude and latitude. *Rev. Cienc.*
629 *Agron.* 49, 644–652. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180073>
- 630 Coelho, A.F.S., Gomes, É.P., Sousa, A.D.P., Glória, M.B.A., 2005. Effect of irrigation level
631 on yield and bioactive amine content of American lettuce. *J. Sci. Food Agric.* 85, 1026–
632 1032. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2064>
- 633 Corriveau, J., Gaudreau, L., Caron, J., Jenni, S., Gosselin, A., 2012. Testing irrigation,
634 day/night foliar spraying, foliar calcium and growth inhibitor as possible cultural
635 practices to reduce tipburn in lettuce. *Can. J. Plant Sci.* 92, 889–899.
636 <https://doi.org/10.4141/CJPS2011-242>
- 637 Da Silva, S.S., Neto, J.D., de Azevedo, C.A.V., Pedroza, J.P., Pordeus, R.V., dos Reis, C.F.,
638 2018. Phytomass of lettuce cultivars under water replenishment levels. *Aust. J. Crop Sci.*
639 12, 74–80. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.01.pne669>
- 640 De Carvalho, J.B., Sabbag, O.J., 2015. Efficiency analysis of lettuce production in the
641 northwest of the State of São Paulo. *Rev. Agro@Mambiente on-Line* 9, 152.
642 <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v9i2.2256>
- 643 De Lima Junior, J.A., Pereira, G.M., Geisenhoff, L.O., Boas, R.C.V., Da Silva, W.G., Da
644 Silva, A.L.P., 2012. Yield of crisphead lettuce under different amounts of irrigation.

- 645 Semin. Agrar. 33, 2681–2688. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2681>
- 646 De Lima Junior, J.A., Pereira, G.M., Geisenhoff, L.O., Costa, G.G., Boas, R.C.V., Yuri, J.E.,
647 2010. Effect of irrigation on the crisphead lettuce yield, in protected environment. Rev.
648 Bras. Eng. Agrícola e Ambient. 14, 797–803.
- 649 De Souza, A.L., Seabra, S., Diamante, M.S., de Souza, L.H.C., Nunes, M.C.M., 2013.
650 Behavior of crisphead lettuce cultivars under tropical climate. Rev. Caatinga 26, 123–
651 129.
- 652 Di Gioia, F., Gonnella, M., Buono, V., Ayala, O., Cacchiarelli, J., Santamaria, P., 2017.
653 Calcium cyanamide effects on nitrogen use efficiency, yield, nitrates, and dry matter
654 content of lettuce. Agron. J. 109, 354–362. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.06.0366>
- 655 Dos Santos, S.R., Pereira, G.M., 2004. Behavior of crisphead lettuce under different soil
656 water tensions, in a protected environment. Eng. Agrícola 24, 569–577.
657 <https://doi.org/S0100-69162004000300009>
- 658 Embrapa, 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos, Embrapa Solos.
- 659 Esmailnezhad, E., Choi, H.J., Schaffie, M., Gholizadeh, M., Ranjbar, M., 2017.
660 Characteristics and applications of magnetized water as a green technology. J. Clean.
661 Prod. 161, 908–921. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.166>
- 662 Geisenhoff, L.O., Pereira, G.M., Lima Junior, J.A. De, Silva, A.L.P. da, Aviz, W.L.C. de,
663 2016. Greenhouse crisphead lettuce grown with mulching and under different soil water
664 tensions. Eng. Agrícola 36, 46–54. [https://doi.org/10.1590/1809-4430-](https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p46-54/2016)
665 [Eng.Agric.v36n1p46-54/2016](https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p46-54/2016)
- 666 Gil, M.I., Tudela, J.A., Martínez-Sánchez, A., Luna, M.C., 2012. Harvest maturity indicators
667 of leafy vegetables. Stewart Postharvest Rev. 8, 1–9. <https://doi.org/10.2212/spr.2012.1.2>
- 668 Grohskopf, M.A., Cassol, P.C., Correa, J.C., Mafra, M.S.H., Panisson, J., 2015. Organic
669 nitrogen in a Typic hapludox fertilized with pig slurry. Rev. Bras. Cienc. do Solo 39,
670 127–139. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20150080>
- 671 Hotta, L.F.K., 2008. Interaction of lineages of lettuce of the american group and crop times.
672 Masters Diss. Universidade Estadual Paulista.
- 673 Hozayn, M., Abdalha, M.M., Abd, E.M.A.A., El Saady, A.A., Darwish, M.A., 2016.
674 Applications of magnetic technology in agriculture: A novel tool for improving crop
675 productivity (1): Canola. African J. Agric. Res. 11, 441–449.
676 <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9382>
- 677 Jayalath, T.C., Boyhan, G.E., Little, E.L., Tate, R.I., O’Connell, S., 2017. High tunnel and
678 field system comparison for spring organic lettuce production in Georgia. HortScience
679 52, 1518–1524. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12284-17>
- 680 Kirnak, H., Taş, I., Gökalp, Z., Karaman, S., 2016. Effects of Different Irrigation Levels on
681 Yield of Lettuce Grown in an Unheated Greenhouse. Curr. Trends Nat. Sci. 5, 145–151.
- 682 Kist, B.B., Santos, C.E. dos, De Carvalho, C., Beling, R.R., 2019. Anuário Brasileiro de
683 Brazilian Horti & Fruti 2019. Editora Gazeta, Santa Cruz do Sul.

- 684 Lemos, L.T.O., Deus, F.P. de, Oliveira, P.R.B. de, 2019. Soil water retention curve in situ and
685 laboratory, in: Anais Do XXVIII Congresso Da Pós-Graduação. Lavras - MG, pp. 1430–
686 1431.
- 687 Maboko, M.M., Plooy, C.P.D.U., Brown, L., 2007. Production of crisphead lettuce in a
688 soilless production system. *African Crop Sci. Proc.* 8, 319–325.
- 689 Maggi, M.F., Klar, A.E., Jadoski, C.J., Andrade, A.R.S., 2006. Lettuce production under
690 different soil water potential in protected environment. *IRRIGA* 11, 415–427.
691 <https://doi.org/10.15809/irriga.2006v11n3p415-427>
- 692 Maheshwari, B.L., Grewal, H.S., 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on
693 vegetable crop yield and water productivity. *Agric. Water Manag.* 96, 1229–1236.
694 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.016>
- 695 Mostafazadeh-Fard, B., Khoshravesh, M., Mousavi, S.F., Kiani, A.R., 2011. Effects of
696 magnetized water and irrigation water salinity on soil moisture distribution in trickle
697 irrigation. *J. Irrig. Drain. Eng.* 137, 398–402. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000304](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000304)
- 699 Mota, J.H., Yuri, J.E., Freitas, S.A.C. de, Rodrigues Junior, J.C., Resende, G.M. de, Souza,
700 R.J. de, 2003. Evaluation of crisphead lettuce cultivars during the summer in Santana da
701 Vargem, Brazil. *Hortic. Bras.* 21, 234–237. <https://doi.org/10.1590/s0102-05362003000200023>
- 703 Neves, J.F.N.F., Nodari, I.D.E., Seabra Júnior, S., Dias, L.D.E., Da Silva, L.B., Dallacort, R.,
704 2016. Production of american lettuce cultivars under different environments in tropical
705 conditions. *Rev. Agro@Mambiente on-Line* 10, 130–136. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i2.3200>
- 707 Pizarro Cabello, F., 1996. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF), 3rd ed. Grafo, S.A.,
708 Spain.
- 709 Plamondon, L., Gaudreau, L., Gosselin, A., Caron, J., Jenni, S., Van Winden, D., 2011. Effect
710 of soil depth on water management of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivated in a
711 muck soil. *Acta Hort.* 889, 453–458. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.889.57>
- 712 Pradela, V.A., Yoshida, C.H.P., Santos, D.C., Santos, R.C., Lapaz, A.M., 2018. Production of
713 lettuce changes in response to the use of magnetically treated water. *Biosyst.*
714 *Engineering* 12, 299–306.
- 715 Putti, F.F., Filho, L.R.A.G., Cremasco, C.P., Klar, A.E., 2015a. Fuzzy modeling of
716 development of sheets number in different irrigation levels of irrigated lettuce with
717 magnetically treated water. *IJCCI 2015 - Proc. 7th Int. Jt. Conf. Comput. Intell.* 2, 162–
718 169. <https://doi.org/10.5220/0005599701620169>
- 719 Putti, F.F., Gabriel Filho, L.R.A., Klar, A.E., Silva Junior, J.F. da, Cremasco, C.P., Ludwig,
720 R., 2015b. Response of lettuce crop to magnetically treated irrigation water and different
721 irrigation depths. *African J. Agric. Res.* 10, 2300–2308.
722 <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9616>
- 723 Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em
724 Minas Gerais: 5º Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de

- 725 Minas Gerais. p. 25-32, 1999.
- 726 Seminis, 2019. Catálogo de Produtos.
- 727 Seron, C.D.C., Rezende, R., Lorenzoni, M.Z., Henrique, Á., Souza, C. De, Carlos, A.,
728 Gonçalves, A., Saath, R., 2019. Irrigation with water deficit applying magnetic water on
729 scarlet eggplant 21–28.
- 730 Surendran, U., Sandeep, O., Joseph, E.J., 2016. The impacts of magnetic treatment of
731 irrigation water on plant, water and soil characteristics. *Agric. Water Manag.* 178, 21–29.
732 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.016>
- 733 Teixeira, J., Dobránszki, J., 2014. Impact of Magnetic Water on Plant Growth. *Environ. Exp.*
734 *Biol.* 12, 137–142.
- 735 TIMOL Group: Área Rural. 2012. Disponível em: <[http://www.timolgroup.com.br/content.as](http://www.timolgroup.com.br/content.asp?contentid=290)
736 [p?contentid=290](http://www.timolgroup.com.br/content.asp?contentid=290)>. Acesso 28, de maio, 2019.
- 737 Toledo, E.J.L., Ramalho, T.C., Magriotis, Z.M., 2008. Influence of magnetic field on
738 physical-chemical properties of the liquid water: Insights from experimental and
739 theoretical models. *J. Mol. Struct.* 888, 409–415.
740 <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2008.01.010>
- 741 Turini, T., Cahn, M., Cantwell, M., Jackson, L., Koike, S., Natwick, E., Smith, R., Subbarao,
742 K., Takele, E., 2011. Iceberg Lettuce Production in California, Iceberg Lettuce
743 Production in California. University of California, Agriculture and Natural Resources.
744 <https://doi.org/10.3733/ucanr.7215>
- 745 Ul Haq, Z., Iqbal, M., Jamil, Y., Anwar, H., Younis, A., Arif, M., Fareed, M.Z., Hussain, F.,
746 2016. Magnetically treated water irrigation effect on turnip seed germination, seedling
747 growth and enzymatic activities. *Inf. Process. Agric.* 3, 99–106.
748 <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.03.004>
- 749 Urbano, V.R., Mendonça, T.G., Bastos, R.G., Souza, C.F., 2017. Effects of treated
750 wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. *Agric. Water Manag.* 181, 108–
751 115. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.001>
- 752 Valeriano, T.T.B., Santana, M.J. de, Machado, L.J.M., Oliveira, A.F., 2018. Potassium and
753 irrigation levels in the production of lettuce grown in greenhouses. *IRRIGA* 21, 620.
754 <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n3p620-630>
- 755 Wang, Y., Wei, H., Li, Z., 2018. Effect of magnetic field on the physical properties of water.
756 *Results Phys.* 8, 262–267. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.12.022>
- 757 Yuri, J.E., Resende, G.M. de, Mota, J.H., Souza, R.J. de, 2006. Crisp head lettuce cultivars
758 competition in southern of Minas Gerais (Technical note). *Rev. Caatinga* 19, 98–102
- 759 Yuri, J.E., Resende, G.M. de, Mota, J.H., Souza, R.J. de, Rodrigues Júnior, J.C., 2004.
760 Performance of crisphead lettuce cultivars and inbred lines in Santana da Vargem,
761 Brazil, under winter conditions. *Hortic. Bras.* 22, 322–325.
762 <https://doi.org/10.1590/s0102-05362004000200032>
- 763 Yuri, J.E., Souza, R.J. de, Freitas, S.A.C. de, Rodrigues Júnior, J.C., Mota, J.H., 2002.
764 Performance of crisphead lettuce cultivars in Boa Esperança, Brazil. *Hortic. Bras.* 20,

- 765 229–232. <https://doi.org/10.1590/s0102-05362002000200023>
- 766 Yusuf, K.O., Ogunlela, A.O., 2017a. Effects of magnetized water on the vegetative growth
767 and yield of tomato. *Agric. Eng. Int. CIGR J.* 19, 1–8.
- 768 Yusuf, K.O., Ogunlela, A.O., 2017b. Effects of deficit irrigation on the growth and yield of
769 tomato (*Solanum lycopersicum*) irrigated with magnetised water. *Environ. Res. Eng.*
770 *Manag.* 73, 59–68. <https://doi.org/10.5755/j01.arem.73.1.14138>
- 771 Zlotopolski, V., 2017. Magnetic Treatment Reduces Water Usage in Irrigation Without
772 Negatively Impacting Yield, Photosynthesis and Nutrient Uptake in Lettuce. *Int. J. Appl.*
773 *Agric. Sci.* 3, 117. <https://doi.org/10.11648/j.ijaas.20170305.13>