



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

TESE DE DOUTORADO

MAGNETIZAÇÃO DE ÁGUA PARA ATENUAÇÃO DE ESTRESSE SALINO
EM FEIJÃO-CAUPI

BÁRBARA DAVIS BRITO DOS SANTOS

SETEMBRO - 2024
CAMPINA GRANDE

BÁRBARA DAVIS BRITO DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE APARELHO DE MAGNETIZAÇÃO DE ÁGUA DE
IRRIGAÇÃO (AMAI) PARA ATENUAÇÃO DE ESTRESSE SALINO EM ESPÉCIES
IRRIGADAS**

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos exigidos para o Título de Doutor em Engenharia Agrícola na Área de Concentração: Irrigação e Drenagem

Orientadores: Dr. José Dantas Neto
Dr. Alberto Soares de Melo

**SETEMBRO - 2024
CAMPINA GRANDE**

S237m

Santos, Bárbara Davis Brito dos.

Magnetização de água para atenuação de estresse salino em feijão-caupi /
Bárbara Davis Brito dos Santos. – Campina Grande, 2025.

105 f. : il.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

“Orientação: Prof. Dr. José Dantas Neto, Prof. Dr. Alberto Soares de
Melo”.

Referências.

1. Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) – Cultura. 2. Irrigação. 3. Águas
Salinas. 4. Estresse Salino. 5. Campos Magnéticos. I. Dantas Neto, José.
II. Melo, Alberto Soares de. III. Título.

UFCG/BC

CDU 633.35(043.2)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECARIA SEVERINA SUELI DA SILVA OLIVEIRA CBB-19228



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

BARBARA DAVIS BRITO DOS SANTOS

"DESENVOLVIMENTO DE APARELHO DE
MAGNETIZAÇÃO DE ÁGUA DE IRRIGAÇÃO
(AMAÍ) PARA ATENUAÇÃO DE ESTRESSE
SALINO EM ESPÉCIES IRRIGADAS"

Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola como
pré-requisito para obtenção do título de
Doutor em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 05/09/2024

Jose Dantas Neto - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFMG

Alberto Soares de Melo - Coorientador(a) - UEPB

Maria Sallydelândia Sobral de Farias - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFMG

Vera Lucia Antunes de Lima - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFMG

Silvanete Severino da Silva - Examinador(a) Externo(a) - UFRPE

Renner Luciano de Souza Ferraz - Examinador(a) Externo(a) - UEPB



Documento assinado eletronicamente por **MARIA SALLYDELANDIA DE FARIAS ARAUJO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 11/12/2024, às 08:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 11/12/2024, às 20:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **SILVANETE SEVERINO DA SILVA**, Usuário Externo, em 26/12/2024, às 11:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSÉ DANTAS NETO**, Usuário Externo, em 05/02/2025, às 16:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alberto Soares de Melo**, Usuário Externo, em 20/04/2025, às 18:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Renner Luciano de Souza Ferraz**, Usuário Externo, em 29/05/2025, às 18:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufmg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador 5113403 e o código CRC B635BF91.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora por todas as bênçãos que me concederam.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em especial à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), por permitir a realização desta pesquisa.

Aos meus orientadores, José Dantas Neto e a Alberto Soares de Melo, por todo apoio que me deram durante esta caminhada.

A Silvanete Severino da Silva, por sua amizade.

Aos meus amigos do grupo de pesquisa do laboratório de ecologia de Plantas cultivadas-ECOLAB: Rayanne Alencar, Priscylla Viana, Guilherme Dias, Semako Bonou.

Aos membros avaliadores, pelas sugestões para a melhoria desta pesquisa.

Aos meus pais, que foram os meus principais incentivadores para avançar na vida acadêmica.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu pudesse concluir esta etapa da minha vida. Muito obrigada!

A minha mãe, Marly Brito dos Santos, e a meu pai, Carlos Alberto Pereira dos Santos, por todo amor, apoio e incentivo dedicados a mim.

MINHA HOMENAGEM

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	vi
GENERAL ABSTRACT	viii
CAPÍTULO I: CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	6
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 OBJETIVOS	8
2.1 Geral	8
2.2 Específicos.....	8
3 REVISÃO DE LITERATURA	9
3.1 Água magnetizada no desenvolvimento da planta.....	9
3.2 Alterações em nível celular atribuídas à exposição de campos magnéticos	11
3.3 Origem, importância econômica e características de cultivo do feijão-caupi.....	11
3.4 Estresse salino nas plantas.....	14
REFERÊNCIAS	16
CAPÍTULO II: IRRIGAÇÃO COM ÁGUA MAGNETIZADA EM CULTURAS AGRÍCOLAS: REVISÃO SISTEMÁTICA	21
RESUMO	22
ABSTRACT	23
1 INTRODUÇÃO.....	24
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4 CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS	38
CAPÍTULO III: ANÁLISE DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA SUBMETIDOS A CAMPOS MAGNÉTICOS SOB INTERVALOS DE TEMPO	43
RESUMO	44
ABSTRACT	45
1 INTRODUÇÃO.....	46
2 MATERIAL E MÉTODOS	48
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4 CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS	62
CAPÍTULO IV: MAGNETIZAÇÃO DE ÁGUA PARA ATENUAÇÃO DE ESTRESSE SALINO EM FEIJÃO-CAUPI	65
RESUMO	66

ABSTRACT	68
1 INTRODUÇÃO	70
2 MATERIAL E MÉTODOS	72
2.1 Preparação das águas salinas para a irrigação	73
2.2 Descrição do equipamento para o tratamento magnético da água	74
2.3 Trocas gasosas	74
2.4 Prolina e enzimas	74
2.5 Superóxido Dismutase (SOD)	75
2.6 Catalase (CAT)	76
2.7 Ascorbato peroxidase (APX)	76
2.8 Análise foliar	76
2.9 Determinação de cálcio e magnésio	77
2.10 Teor de potássio	78
2.11 Teor de sódio	79
2.12 Massa fresca e seca das plantas de feijão caupi e produção de sementes	79
2.13 Análise estatística	80
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4 CONCLUSÕES	93
REFERÊNCIAS	94

LISTA DE TABELA

CAPÍTULO I

Tabela 1 - Fases e subfases do ciclo vegetativo e reprodutivo do feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp).....	13
--	----

CAPÍTULO III

Tabela 1 - Resultados das análises químicas da água de abastecimento e da água de abastecimento magnetizadas com campos de 200, 300 e 400 mT. Tabela 1 - Resultados das análises químicas da água de abastecimento e da água de abastecimento magnetizadas com campos de 200, 300 e 400 mT.....	58
---	----

CAPÍTULO IV

Tabela 1 - Resumo da análise de variância relacionado taxa de assimilação de CO ₂ (A), transpiração (E), concentração interna de CO ₂ (Ci), condutância estomática (gsw), eficiência instantânea no uso da água (EiUA), eficiência instantânea da carboxilação (EiC), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) nas plantas de feijão-caupi cv. Guariba irrigadas com água salina magnetizada.....	81
Tabela 2 - Resumo da análise de variância referente à produção de enzima duperóxido desmutase (SOD), prolina (PRO), nas plantas de feijão-caupi cv. BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.	86
Tabela 3 - Resumo da análise de variância para os teores de CAT e APX nas folhas de feijão-caupi cv. Guariba irrigadas com água salina magnetizada.....	89
Tabela 4 - Resumo da análise de variância do teor potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e de sódio (Na) nas plantas de feijão-caupi cv. Guariba irrigadas com água salina magnetizada.	91
Tabela 5 - Resumo da análise de variância do peso fresco das plantas (PFP), peso fresco da raiz (PFR), peso seco da planta (PSP), peso seco da raiz (PSR) número de grão por planta (NSP), peso das sementes por planta (PSEM) e comprimento de vargens (CV) nas plantas de feijão-caupi cv. BRS Guariba, irrigadas com água salina magnetizada.	92

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

- Figura 1 - Número de artigos publicados nos últimos oito anos.33
Figura 2 - Países onde foram realizadas as pesquisas sobre água salina magnetizada..... 34

CAPÍTULO III

- Figura 1 - Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais do Nordeste.49
Figura 2 - Representação gráfica do dispositivo confeccionado para realizar a magnetização da água durante o experimento..... 50
Figura 3 - A CE da água de abastecimento, água deionizada e água de abastecimento adicionada de sais e magnetizada nos campos magnéticos de 200, 300 e 400 mT. 51
Figura 4 - pH da água de abastecimento, água deionizada e água de abastecimento adicionada de sais e magnetizada com os campos magnéticos de 200, 300 e 400 mT. 54
Figura 5 - Absorção de luz infravermelha da água de abastecimento, água deionizada e água de abastecimento adicionada de sais e magnetizada com os campos magnéticos de 200, 300 e 400 mT..... 56

CAPÍTULO IV

- Figura 1 - Temperatura máxima, mínima e umidade relativa do ar máxima (durante a execução da pesquisa), Campina Grande, PB. 73
Figura 2 - A taxa de assimilação de CO₂ (*A*) nas folhas de feijão-caupi cultivar BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada. 83
Figura 3 - Transpiração (*E*) das folhas de feijão-caupi cultivar BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada..... 82
Figura 4 - Condutância estomática (*g_{sw}*) folhas de feijão-caupi cultivar BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada. 84
Figura 5 - Carbono interno (*C_i*) folhas de feijão-caupi cultivar BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada..... 84
Figura 6 - Eficiência instantânea do uso da água (*EUA*) folhas de feijão-caupi cultivar BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada. 85

Figura 7 - Eficiência intrínseca do uso da água (<i>EiUA</i>) folhas de feijão-caupi cultivar BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.	85
Figura 8 - Produção de SOD nas folhas de feijão-caupi variedade BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.	87
Figura 9 - Produção de prolina nas folhas de feijão-caupi variedade BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.	88
Figura 10 - Produção de ascorbato peroxidase (APX) nas folhas de feijão-caupi variedade BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.	901
Figura 11 - Produção de catalase (CAT) nas folhas de feijão-caupi cultivar BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.	92

DESENVOLVIMENTO DE APARELHO DE MAGNETIZAÇÃO DE ÁGUA DE IRRIGAÇÃO (AMAI) PARA ATENUAÇÃO DE ESTRESSE SALINO EM ESPÉCIES IRRIGADAS

RESUMO GERAL:

A água salina pode ser uma das fontes alternativas de água doce para irrigação agrícola em áreas com escassez de água, desde que sejam utilizadas alternativas que diminuam a presença de sais na água de irrigação. A magnetização da água salina possibilita a precipitação dos carbonatos. Este estudo tem como objetivo avaliar a magnetização da água de irrigação com o magnetizador AMAI para atenuação de estresse salino em espécies irrigadas. Foram avaliadas as seguintes variáveis: condutividade elétrica, pH, absorção de luz infravermelha e o teor de cálcio, magnésio, potássio, cloreto, bicarbonatos e carbonatos após a magnetização das águas de abastecimento, água de abastecimento adicionada de sais ($3,3 \text{ dSm}^{-1}$) e água deionizada que foram magnetizadas com as intensidades de 200, 300 e 400 mT. Estas análises foram realizadas em laboratório e constatou-se que a condutividade elétrica da água magnetizada com o magnetizador AMAI aumentou, exceção da água deionizada e de abastecimento adicionada de sais, magnetizada com 300 mT reduziu a CE. O pH da água diminuiu quando a água deionizada foi magnetizada com 400 mT. A concentração de cálcio, magnésio, sódio, cloretos, bicarbonatos e carbonatos reduziu com a magnetização da água. A absorção de luz infravermelha decresceu com a magnetização da água. Além disso, também foram analisados os efeitos da água salina magnetizada com o AMAI nas trocas gasosas, produção de enzimas e de prolina no feijão-caupi. Este estudo utilizou um planejamento fatorial ($3 \times 2 \times 2$), com 3 níveis de salinidade aplicados por irrigação (0,38; 2,0 e $4,0 \text{ dSm}^{-1}$), duas formas de tratamento de água (água não magnetizada e água magnetizada com 200 mT) e com análises feitas antes e após a irrigação, com sete repetições, totalizando 84 unidades experimentais. Para os teores de prolina e enzima o esquema fatorial ($3 \times 2 \times 3$) com 3 níveis de salinidade aplicados por irrigação (0,38; 2,0 e $4,0 \text{ dSm}^{-1}$) e duas formas de tratamento de água (água não magnetizada e água tratada magneticamente), e três intervalos de irrigação, com sete repetições, totalizando 42 unidades. Foram analisados os teores de trocas gasosas foliares (taxa de assimilação de CO_2 , transpiração, condutância estomática, concentração interna de CO_2 , eficiência instantânea no uso da água e eficiência instantânea de carboxilação). Também foram avaliados os teores de prolina, atividade enzimática (catalase, superóxido dismutase e ascorbato peroxidase). Também foi quantificado o peso das sementes por planta, o número de grão por planta e o comprimento de vargem. A produção de superóxido dismutase foi estimulada pela água magnetizada no

AMAI, as plantas que foram irrigadas águas salinas 0,38, 2 e 4 dSm⁻¹ e magnetizadas aumentaram em 20,64, 9,16 e 11,23%, respectivamente ao comparar com as plantas que foram irrigadas cm águas de mesma salinidade, mas sem magnetização. A produção de prolina também aumentou com o processo de magnetização de água com AMAI, com incremento de 34,94 % quando comparadas com as plantas irrigadas com água salina sem magnetização.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, irrigação, águas salinas, campos magnéticos.

DEVELOPMENT OF AN IRRIGATION WATER MAGNETIZATION DEVICE (AMAI) TO MITIGATE SALINE STRESS IN IRRIGATED SPECIES WATER MAGNETIZATION TO MITIGATE SALT STRESS IN COWPEAS

GENERAL ABSTRACT

Saline water can be an alternative source of fresh water for agricultural irrigation in water-scarce areas, as long as alternatives are used to reduce the presence of salts in the irrigation water. The magnetization of saline water enables the precipitation of carbonates. The aim of this study was to evaluate the magnetization of irrigation water using the AMAI magnetizer to mitigate saline stress in irrigated species. The following variables were evaluated: electrical conductivity, pH, infrared light absorption and the calcium, magnesium, potassium, chloride, bicarbonate and carbonate content after the magnetization of supply water, supply water with added salts (3.3 dSm^{-1}) and deionized water which were magnetized with intensities of 200, 300 and 400 mT. These analyses were carried out in the laboratory and it was found that the electrical conductivity of the water magnetized with the AMAI magnetizer increased, with the exception of the deionized water and supply water added with salts, which was magnetized with 300 mT and reduced the EC. The pH of the water decreased when the deionized water was magnetized with 400 mT. The concentration of calcium, magnesium, sodium, chlorides, bicarbonates and carbonates decreased as the water was magnetized. The absorption of infrared light decreased with the magnetization of the water. In addition, the effects of saline water magnetized with AMAI on gas exchange, enzyme and proline production in cowpea were also analyzed. This study used a factorial design ($3 \times 2 \times 2$), with 3 levels of salinity applied by irrigation (0.38 ; 2.0 and 4.0 dSm^{-1}), two forms of water treatment (non-magnetized water and water magnetized with 200 mT) and analyses carried out before and after irrigation, with seven replications, totaling 84 experimental units. For the proline and enzyme contents, the factorial scheme ($3 \times 2 \times 3$) with 3 levels of salinity applied by irrigation (0.38 ; 2.0 and 4.0 dSm^{-1}) and two forms of water treatment (non-magnetized water and magnetically treated water), and three irrigation intervals, with seven repetitions, totaling 42 units. Leaf gas exchange levels were analyzed (CO_2 assimilation rate, transpiration, stomatal conductance, internal CO_2 concentration, instantaneous water use efficiency and instantaneous carboxylation efficiency). Proline content and enzyme activity (catalase, superoxide dismutase and ascorbate peroxidase) were also assessed. Seed weight per plant, number of grains per plant and pod length were also

quantified. The production of superoxide dismutase was stimulated by the magnetized water in the AMAI, the plants that were irrigated with saline water of 0.38, 2 and 4 dSm⁻¹ and magnetized increased by 20.64, 9.16 and 11.23%, respectively when compared to the plants that were irrigated with water of the same salinity but without magnetization. Proline production also increased with the process of magnetizing water with AMAI, with an increase of 34.94 % when compared to plants irrigated with saline water without magnetization.

Keywords: *Vigna unguiculata*, irrigation, saline water, magnetic fields.

CAPÍTULO I: CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é originário da África, sendo classificado como uma leguminosa anual, com ocorrência mundial, encontrada principalmente, em regiões tropicais (MOHAMED *et al.*, 2021b).

No Brasil, o cultivo do feijão-caupi concentra-se nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste (CONAB, 2020). Por causa de suas características de rusticidade e precocidade, é considerado adaptado ao clima árido e semiárido, sendo cultivado, em sua maioria, por agricultores familiares, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico em função da geração de emprego e renda na região Nordeste (ANDRADE *et al.*, 2019). Além disso, o feijão-caupi contém grande quantidade de proteínas e nutrientes que são necessários para a saúde da população (MOHAMED *et al.* 2021a).

O cultivo do feijão-caupi no Nordeste do Brasil pode ser limitado devido às características edafoclimáticas, pois é uma região semiárida com altas temperaturas, chuvas distribuídas irregularmente, solos rasos e alta demanda evaporativa e os corpos hídricos com altos teores de salinidade (ROJAS *et al.*, 2020).

A salinidade é um dos estresses abióticos que mais limitam a produtividade das culturas em todo o mundo, pois causa o fechamento estomático, diminui a taxa de transpiração, reduz a concentração interna de CO₂ e das taxas fotossintéticas. O acúmulo de sais também pode causar estresse oxidativo e toxicidade, desencadeando alterações morfológicas, estruturais, enzimáticas e metabólicas, e, em casos extremos, provocar a morte das plantas (ISLAM *et al.*, 2021).

Uma alternativa que permite a utilização da água salina na irrigação é a utilização dos campos magnéticos que causam mudanças na distribuição de íons nas camadas difusas e leva a organizar esses íons. A exposição da água aos campos magnéticos causa alterações no movimento de cargas positivas e negativas, que passam a se movimentar em direções opostas, aumentando a força de colisões entre as moléculas. Assim, a velocidade entre as cargas aumentará, levando à precipitação de compostos insolúveis (ALKHATIB *et al.*, 2020).

A exposição das águas aos campos magnéticos promove alterações na molécula da água e em suas propriedades, causando mudanças na constante dielétrica, viscosidade, tensão superficial, nos pontos de ebulição e congelamento, e na condutividade elétrica quando comparadas com água pura (HOZAYN & AHMED, 2019). Além dos efeitos sobre a molécula da água, a magnetização promove aumento no crescimento, rendimento das plantas irrigadas com água magnetizada.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

- Avaliar a eficiência do aparelho de magnetização de água de irrigação (AMAI) para atenuação de estresse salino em espécies irrigadas

Específicos

- Avaliar a ação dos campos magnéticos sobre a condutividade elétrica, pH, absorção de luz infravermelha;
- Quantificar a relação de adsorção de sódio e de potássio;
- Analisar a interação dos campos magnéticos sobre os sais dissolvidos;
- Determinar as trocas gasosas foliares das plantas de feijão-caupi irrigadas com água magnetizada;
- Avaliar a atividade das enzimas superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e catalase nas plantas de feijão-caupi irrigadas com água salina magnetizada;
- Quantificar o teor de prolina livre em plantas de feijão-caupi irrigadas com água salina magnetizada; e
- Mensurar produção do feijão-caupi irrigado com água salina magnetizada.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Água magnetizada no desenvolvimento da planta

As características magnéticas de um material são definidas como o movimento dos elétrons em torno do seu próprio eixo, gerando correntes que são consideradas polos magnéticos. Ao expor materiais a um campo magnético externo, os elétrons presentes neste material tendem a se alinhar na mesma direção do campo, tornando-se magnetizados. Os materiais ferromagnéticos e paramagnéticos têm o alinhamento de seus elétrons no mesmo sentido do campo magnético aplicado, em contrapartida, os materiais diamagnéticos, como a água, os elétrons ficam alinhados no sentido oposto ao gerado pelo campo magnético (SHANG *et al.*, 2022).

A susceptibilidade magnética (χ) é uma grandeza adimensional que se refere ao comportamento de uma determinada substância frente ao campo magnético. Valores negativos de χ indicam que a substância é repelida pelo campo, caracterizando seu diamagnetismo. A água tem seu valor χ igual a $-9,035 \cdot 10^{-6}$, e, sendo diamagnética, as correntes elétricas formam um campo magnético que se opõe ao campo aplicado (ZHANG *et al.*, 2017).

A utilização de campos magnéticos é considerada uma técnica promissora para aumentar a eficiência no uso da água, aumento na produtividade das culturas sem gerar resíduos. O emprego da tecnologia consiste na passagem da água através de dispositivos magnéticos (HOZAYN *et al.*, 2019).

As plantas irrigadas com água magnetizada alcançam maior crescimento foliar pelo estímulo da produção dos pigmentos fotossintéticos e na biossíntese de proteínas. A exposição da água aos campos magnéticos faz com que as ligações de hidrogênio fiquem parcialmente quebradas e se tornem moléculas de monômeros livres que podem ser facilmente absorvidas pelas paredes das células biológicas (WANG *et al.*, 2019).

A irrigação com água magnetizada tem se mostrado um método eficiente para estimular características biológicas das plantas, germinação, crescimento e produtividade (HASSEN *et al.*, 2020). Além disso, a irrigação com água tratada magneticamente melhora as propriedades do solo e reduz o acúmulo de sal com aumento da lixiviação de sal (HAMZA *et al.*, 2021).

Ellateef & Mutwali (2020) avaliaram o efeito da irrigação com água magnetizada, com seis tempos de magnetização diferentes sobre a germinação e crescimento do feijão (*Vicia faba* L.) e constataram que não houve diferença significativa na germinação. Todavia, para as

variáveis número de folhas, área foliar, peso fresco e seco da parte aérea, comprimento da raiz e peso fresco e seco da raiz de folhas, clorofila a e b, número de sementes aumentaram significativamente nos tratamentos irrigados com água em comparação com o controle. Também foi verificado um aumento significativo nos teores de nitrogênio, fósforo, cálcio, potássio, e magnésio entre os tratamentos nas plantas irrigadas com água magnetizada em comparação com o controle.

A irrigação com água magnetizada induz a produção de espécies reativas de oxigênio nas plantas, que atuam como sinalizadores do estresse ambiental, e estimulam a atividade de enzimas antioxidantes, como peroxidase (POD), polifenol oxidase (PPO), superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), minimizando os danos causados pelos estresses ambientais (ZAREEI, *et al.*, 2021).

Em estudo realizado por Putti *et al.* (2024), onde tomateiros (*Solanum lycopersicum* L.) foram irrigados com água salina (1,5; 2,5; 4,0; 5,5 e 7,0 dSm⁻¹), sem e com magnetização de 386 mT, observaram que as águas salinas magnetizadas houve maior produção de peróxido de hidrogênio e, em resposta, maior produção das enzimas antioxidantes SOD, CAT e APX. Houve maior eficiência no uso da água. A produção de tomates irrigados com água salina magnetizada teve aumento de 20 e 15%, respectivamente, em comparação às plantas irrigadas com as mesmas salinidades, mas sem a magnetização. No entanto, para os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Fe, B, Cu, Mn e Zn) nas folhas do tomateiro, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos estudados.

Para Putti *et al.* (2023) ao estudarem a irrigação da alface (*Lactuca sativa*) com água tratada magneticamente com 386 mT, observaram que a água tratada magneticamente aumentou as concentrações de N⁺ e P⁺ nas folhas, maior assimilação de nitrogênio, resultando em plantas com maior número de folhas, incremento no peso fresco e seco tanto da parte aérea quanto das raízes.

Ma *et al.* (2022), ao estudarem os efeitos da água salina magnetizada na irrigação do arroz, observaram que o crescimento das plantas de arroz foi inibido pelo estresse salino-alcalino, mas que a irrigação das plantas com água salina magnetizada os danos foram atenuados, resultando em maior altura das plantas, biomassa, teor de clorofila, taxas fotossintéticas.

Zareei *et al.* (2021) afirmaram que ao irrigar as plantas com água salina magnetizada, os níveis de produção da POD foram maiores quando comparado com as controle. As taxas de absorção de elementos foliares, incluindo N⁺, P⁺, K⁺, Ca²⁺, Fe²⁺ e Zn²⁺ também foram maiores. Segundo os mesmos autores, as plantas irrigadas com água magnetizada apresentaram maior

produção de clorofila, aumento na extensão da área foliar, acréscimo no peso fresco e seco das folhas, aumento no acúmulo significativo de biomassa. Além disso, observou-se que os teores de carboidratos, prolina e proteína também aumentaram.

3.2 Alterações em nível celular atribuídas à exposição de campos magnéticos

A força magnética é formada por cargas elétricas que se movimentam no interior do campo magnético. Essa força é oriunda dos íons que possuem uma quantidade de carga elétrica (q) expressa de coulomb (C), que ao se movimentarem acabam por produzir uma força de natureza magnética diretamente proporcional à quantidade de carga elétrica e à velocidade de deslocamento (ZECA, 2021).

O movimento iônico em meios fluidos faz com que forças magnéticas passem a atuar sobre os íons, sendo considerado por vários pesquisadores um dos principais alvos de atuação desses tipos de forças em diversos modelos experimentais (CHIONNA *et al.*, 2003).

Os efeitos dos campos magnéticos atuam na estrutura molecular das membranas, modificando a função dos canais iônicos e aumento a permeabilidade da membrana, facilitando a absorção de água e nutrientes pelas sementes e estimula a divisão celular, contribuindo para o desenvolvimento das mudas (ROSEN, 2003).

O incremento da permeabilidade da membrana deve-se ao fato que, o campo magnético interage com o campo elétrico interno dos sistemas biológicos, por meio do comportamento ressonante. Essa interação promove alterações na concentração de íons e na pressão osmótica em ambos os lados da membrana, alterando a absorção de água (REINA *et al.*, 2001).

Após a exposição ao campo magnético, percebe-se uma ampliação da captação de água, devido a mudanças no nível intracelular de Ca^{2+} e densidade de corrente iônica através da membrana celular, alterando a pressão osmótica e a capacidade do tecido celular de absorver água (GARCÍA-REINA & ARZA-PASCUAL, 2001).

3.3 Origem, importância econômica e características de cultivo do feijão-caupi

Originário da África, o feijão-caupi foi trazido para o Brasil pelos colonizadores portugueses no século XVI, inicialmente no estado da Bahia, onde teve boa adaptação ao clima da região. Atualmente, sua produção está concentrada nas regiões Centro-Oeste, Norte e

Nordeste, posicionando o Brasil como um dos maiores produtores e consumidores do feijão-caupi (CONAB, 2020).

A área global de cultivo do feijão-caupi é estimada em mais de 12 milhões de hectares (SILVA *et al.*, 2023). Entre os principais produtores mundiais estão Nigéria, Niger e, na terceira posição está o Brasil, o qual se destaca como o maior produtor e consumidor da América Latina (FAO, 2021).

A produção de feijão-caupi no Brasil no período de 2020/21 foi de 625,2 mil toneladas, em uma área de 1349,6 mil hectares. O Norte e Nordeste são as regiões brasileiras com a maior área semeada com um total de 1158,3 mil hectares (CONAB, 2022).

O feijão-caupi é conhecido popularmente como feijão macassar, feijão-de-corda, feijão-de-moita e feijão catador e por feijão-de-praia (SALVADOR, 2018). É uma planta autógama, dicotiledôneas, pertencente à ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolinae*, gênero *Vigna*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Rico em proteínas, o feijão-caupi contém todos os aminoácidos essenciais, carboidratos, vitaminas e sais minerais. Com alto teor de antioxidantes e proteína superior a outras leguminosas, como ervilhas e vagens, é uma importante fonte proteica vegetal para populações rurais e urbanas (SANTANA *et al.*, 2019).

A temperatura ideal para o cultivo do feijão-caupi deve estar entre 20 e 35 °C. Assim como a maioria das fabáceas, não se adapta a solos alagados ou inundados (COSTA *et al.*, 2020). Pode ser cultivado o ano inteiro em sistema de sequeiro, em regiões que recebem 600 mm de precipitação anual ou menos, em altitudes de até 300 m do nível do mar. Por isso, recomenda-se que seu cultivo seja realizado nos meses mais quentes do ano (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

O feijão-caupi apresenta tolerância à irrigação com água salina, com condutividade elétrica de até 3,3 dS m⁻¹ e em solos com até 4,9 dS m⁻¹, sendo considerado uma espécie moderadamente tolerante à salinidade (AYERS & WESTCOT, 1999).

O ciclo de vida do feijão-caupi possui duas fases distintas: a fase vegetativa, que é subdividida em 10 fases, e a reprodutiva, composta por 5 subfases (Tabela 1).

Tabela 1 - Fases e subfases do ciclo vegetativo e reprodutivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp).

Fases	Subfases	Características
Vegetativa	V0	Semeadura.
	V1	Os cotilédones encontram-se emergidos na superfície do solo
	V2	As folhas unifolioladas encontram-se completamente abertas, suas duas margens estão completamente separadas;
	V3	A primeira folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos;
	V4	A segunda folha trifoliolada com os folíolos separados e completamente abertos;
	V5	A terceira folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos;
	V6	Os primórdios do ramo secundário surgem nas axilas das folhas unifolioladas ou nas axilas das primeiras folhas trifolioladas;
	V7	A primeira folha do ramo secundário completamente aberta;
	V8	A segunda folha do ramo secundário completamente aberta;
	V9	A terceira folha do ramo secundário completamente aberta;
Reprodutiva	R1	Os primórdios do primeiro botão floral no ramo principal;
	R2	Antese da primeira flor, geralmente oriunda do primeiro botão floral;
	R3	Início da maturidade da primeira vagem, geralmente, oriunda da primeira flor (início da mudança de coloração das vagens – secagem);
	R4	Maturidade de 50% das vagens da planta;
	R5	Maturidade de 90% das vagens da planta.

Fonte: Moura *et al.* (2012)

A cultivar BRS Guariba tem crescimento indeterminado, com ramos relativamente curtos e com resistência ao acamamento, o que a torna adaptada à colheita mecânica, com o uso do dessecamento. O ciclo da BRS Guariba é de 65 a 70 dias (BEZERRA *et al.*, 2012).

3.4 Estresse salino nas plantas

Os estresses ambientais são responsáveis por metade de todas as perdas de colheitas, sendo uma ameaça para a segurança alimentar global (MOHAMED *et al.*, 2021). Segundo as projeções da ONU, a população mundial deve atingir cerca de dez bilhões de pessoas até 2050, resultando em um aumento de 50% na demanda agrícola

Atualmente, o estresse salino reduz a produção de alimentos, acarretando danos socioeconômicos em todo mundo. Estima-se que mais de 20% dos solos do mundo sofrem com o estresse salino, o percentual está em constante expansão devido às atividades antrópicas (SOFY *et al.* 2021b).

Considerando que a agricultura agora consome 69% da água doce retirada globalmente, os recursos hídricos não serão suficientes para atender às demandas humanas nas próximas décadas (ABU-SHAHBA *et al.*, 2021). Logo, os produtores se verão obrigados a usar águas salinas ou águas servidas para irrigação (HEGAZI *et al.*, 2017).

A irrigação com águas de baixa qualidade em regiões áridas e semiáridas causa problemas de salinidade nas terras agrícolas, onde cerca de 1.125 milhões de hectares de terras agrícolas sofreram com problemas de salinidade em todo o mundo (HOSSAIN, 2019). O estresse salino atinge mais de 45 milhões de hectares de terras agrícolas, com 1,5 milhão de hectares ficando improdutivos a cada ano devido ao acúmulo excessivo de sais no solo (ALSHAAL *et al.*, 2019).

Inicialmente, o excesso de sais absorvidos pelas plantas é o armazenamento nos vacúolos. No entanto, o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs) prejudica as plantas, pois causa danos nas principais estruturas celulares, como a peroxidação lipídica das membranas celulares, danos ao DNA, desnaturação de proteínas, oxidação de carboidratos, quebra de pigmentos e redução das atividades enzimáticas (ZHAO *et al.*, 2020).

O oxigênio molecular atua como acceptor de elétrons durante o funcionamento da cadeia transportadora de elétrons. No entanto, em condições de estresse ambiental, favorece a formação e acúmulo de EROs, que são tóxicas para a integridade celular, causando danos induzidos pelo estresse oxidativo, como a peroxidação lipídica resultante da produção de malondialdeído (MDA) e substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico, além da desnaturação de DNA, proteínas e lipídios (SOFY *et al.*, 2021).

O controle da produção excessiva de EROs é realizado através de metabólitos antioxidantes não enzimáticos, como ascorbato, glutatona e tocoferóis, e enzimáticos, como

superóxido dismutase (SOD), catalases (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e glutathione reductase (GR) (DAWOOD *et al.*, 2022).

O estresse salino provoca a degradação de pigmentos acessórios, como os carotenoides, que absorvem e transferem energia e atuam na proteção das clorofilas, resultando em reduções no teor de clorofilas, reduzindo assim, a taxa de fotossíntese (WASAYA *et al.*, 2021).

O acúmulo de sais reduz a absorção de nutrientes, em função das diferenças de concentrações e composição iônica dos meios salinos, acarretando redução no crescimento e alterações na qualidade do produto vegetal (ZAMANI *et al.*, 2020).

O desequilíbrio ou deficiência de nutrientes ocorre pelo acúmulo de íons sódio (Na^+) nos tecidos das plantas expostas a maiores concentrações de NaCl. O alto nível de Na^+ compete com a captação de íons potássio (K^+) tendo como consequência alterações na atividade estomática (ISLAM *et al.*, 2021).

A inibição do crescimento em plantas submetidas ao estresse salino ocorre tanto pela redução da absorção de água quanto pelo acúmulo de sais no interior das plantas. Esse acúmulo excessivo de íons tóxicos contribui para a aceleração dos processos de senescência e abscisão foliar (ZHAO *et al.*, 2020).

REFERÊNCIAS

- ABU-SHAHBA, M. S.; MANSOUR, M. M.; MOHAMED, H. I.; SOFY, M. R. Comparative cultivation and biochemical analysis of iceberg lettuce grown in sand soil and hydroponics with or without microbubble and microbubble. **Journal of Soil Science Plant Nutrition**, v. 21, p.389–403, 2021.
- ALKHATIB, R.; ABDO, N.; AL-EITAN, L.; KAFESHA, R.; ROUSAN, A. Impact of magnetically treated water on the growth and development of tobacco (*Nicotiana tabacum* var. Turkish). **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 26, p.1047–1054, 2020.
- ALSHAAL, T.; EL-RAMADY, H.; ELHAWAT, N.; EL-NAHRAWY, S.; OMARA, A. E.D.; ELSAKHAWY, T.; GHAZI, A.; ABBAS, M. H.; FARID, I.M.; ABDALLA, N. Soil health and its biology The Soils of Egypt. **Springer**, p.175–185, 2019.
- ANAND, A.; KUMARI, A.; THAKUR, M. S. Hydrogen peroxide signaling integrates with phytohormones during the germination of magnetoprimed tomato seeds. **Scientific Reports**, v.9, p. 1-11, 2019.
- ANDRADE, J. R.; MAIA JÚNIOR, S. O.; BARBOSA, J. W. S.; ALENCAR, A. E. V.; JOVINO, R. S.; NASCIMENTO, R. Chlorophyll fluorescence as a tool to select salinitytolerant cowpea genotypes. **Comunicata Scientiae**, v. 10, p. 319-324, 2019.
- AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. 2ª ed. Campina Grande: UFPB. 1999, p.153.
- BEZERRA, A. A. C.; NETO, F. A.; NEVES, A. C.; MAGGIONI, K. Morpho-agronomic performance of cowpea cv. BRS Guariba under different plant densities. **Revista Ciências Agrárias**, v. 55, p. 184-189, 2012.
- CHIONNA, A.; DWIKAT, M.; PANZARINI, E.; TENUZZO, B.; CARLÃ, E.C.; VERRI, T.; PAGLIARA, P.; ABBRO, L.; DINI, L. Cell shape and plasma membrane alterations after static magnetic fields exposure. **European Journal of Histochemistry**, v. 47, p. 299-308, 2003.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). **Nono levantamento safra 2020/21**. Acompanhamento de safra brasileira de grãos, Brasília, v. 8, p. 1-121, 2021. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, quinto levantamento, fevereiro 2020**. Brasília, DF: CONAB, 2020. Disponível em: <http://www.conab.gov.br> Acesso em: 22 mar. 2023. » <http://www.conab.gov.br>.
- COSTA, A. F.; SOUZA, M. C. M.; SILVA, K. R. G. Feijão-caupi: Do plantio ao armazenamento. In: **Cadernos das Semiáridas riquezas & oportunidades / Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco**. Recife, v. 17, (2020). CREAPE: Editora UFRPE, 2020.

DAWOOD, M.F.A.; SOFY, M.R.; MOHAMED, H.I.; MOHAMED, H. I.; SOFY, A. R.; ABDEL-KADER, H. A. A. Hydrogen sulfide modulates salinity stress in common bean plants by maintaining osmolytes and regulating nitric oxide levels and antioxidant enzyme expression. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, p.3708–3726, 2022.

ELLATEEF, MUTWALI. Effect of magnetized water on germination and some growth characters of broad bean (*Vicia Faba L.*). **Sian Journal of Agriculture and Food Sciences**, v. 8, p.1-5, 2020

EL-ZAWILY, A.; MELEHA, M.; EL-SAWY, M.; EL-ATTAR, E.; BAYOUMI, Y.; LSHAAL, T. 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, p.248-254, 2019.

GARCÍA-REINA, F.; ARZA-PASCUAL, L. Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds: part I, theoretical considerations. **Bioelectromagnetics**, v. 22, p. 589-595, 2001.

HAMZA, A. H.; SHREIF, M. A.; EL-AZEIM, A.; MOHAMAD, M.; MOHAMED, W. A. Impacts of magnetic field treatment on water quality for irrigation, soil properties and maize yield. **Journal Modern Research**, v. 3, p.51–61, 2021.

HASSEN, H.B.; HOZAYN, M.; ELAOU, A.; EL-MONEM, A. A. A. A. Inference of magnetized water impact on salt-stressed wheat. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v.45, p.4517–4529. 2020.

HEGAZI, A.M.; EL-SHRAIY, A.M.; GHONAME, A. Mitigation of salt stress negative effects on sweet pepper using arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), *Bacillus megaterium* and brassinosteroids (BRs). **Gesunde Pflanzen**, n. 69, p.91-102, 2017.

HOSSAIN, M.S. Present scenario of global salt affected soils, its management and importance of salinity research. **International Journal of Biological and Natural Sciences**, v.1, p.1–3, 2019.

HOZAYN M.; AHMED, A.A. Effect of Magneto-priming by tryptophan and ascorbic acid on germination attributes of barley (*Hordeum vulgare*, L.) under salinity stress. **Eurasian Journal of Biosciences**, v.13, p.245–251, 2019.

HOZAYN, M.; AHMED, A. A.; EL-SAADY, A. A; ABD-ELMONEM, A. A. Enhancement in germination, seedling attributes and yields of alfalfa (*Medicago sativa*, L.) under salinity stress using static magnetic field treatments. **Eurasian Journal of Biosciences**, v.13, p. 369-378 2019.

ISLAM, S.; ZAID, A.; MOHAMMAD, F. Role of triacontanol in counteracting the III effects of salinity in plants: A Review. **Journal Plant Growth Regulation**, v.40, p.1-10, 2021.

LIU, X.; ZHU, H.; MENG, S.; BI, S.; ZHANG, Y.; WANG, H.; MA, F. The effects of magnetic treatment of irrigation water on seedling growth, photosynthetic capacity and nutrient contents of *Populus× euramericana* ‘Neva’ under NaCl stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 41, p. 1-13, 2019.

MA, C.; LI, Q.; SONG, Z.; SU, L.; TAO, W.; ZHOU, B.; WANG, Q. Irrigation with magnetized water alleviates the harmful effect of saline – Alkaline stress on rice seedlings. **International Journal of Molecular Sciences**, v.23, p.1-17, 2022.

MENEGATTI, R. D. OLIVEIRA, L.O. DA COSTA, A.V.L. BRAGA1, E. J. B. BIANCHI, V. J. Magnetic field and gibberelic acid as pre-germination treatments of passion fruit seeds. **Revista Ciência Agrícola**, v. 17, p. 15-22, 2019.

MOHAMED, H. I.; ABD-ELSALAM, K. A.; TMAM, A. M.; SOFY, M. R. **Silver Nanomaterials for agri-food applications: nanobiotechnology for plant protection silver-based nanomaterials for plant diseases management: Today and future perspectives**. In: Abd-Elsalam, K. A. (org.). *Silver Nanomaterials for Agri-Food Applications*. Elsevier, 2021. p.495-526.

MOHAMED, H. I.; EL-SAYED, A. A.; RADY, M. M.; CARUSO, G; SEKARA, A.; ABDELHAMID, M. T. Coupling effects of phosphorus fertilization source and rate on growth and ion accumulation of common bean under salinity stress. **Peer J**. v.9, p.1-30, 2021b.

MOHAMED, H.I.; ABD-ELSALAM, K.A.; TMAM, A.M.; SOFY, M.R. Silver-based nanomaterials for plant diseases management: today and future perspectives. In *Silver Nanomaterials for Agri-Food Applications*, Elsevier, p.495-526, 2021^a

MOURA, J. Z.; PADUA, L. E. M.; MOURA, S. G.; TORRES, J. S.; RAMALHO E SILVA, P. R. Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus/dia do feijão-caupi. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 3, p. 66-71, 2012.

OLIVEIRA, A. B.; MESQUITA, R. M.; GUIMARÃES, M. A.; LEMOS NETO, H. S.; SILVA, T. M. Exigências edafoclimáticas e ecofisiologia. In: VALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. (org.) **Feijão-Caupi do plantio à colheita**, Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017. Cap. 3, p. 52-69. 2017

OLIVEIRA, M.R.; ROSA, E.A.; ANTÓNIO, C; TRINDADE, H. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) metabolomics: osmoprotection as a physiological strategy for drought stress resistance and improved yield **Front. Plant Science**, v. 8, p.1-15, 2017.

PUTTI, F. F.; VICENTE, E. F.; CHAVES, P. P. N.; MANTOAN, L. P. B.; CREMASCO, C. P.; ARRUDA, B.; FORTI, J. C.; SILVA JUNIOR, J. F. CAMPOS, M.; REIS, A. R.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Effect of Magnetic Water Treatment on the Growth, Nutritional Status, and Yield of Lettuce Plants with Irrigation Rate. **Horticulturae**, v.9, p.1-12, 2023.

PUTTI, F.F.; ARRUDA, B.; VICENTE, E. F.; CHAVES, P. P. N.; NOGUEIRA, B. B.; ZANETTI, W. A. L.; ONO, E. O.; REIS, A. R. Magnetic technology to reduce the effects of saline stress on tomato plants. **Environmental Technology & Innovation**, v.34, p.1-14, 2024.

REINA, G. F.; PASCUAL, L. A.; FUNDORA, I. A. Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds: part II, experimental results. **Bioelectromagnetics**, v. 22, p. 596-602, 2001.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D.C, U.S. Salinity Laboratory, 1954.

ROJAS, L.V.; SANTOS JUNIOR, J. A.; CHORCHO-ALVORADO, J.A.; AMARAL, R.S.; ROLIM, S.; MILAN, M.O.; FERNÁNDEZ, Z.H.; FRANCI, K.; CAVALCANTI, M.; SANTOS, J.M.N. Quality and management situation of drinking water supply in a semiarid region of Northeast Brazil. **Journal of sciences and environmental health**. p.1-12, 2020.

ROSEN, A. D. Mechanism of action of moderate intensity static magnetic fields on biological systems. **Cell Biochemistry and Biophysics**, v. 39, p. 163-174, 2003.

SALVADOR, C. A. Feijão - Análise da conjuntura agropecuária, SEAB **Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento**, Pará, 6p, 2018.

SANTANA, S. R. A.; MEDEIROS, J. E.; ANUNCIACÃO FILHO, C. J.; SILVA, J. W.; COSTA, A. F.; BASTOS, G. Q. Genetic divergence among cowpea genotypes by morphoagronomic traits. **Revista Caatinga**, v.32, p. 841 – 850, 2019.

SARRAF, M.; KATARIA, S.; TAIMOURYA, H.; SANTOS, L. O.; MENEGATTI, R.D.; JAIN, M.; IHTISHAM, M.; LIU, S. Magnetic field (MF) applications in plants: An overview. **Plants**, v.9, p.1-27, 2020.

SELIM, D. A. F. H.; NASSAR, R. M. A.; BOGHDADY, M. S.; BONFILL, M. Physiological and anatomical studies of two wheat cultivars irrigated with magnetic water under drought stress conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 135 p. 480-488, 2019.

SHANG, Z.; LIU, T.; YANG, Q.; CUI, S.; XU, K.; ZHANG, Y. U.; DENG, J.; ZHAI, T.; WANG, X. Chiral- molecule-based spintronic devices. **Mano micro small**, v. 18, p.1-11, 2022.

SILVA, F.L.; SILVA, F. B. V.; ARAÚJO, P. R. M.; SILVA, R. L.; SILVA, P. T.; NASCIMENTO C. W. A. Amorphous silica-based fertilizer reduces Cd uptake and translocation and human health risk in polluted soil grown with cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, p.1–12, 2023.

SOFY, A. R.; SOFY, M. R.; HMED, A. A.; DAWOUD, R. A.; REFAEY, E. E.; MOHAMED, H. I.; EL-DOUGDOUG, N. K. Molecular characterization of the alfalfa mosaic virus infecting *Solanum melongena* in Egypt and the control of its deleterious effects with melatonin and salicylic acid, **Journal Plants**, p.10- 459, 2021b.

SOFY, M.; MOHAMED, H.; DAWOOD, M.; ABU-ELSAOUD, A.; SOLIMAN, M. Integrated usage of *Trichoderma harzianum* and biochar to ameliorate salt stress on spinach plants. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.68, p.2005-2026, 2021a

TOLEDO, E.J.L.; RAMALHO, T.C.; MAGRIOTIS, Z.M. Influence of magnetic field on physical chemical properties of liquid water: insights from experimental and theoretical models. **Journal of Molecular Structure**, v.888, p. 409-415, 2008.

WANG, Q.J.; SUN, Y.; NING, S.R.; ZHANG, J.H.; ZHOU, B.B.; SU, L.J.; SHAN, Y.Y. Effects of activated irrigation water on soil physicochemical properties and crop growth and analysis of the probable pathway. **Advances in Earth Science**, v. 34, p. 660-670, 2019.

WASAYA, A.; MANZOOR, S.; YASIR, T.A.; SARWAR, N.; MUBEEN, K.; ISMAIL, I.A.; EL SABAGH, A. Evaluation of fourteen bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes by observing gas exchange parameters, relative water and chlorophyll content, and yield attributes under drought stress. **Sustainability**, v.13, n. 9, p. 1-20, 2021.

ZAMANI, S.; NADERI, M. R.; SOLEYMANI, A.; NASIRI, B. M. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) biochemical properties and seed components affected by potassium fertilization in dry conditions. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.190. p 1-12. 2020.

ZAREEI, E.; ZAARE-NAHANDI, F.; HAJILOU, J.; OUSTAN, S. Eliciting effects of magnetized solution on physiological and biochemical characteristics and elemental uptake in hydroponically grown grape (*Vitis vinifera* L. cv. Thompson Seedless). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 167, p. 586-595, 2021.

ZECA, J. L. C. **Fundamentos de química geral**. Curitiba: Appris, 2021.

ZHAI, T.; WANG, X. Chiral-Molecule-Based Spintronic Devices. **Mano micro small**, v. 18, n. 2 2022.

ZHANG, X.; YAREMA, K.; XU, A. **Biological effects of static magnetic fields**. Suíça Springer, 2017.

ZHAO, C.; ZHANG, H.; SONG, C.; ZHU, J.; SHABALA, S. Mechanisms of Plant Responses and Adaptation to Soil Salinity. **The Innovation**, v. 1, 2020.

**CAPÍTULO II: IRRIGAÇÃO COM ÁGUA MAGNETIZADA EM CULTURAS
AGRÍCOLAS: REVISÃO SISTEMÁTICA**

RESUMO

O estresse salino é uma condição que influencia diretamente na produtividade das culturas, que por sua vez, causa impacto na produção de alimentos. No entanto, a magnetização da água salina surge como uma estratégia para mitigar danos causados pelo acúmulo de sais, pois promove a precipitação de carbonatos dissolvidos na água de irrigação, aumenta a atividade das enzimas antioxidantes, incrementa a fotossíntese e a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Diante disto, objetivou-se com este trabalho realizar uma revisão sistemática a respeito dos efeitos no tratamento com campos magnéticos sob a dessalinização de água em culturas agrícolas. A pesquisa é de natureza explicativa, com procedimentos do tipo bibliográfica, complementada por revisão sistemática. A busca sistemática foi realizada de dezembro de 2023 a maio de 2024, com utilização de filtros em bibliotecas virtuais e bases de dados disponíveis na internet. Utilizaram-se as plataformas de pesquisa *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*, *Google Acadêmico* e *Capes*, com artigos publicados em periódicos renomados dos últimos oito anos. Foram utilizadas as seguintes linhas de busca: efeito da água magnetizada sobre a mitigação do estresse salino, irrigação com água salina magnetizada, magnetização e salinidade da água e campos magnéticos e sais, obtendo resultados somente quando buscou a titulação na língua inglesa. Conclui-se que a magnetização da água salina é uma alternativa eficaz para mitigar os efeitos da salinidade sobre a produtividade de diversas culturas, seja pelas modificações causadas na molécula da água, seja pelas alterações na bioquímica das plantas. Notou-se que os trabalhos realizados sobre essa temática têm sido tratados em regiões áridas e semiáridas, tornando-se uma tecnologia eficiente e sustentável para tratamento de água em regiões de escassez hídrica.

Palavras-chave: escassez hídrica, salinidade, sustentabilidade, semiárido.

ABSTRACT

Salt stress is a condition that directly influences crop productivity, which in turn has an impact on food production. However, the magnetization of saline water has emerged as a strategy to mitigate the damage caused by the accumulation of salts, as it promotes the precipitation of carbonates dissolved in irrigation water, increases the activity of antioxidant enzymes, increases photosynthesis and the absorption of water and nutrients by plants. With this in mind, the aim of this study was to carry out a systematic review of the effects of magnetic field treatment on water desalination in agricultural crops. The research was of an explanatory nature with bibliographical procedures, complemented by a systematic review. The systematic search was carried out from December 2023 to May 2024, using filters in virtual libraries and databases available on the internet. The search platforms Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Scholar and Capes published in renowned journals over the last eight years were used. The following search terms were used: effect of magnetized water on the mitigation of saline stress, irrigation with magnetized saline water, magnetization and salinity of water and magnetic fields and salts, obtaining results only when searching for the title in English. In general, the magnetization of saline water is an alternative for mitigating the effects of salinity on the productivity of various crops, either through the changes caused in the water molecule or through changes in the biochemistry of plants. It was noted that the work carried out on the subject has been dealt with in arid and semi-arid regions, making it an efficient and sustainable technology for water treatment in regions of water scarcity.

Keywords: water scarcity. Salinity, Sustainability, semi-arid.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, o avanço do consumo da água, além dos efeitos das mudanças climáticas têm causado alterações na disponibilidade hídrica de água doce e, consequentemente, tem provocado desafios para a humanidade. Entre as principais demandas estão o abastecimento público, industrial e as atividades agrícolas, sendo este último o setor de maior demanda hídrica (ABU-SHAHBA *et al.*, 2021).

Nesse sentido, estudos visam atender a demanda hídrica na agricultura irrigada com águas servidas (SHI *et al.*, 2024; MISHRA *et al.*, 2023; MORA *et al.*, 2022; SINGH, 2021; KANWAL *et al.*, 2020) ou águas salinas (GAO *et al.*, 2023; GAO *et al.*, 2023; WANG *et al.*, 2023; CHENG *et al.*, 2021) os quais têm-se disseminado, especialmente em regiões áridas e semiáridas (HEGAZI *et al.*, 2017), onde a utilização da água salina torna-se um recurso alternativo e significativo (LESSA *et al.*, 2023).

No entanto, a elevada salinidade da água de irrigação limita a sua utilização para fins agrícolas, pois a presença de sais modifica as propriedades físico-químicas do solo (GAO *et al.*, 2023), aumenta excessivamente na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) nas plantas (BABAEI *et al.*, 2021), restringe a abertura estomática (RASOULI *et al.*, 2021) e degrada pigmentos fotossintetizantes (WASAYA *et al.*, 2021). Ao serem cultivadas em ambientes salinos, as plantas realizam ajustes osmóticos e bioquímicos que levam à inibição do crescimento e restrição do desenvolvimento (CHOURASIA *et al.*, 2021).

Diante dos desafios gerados pela escassez de água de qualidade para as práticas agrícolas, há uma necessidade de buscar estratégias inovadoras e sustentáveis na gestão de recursos hídricos, as quais permitam a reciclagem e conservação da água. Nesse sentido, o tratamento de água através de campos magnéticos surge como uma tecnologia inovadora para melhorar sua qualidade (DOBRÁNSZKI, 2023).

Dessa forma, o processo de magnetização da água de irrigação reduz a quantidade de sais presentes na água de irrigação, uma vez que os campos magnéticos afetam o movimento de cargas positivas e negativas que passam a se movimentar em direções opostas, aumentando a força de colisões entre as moléculas. Como a velocidade entre as cargas elevadas compostos insolúveis se precipitam (ALKHATIB *et al.*, 2020), a magnetização das águas salinas se torna uma opção para as regiões semiáridas, as quais sofrem com a escassez hídrica.

A água magnetizada impulsiona a produção em EROs em plantas, que podem atuar como moléculas sinalizadoras, aumentando a produção de enzimas antioxidantes que reduzem

os danos provocados pelos estresses ambientais (ANAND *et al.*, 2019). Pesquisas demonstram que as plantas irrigadas com água magnetizada promovem melhorias nos atributos de crescimento da cultura, na taxa fotossintética e aumento no teor de proteínas, altura da planta, rendimento de grãos (MASSAH *et al.*, 2019). Nas raízes das plantas, a água magnetizada age na estrutura da membrana celular, tornando-a mais permeável ao movimento de íons e água, aumentando a absorção de água (MENEGATTI *et al.*, 2019).

Desta forma, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão sistemática a respeito dos efeitos no tratamento com campos magnetizados sob a dessalinização de água em culturas agrícolas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Esta revisão sistemática consistiu no levantamento de trabalhos publicados em diferentes fontes (periódicos/revistas, anais de eventos, dissertações, teses, etc.) a fim de identificar o efeito dos campos magnéticos sobre águas salinas na produtividade das culturas. Assim, foi necessário fazer um levantamento bibliográfico nas bibliotecas virtuais e bases de dados disponíveis na internet.

Para isso, a pesquisa foi realizada em diferentes plataformas, como *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Google Acadêmico, Portal de Periódicos Capes, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações, Web of Science, Science Direct, Scopus e afins. Todavia, os trabalhos foram encontrados no Google Acadêmico e na Science Direct. O levantamento bibliográfico abrangeu o período de dezembro de 2023 a maio de 2024, considerando publicações dos últimos 8 anos (2016 a 2024).

Para tanto, buscou-se reunir o maior número de trabalhos publicados em periódicos que abordassem a temática em português, especificamente sobre o “efeito da água magnetizada sobre a mitigação do estresse salino”. No entanto, como não se obteve êxito em encontrar publicações relevantes nessa língua, foram utilizadas as seguintes linhas/strings de busca, na língua inglesa: “irrigation with magnetized saline water”, “water magnetization and salinity” e “magnetic fields and sais”, resultando na identificação de 20 artigos.

As correlações entre os descritores de buscas pré-estabelecidas foram caracterizadas quanto ao tipo de enquadramento do assunto, considerando discussões que abordassem o tema. Foi identificado apenas um estudo realizado no Brasil, enquanto os demais eram de diferentes países. Os resultados da pesquisa foram contabilizados e discutidos conforme sua relação direta com o assunto, limitando-se a avaliar os efeitos da magnetização da água salina na irrigação de diversas culturas.

Quadro 1 - Compilação de resultados de pesquisa a respeito da temática água salina magnetizada realizados nos últimos oito anos.

Quant.	Base de dados	Autor	Título	Cultura	Tratamentos			
					Campo Magnético	Níveis de salinidade	País	Revista
1	Google acadêmico	Hassen <i>et al.</i> 2020	Inference of Magnetized Water Impact on Salt-Stressed Wheat.	Trigo (<i>Triticum</i>)	Com e sem campo	320, 3.000 e 6.000 ppm	Egito	Arabian Journal for Science and Engineering
2	Google acadêmico	El-Gindy, <i>et al.</i> 2018	Effect of Drip Irrigation System Salinity and Magnetic Water Treatment on Turnip Yield and Yield Characters.	Nabo (<i>Brassica rapa</i> subsp. Rapa)	0, 80, 100 e 200 mT	2.000, 345 e 4.000 ppm	Egito	International Journal Peer Reviewed Journal Refereed Journal
3	Google acadêmico	Surendran <i>et al.</i> 2016	The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, water and soil characteristics.	feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> variedade Kanakamani), berinjela (<i>Solanum melongena</i> L.)	0, 180 e 200 mT	água abastecimento, 150, 300, 500, 1.000 e 2.000 ppm	Índia	Agricultura Water Management
4	Google acadêmico	Elaoud <i>et al.</i> 2016	Influence of the Magnetic Device on Water Quality and Production of Melon	Melão (<i>Cucumis melo</i>)	Com os campos magnéticos de 1500 mT e sem campo magnético	2.6 g / l.	Tunísia	International Journal of Current Engineering and Technology
5	Google acadêmicos	El-Zawily <i>et al.</i> 2019	Growth, yield and fruit quality of tomato irrigated alternatively by fresh and agricultural drainage water.	Tomate (<i>Solanum lycopersicon</i>)	Com campos magnéticos e sem campos magnéticos	Água de 2,42 e 2,09 dS m ⁻¹	Egito	Ecotoxicology and Environmental Safety

6	Google acadêmico	Zareei <i>et al.</i> 2021	Eliciting effects of magnetized solution on physiological and biochemical characteristics and elemental uptake in hydroponically grown grape (<i>Vitis vinifera</i> L. cv. Thompson Seedless).	Uva sem sementes (<i>Vitis vinifera</i> L. cv. Thompson Seedless)	com campos magnéticos nas intensidades de: 0, 0,1 e 0,2 T	Com solução hidropônica com dois níveis de sais.	Irã	Plant Physiology and Biochemistry
7	Google acadêmico	Putti <i>et al.</i> 2024	Magnetic technology to reduce the effects of saline stress on tomato plants.	Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Com campos magnéticos de 386 mT e sem campos magnéticos.	1,5; 2,5; 4,0; 5,5 e 7,0 dSm ⁻¹	Brasil	Environmental Technology & Innovation
8	Google acadêmico	Alsuvaid <i>et al.</i> 2022	Interaction Effect of Water Magnetization and Water Salinity on Yield, Water Productivity and Morpho-Physiological of Balkız Bean (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Com o campo magnético e sem campo	0,38, 1,5, 4,5 e 7.0 dSm ⁻¹	Turquia	journal of crop health
9	Google acadêmico	Elhindi, 2020	Effect of irrigation with saline magnetized water and different soil amendments on growth and flower production of <i>Calendula officinalis</i> L. plants.	Margarida (<i>Calendula officinalis</i> L.)	Com campo magnéticos de 150 mT e sem campos magnéticos	0,74 3,7 4,0 dS m ⁻¹	Arábia Saudita	Saudi Journal of Biological Sciences

10	Google acadêmico	Khosroj erdi <i>et al.</i> 2023	Magnetic water irrigation changes physiological traits and stress tolerance of <i>Salvia virgata under</i> saline conditions	Sálvia (<i>Salvia virgata under</i>)	Com campos magnéticos de 300 e 600 mT e sem campos magnéticos	0, 30, 60 and 90 mM NaCl	Irã	Scientia Horticulturae
11	Google acadêmico	Jasim <i>et al.</i> 2017	Effect of saline water magnetization on growth and development of wheat and rice seedlings	trigo (<i>Triticum aestivum</i> cv.(Hachemita e Tammoz 3) e arroz cv., (Jasmim e Âmbar 33).	Com campos magnéticos de 100 mT e sem magnetização.	Água de abastecimento com campo e sem campo e água salina (adicionada de 1,5% de NaCl) com magnetização e sem magnetização.	Iraque	Euphrates Journal of Agriculture Science
12	Google acadêmico	Aghamir <i>et al.</i> 2019	The Effect of Applied Magnetics Water on Nutrients Uptake by Bean Plants in Salt Conditions	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Com magnetização de 8 a 10 mT e sem magnetização	0,016, 0,0026 e 0,0042 dS/m de NaCl	Irã	Iranian Journal of soil and Water Research
13	Google acadêmico	Dastorani <i>et al.</i> 2022	Crop response and water productivity of sunflower (<i>Helianthus annuus</i> L.) drip-irrigated with magnetically treated and non-magnetically treated water with variable salinity	Girassol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	Com e sem magnetização	4 dS/m e 6 dS/m	Irã	Water SA
14	Google acadêmico	Okasha <i>et al.</i> 2022	Maximization of Water Productivity and Yield of Two Iceberg Lettuce Cultivars in Hydroponic Farming System Using Magnetically Treated Saline Water.	Alface americana (<i>Lactuca Sativa</i> , L.)	Com o campo magnético variando de 667,5 mT no pólo norte e 405,5 mT e sem magnetização	As salinidades estudadas foram 0,96 dS/m e 4,56 dS/m submetidas a campo magnético e sem tratamento magnético	Egito	Agriculture

15	Google acadêmico	Hu, 2022	Influence of magnetized water irrigation on characteristics of antioxidant enzyme, ferritin, and Cd excretion in <i>Festuca arundinacea</i> during phytoextraction	Gramíneas (<i>Festuca arundinacea</i>)	Campo magnético de 100 mT e sem magnetização	Com água de abastecimento magnetizada e água de abastecimento sem magnetização	China	Journal of Hazardous Materials
16	Google acadêmico	Sary, D. H. 2021	The Response of Saline Irrigation Water to Magnetization and Its Effect on Soil Properties and Cowpea Productivity in Newly Reclaimed Lands in North Sinai	Feijão-caupi (<i>vigna unguiculata</i>)	Com magnetização de 1500 mT e sem magnetização	3,14; 6, 25 e 9,37 dSm ⁻¹	Egito	Egyptian journal of soil science
17	Google acadêmico	Liu <i>et al.</i> 2020	Irrigation with magnetically treated saline water influences the growth and photosynthetic capability of <i>Vitis vinifera</i> L. seedlings.	Uva (<i>Vitis vinifera</i> L.)	Com magnetização de 30 mT e sem magnetização.	Água de abastecimento adicionada 3,0 g·L ⁻¹ N com e sem magnetização Água de abastecimento adicionada de Água de abastecimento com 6,0 g·L ⁻¹ de NaCl dissolvido com e sem magnetização.	China	Scientia Horticulturae.

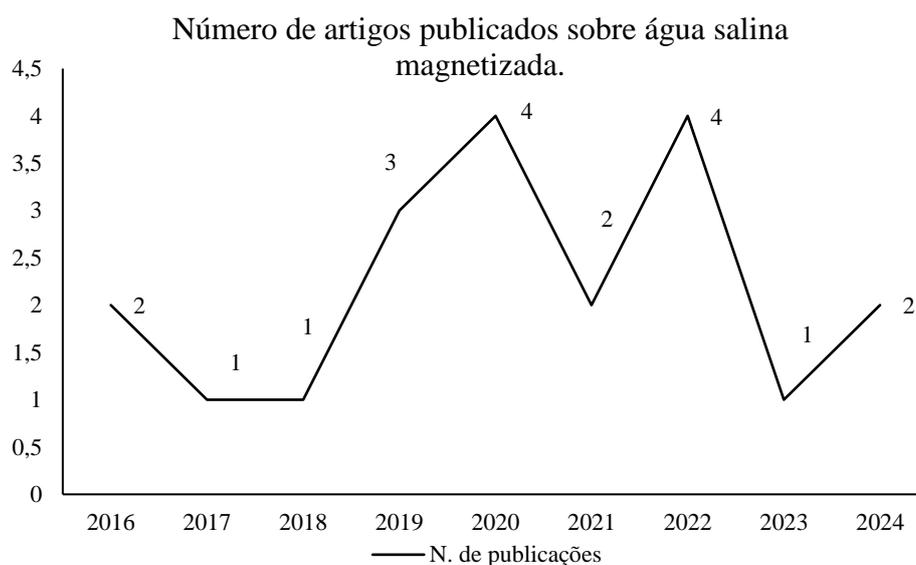
18	Google acadêmico	Liu <i>et al.</i> 2019	The effects of magnetic treatment of irrigation water on seedling growth, photosynthetic capacity and nutrient contents of <i>Populus × euramericana</i> 'Neva' under NaCl stress	Árvores choupos (<i>Populus × euramericana</i> 'Neva')	Com magnetização de 30 mT e sem magnetização.	As plantas foram cultivadas com as soluções de Hoagland contendo 0 g L ⁻¹ de NaCl e com 4 g L ⁻¹ NaCl com e sem magnetização.	China	Acta Physiologiae Plantarum
19	Google acadêmico	Alavi <i>et al.</i> 2020	Mentapimenta (<i>Mentha piperita</i> L.) growth and biochemical properties affected by magnetized saline water	Hortelã-pimenta (<i>Mentha piperita</i> L.)	Com campos magnéticos 0, 100, 200 e 300 mT.	Com as seguintes salinidades: 0, 40, 80 e 120 mM	Irã	Ecotoxicology and Environmental Safety
20	Science direct	Lin et al 2024	Enhancing pakchoi (<i>Brassica chinensis</i> L.) agriculture with magnetized-ionized brackish water and organic fertilizers: A sustainable approach to soil quality and crop yield optimization	Nabo (<i>Brassica chinensis</i> L.)	A irrigação foi realizada com Água salobra sem magnetização e água salobra deionizada e magnetizada	Com a aplicação de adubos orgânicos nas seguintes concentrações: 0, 20, 40, 60 e 80 kg/ha	China	Journal of Cleaner Production

Após a esquematização desses resultados, estes foram apresentados em quadros, seguindo as especificações de autor(res), ano de publicação em periódico, título do manuscrito, plataforma de busca, cultura agrícola estudada, idioma e tipo de tratamento (níveis de sais e campo magnético), respectivamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos nesta revisão sistemática (Quadro 1), verificou-se que, nos últimos oito anos, foram publicados 20 artigos científicos, os quais todos foram escritos na língua inglesa. Na figura 1, estão descritos a produção científica sobre a temática de irrigação com água salina magnetizada ao longo do período estabelecido por esta pesquisa.

Figura 1 - Número de artigos publicados nos últimos oito anos.

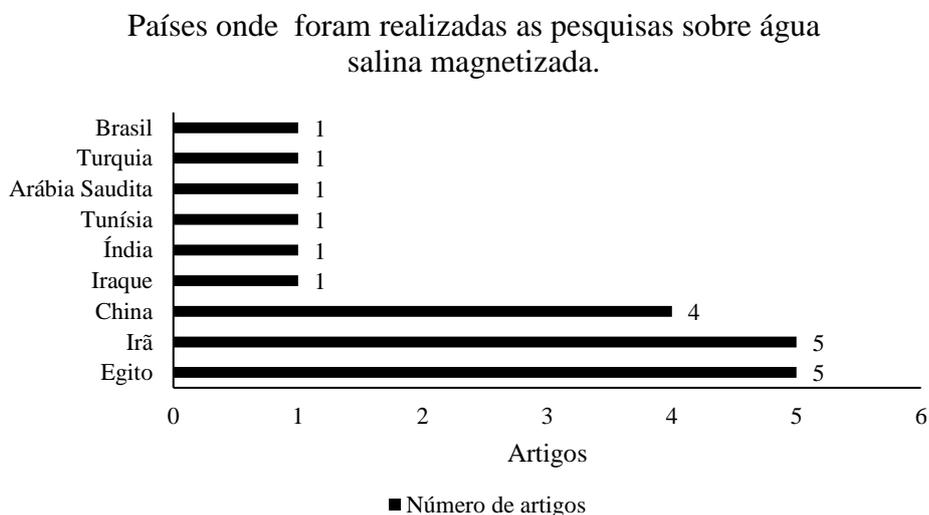


A maior quantidade de artigos publicados sobre água salina magnetizada foi observada nos anos de 2022 e 2020, com quatro artigos cada ano, seguidos de 2019, que contou com três artigos. Nos anos de 2024, 2021 e 2016 foram publicados dois artigos, respectivamente. Nos anos de 2023, 2018 e 2017, identificou-se a menor quantidade de publicações, com apenas um artigo em cada ano. Entre as culturas identificadas, predominou-se as olerícolas (tomate, feijão melão, nabo, sálvia, alface, hortelã-pimenta), mas também foram encontrados trabalhos com fruta (uva do tipo *Vitis vinifera* L.), trigo (*Triticum*), flores (*Calendula officinalis* L.), gramínea (*Festuca arundinacea*) e árvore (*Populus × euramericana 'Neva'*). Todos os trabalhos encontrados sobre a temática de magnetização da água salina para a irrigação de diferentes culturas foram publicados com experimentação em campo ou em casas de vegetação.

As pesquisas citadas nesta revisão sobre a magnetização da água salina foram realizadas em nove países, a saber: Egito, China, Irã, Iraque, Índia, Tunísia, Arábia Saudita, Turquia e Brasil.

Na Figura 2, encontra-se descrito os países onde foram desenvolvidas as pesquisas sobre água salina magnetizada.

Figura 2 - Países onde foram realizadas as pesquisas sobre água salina magnetizada.



No Egito, foram cinco artigos que abordavam o cultivo do trigo, nabo, tomate, alface e feijão caupi, todos irrigados com água salina magnetizada em diferentes campos. Já o Irã abordou cinco estudos sobre a mesma temática, com diferentes culturas identificadas como: uva sem sementes (*Vitis vinifera L. cv. Thompson Seedless*), sálvia *virgata under*, feijão (*Phaseolus vulgaris*), girassol (*Helianthus annuus L.*) e o hortelã-pimenta. Na China, foram observadas as culturas de uva do tipo *Vitis vinifera L.*, forragem *Festuca arundinacea*, nabo (*Brassica chinensis L.*) e árvores (*Populus × euramericana 'Neva'*), totalizando quatro artigos.

Nos demais países, a produção de artigos sobre a magnetização de água salina para a irrigação foi de apenas um, durante o período estabelecido na pesquisa. Na Índia, o estudo destacou-se feijão-caupi *vigna unguiculata* (variedade Kanakamani), berinjela (*Solanum melongena L.*), cuja finalidade foi analisar os efeitos da salinidade da água magnetizada sobre o solo, água e na planta. No Iraque, avaliou-se os efeitos da irrigação com água salina magnetizada no cultivo do trigo em consórcio com arroz. A pesquisa realizada na Tunísia avaliou a produção de melão irrigado com água salina magnetizada, enquanto outro estudo realizado no mesmp país, foi analisada a ação da água salina magnetizada sobre o pH e a produção de margarida. Na Turquia, os estudos avaliaram a interação da água magnetizada sobre a condutividade elétrica e o pH do solo, além da produção de grão de feijão-caupi. No Brasil, foi analisada a produção do tomateiro irrigado com água salina.

Os sistemas de irrigação utilizados nos artigos citados neste levantamento bibliográfico foram: fertirrigação, conforme Putti *et al.* (2024); gotejamento, baseado em Elhindi *et al.*

(2020), El-Gindy *et al.* (2018), Surendran *et al.* 2016; por hidroponia, de acordo com Zareei *et al.* 2021, Okasha *et al.* (2022) Alavi *et al.* (2020); e por irrigação superficial após a magnetização, segundo El-Zawily *et al.* (2019). Nos demais trabalhos, não foram identificados os métodos de irrigação utilizados.

O estresse salino reduz a produção de alimentos, acarretando danos socioeconômicos em todo mundo. Estima-se que mais de 20% dos solos do mundo sofram com o estresse salino, e esse percentual está em constante expansão devido às atividades antrópicas (SOFY *et al.* 2021b). Nas plantas, o excesso de sais promove a produção demasiada de EROs, que danificam as estruturas celulares, como a peroxidação lipídica nas membranas celulares, danos ao DNA, desnaturação de proteínas, oxidação de carboidratos, quebra de pigmentos e redução das atividades enzimáticas (ZHAO *et al.*, 2020).

Nesta análise, observou-se o efeito positivo dos campos magnéticos sobre a mitigação do estresse salino, o qual varia de acordo com a cultura e a intensidade do campo magnético, pois há uma grande variação entre as intensidades de campos magnéticos estudados, que variaram de 8 mT até a intensidade máxima encontrada, que foi de 1500 mT. As condições ambientais e o tempo de exposição da água ao campo magnético também são agentes que atuam no processo de magnetização da água.

A exposição da água a um campo magnético promove o relaxamento nas pontes de hidrogênio, que, por sua vez, diminui o ângulo da molécula formado entre o átomo de oxigênio e os dois átomos de hidrogênio, o qual reduziu de $104,5^\circ$ para 103° . Em consequência, há mudanças nas características físico-químicas da água, que são o aumento do pH e o aumento da quantidade de oxigênio dissolvido. No entanto, para com Surendran *et al.* (2016), ao analisar os efeitos da irrigação do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* variedade Kanakamani) e da berinjela (*Solanum melongena* L.) com água salina magnetizada, constatou-se que a condutividade elétrica e o pH foram reduzidos em todas as soluções magnetizadas estudadas. Resultado similar foi encontrado Alsuvaid *et al.* (2022) onde a água magnetizada diminui a condutividade elétrica e o pH do solo. Entretanto, para Elaoud *et al.* (2016), a magnetização da água salina reduziu a condutividade elétrica e aumentou o pH.

Além das alterações no pH e na condutividade elétrica, a magnetização da água promove a diminuição da viscosidade e da tensão superficial, o que resulta no aumento da permeabilidade da água tratada com os campos magnéticos (ZHAO *et al.*, 2022).

Wang *et al.* (2019) concluíram que o coeficiente de tensão superficial e o coeficiente de viscosidade da água tratada com campos magnéticos diminuem, enquanto o coeficiente de

difusão aumenta, o que permite maior capacidade de difusão e a permeabilidade da água, aumentando assim a eficiência no uso da água.

A absorção de alguns nutrientes (Fe, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn) também pode ser aumentada pela magnetização da água. A absorção e distribuição de nitrogênio nas plantas foram alteradas em resposta à irrigação com em choupo (*Populus x euramericana*). A absorção total de nitrogênio pelas plantas aumentou, e a absorção e o conteúdo de N-amônia foram maiores nas folhas do que nas raízes (LIU *et al.*, 2019a, 2019b).

Zareei *et al.* (2021) afirmam que, ao irrigar as plantas com água salina magnetizada, observaram que os níveis de produção da enzima peroxidase foram maiores quando comparados aos do controle. As taxas de elementos foliares, incluindo N^+ , P^+ , K^+ , Ca^{2+} , Fe^{2+} e Zn^{2+} também foram maiores. Ainda segundo o mesmo autor, as plantas que foram irrigadas com água magnetizada tiveram alta produção de clorofila, aumento na extensão da área foliar, acréscimo no peso fresco e seco das folhas e aumento significativo no acúmulo de biomassa. O teor de carboidratos, prolina e proteína também aumentou. O aumento no teor dos nutrientes pode ser atribuído a mudanças em algumas propriedades da água, como a alteração na tensão superficial, o aumento o grau de hidratação das moléculas e íons de água, a maior solubilidade dos sais minerais e o incremento na permeabilidade das raízes (WANG *et al.*, 2019).

Elhindi (2020), ao irrigar as plantas de Margarida (*Calendula officinalis* L.) com água salina magnetizada, constatou que ocorreu maior desenvolvimento e as taxas de sobrevivência foram superiores em comparação com água salina sem magnetização. O conteúdo de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas folhas das plantas irrigadas com água salina magnetizada foi superior em comparação com as plantas que foram irrigadas com água salina sem magnetização. Aghamir *et al.* (2019) mostraram que a água magnetizada aumentou a absorção de nutrientes e o percentual de proteína nas folhas e sementes de feijão-caupi (*vigna unguiculata*).

Sary (2021) observou que o feijão-caupi (*vigna unguiculata*), quando irrigado com água magnetizada, teve uma diminuição na condutividade elétrica do solo e um aumento na disponibilidade de nitrogênio, fósforo e potássio. O crescimento e a produtividade foram superiores nas plantas irrigadas com água salina magnetizada. No entanto, a produção de prolina em plantas irrigadas com água salina magnetizada foi reduzida. Por outro lado, as concentrações de carboidratos e de proteínas aumentaram nas plantas que foram irrigadas com água salina magnetizada.

Tanto Azimi *et al.* (2018) quanto Sutyanti & Rachmawati (2021) concluíram que as plantas de diferentes espécies irrigadas com água magnetizada apresentaram crescimento da parte aérea e da raiz, além de um número e área de folhas e biomassa superiores quando

comparadas às plantas que foram irrigadas sem magnetização. Isso acontece devido a uma série de processos fisiológicos, bioquímicos e metabólicos são desencadeados nas plantas, que estimulam a ação das enzimas antioxidantes, reduzindo a produção de espécies reativas de oxigênio.

Para Khosrojerdi *et al.* (2023), a irrigação das plantas de sálvia (*Salvia virgata under*) com água salina magnetizada em determinada intensidade mitigou os efeitos da salinidade, uma vez que aumentou a atividade das enzimas antioxidantes e o crescimento, além da biomassa das plantas. A água magnetizada levou a um significativo aumento na massa fresca e seca das mudas de trigo. Contudo, a redução da atividade das enzimas antioxidantes nas plantas irrigadas com água salina magnetizada foi inferior quando comparadas às plantas irrigadas com água salina sem magnetização.

Em estudo realizado por Putti *et al.* (2024), que avaliaram a irrigação de tomateiros (*Solanum lycopersicum L*) com água salina (1,5; 2,5; 4,0; 5,5 e 7,0 dSm⁻¹), tanto sem magnetização quanto com um campo magnético de 386 mT, observou-se que, nas salinidades de 4,0 e 5,5 dSm⁻¹ com magnetização, houve maior produção de peróxido de hidrogênio, e em resposta houve maior produção das enzimas antioxidantes superóxido desmutase, catalase e ascorbato peroxidase. Os resultados obtidos por Hu (2022) também indicaram que água magnetizada estimulou a atividade das enzimas antioxidantes, principalmente a enzima catalase no cultivo de gramíneas (*Festuca arundinacea*). Portanto, quanto maior a atividade de enzimática, menores os danos causados pelo estresse salino.

Além de estimular a atividade de enzimas antioxidantes, a irrigação com água magnetizada favorece a produção de clorofila (clorofila a e clorofila b) e o teor de carotenóides nas plantas pode ser aumentado. Outro benefício da magnetização da água é o incremento na eficiência do fotossistema II (PSII) e do índice de desempenho baseado na absorção de energia luminosa, o que eleva a taxa fotossintética (ZAREEI, *et al.*, 2021). Para Alavi *et al.* (2020), as plantas de hortelã-pimenta (*Mentha piperita L.*) cultivadas em sistema hidropônico com solução salina magnetizada apresentaram maior concentração de clorofila, fotossíntese, peso seco e peso fresco superior quando comparadas com as plantas irrigadas com água salina sem magnetização. A irrigação com água magnetizada gera modificações metabólicas nas plantas que aumentam a produtividade dos cultivos.

4 CONCLUSÕES

A magnetização da água salina é uma tecnologia sustentável para mitigar os efeitos da salinidade sobre a produtividade de diversas culturas, seja pelas modificações causadas na molécula da água, seja pelas alterações na bioquímica das plantas.

A irrigação com água de irrigação salina magnetizada promove aumento no vigor e o crescimento das raízes, promove maior absorção da água e de nutrientes do solo pelas plantas, aumentando a eficiência no uso da água, maior atividade fotossintética, e incremento da atividade das enzimas antioxidantes, e em consequência, ocorre a mitigação dos danos causados pela salinidade.

Notou-se que os trabalhos realizados sobre essa temática têm sido tratadas em regiões áridas e semiáridas, tornando-se uma alternativa eficiente e sustentável para o tratamento de água em regiões com escassez hídrica.

REFERÊNCIAS

- ABU-SHAHBA, M. S.; MANSOUR, M. M.; MOHAMED, H. I.; SOFY, M. R. Comparative cultivation and biochemical analysis of iceberg lettuce grown in sand soil and hydroponics with or without microbubble and microbubble. **Journal of Soil Science Plant Nutrition**, v. 21, p.389-403, 2021.
- AGHAMIR, F.; BAHRAMI, H.; ESHGHI, S.; MALAKOUTI, M. J. The effect of applied magnetics water on nutrients uptake by bean plants in salt conditions iranian. **Journal of Soil and Water Research**, v. 49, n. 6, p.1419-1431, 2019.
- ALAVI, S. A.; GHEHSAREH, A. M.; SOLEYMANI, A.; PANAHPOUR, E.; MOZAFARI, M. Pepermint (*Mentha piperita* L.) growth and biochemical properties affected by magnetized saline water. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 201, p.1-8, 2020.
- ALKHATIB, R.; ABDO, N.; AL-EITAN, L.; KAFESHA, R.; ROUSAN, A. Impact of magnetically treated water on the growth and development of tobacco (*Nicotiana tabacum* var. Turkish). **Physiology and Molecular Biology of Plants**. v. 26, n.5, p.1047–1054, 2020.
- ALSUVAID, M.; DEMIR, Y.; KIREMIT, M. S. ARSLAN, H.; Interaction effect of water magnetization and water salinity on yield, water productivity and morpho-physiological of balkız bean (*Phaseolus vulgaris*). **Gesunde Pflanzen Jornal**, v.74, p. 259–274, 2022.
- ANAND, A.; KUMARI, A.; THAKUR, M. S. Hydrogen peroxide signaling integrates with phytohormones during the germination of magnetoprimed tomato seeds. **Scientific Reports**, v. 9, p. 1-11, 2019.
- AZIMI, N.; MAJD, A.; NEJADSATTARI, T.; GHANATI, F.; ARBABIAN, S. Effects of magnetically treated water on physiological characteristics of *Lens culinaris* L. **Iran Iranian Journal of Science**, v.42, p.331–337, 2018.
- BABAEI, K.; MOGHADDAM, M.; FARHADI, N.; PIRBALOUTI, A.G. Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) to drought stress. **Scientia Horticulturae**, v.284, p.1-9, 2021.
- CHENG, M.; WANG, H.; FÃ, J.; WANGC, X.; SUN, X.; YANG, L.; ZHANG, S.; XIANG, Y.; ZHANG, F. Crop yield and water productivity under salty water irrigation: A global meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 256, p. 1-9, 2021.
- CHOURASIA, K. N.; LAL, M. K.; TIWARI, R. K.; DEV, D.; KARDILE, H. B.; PATIL, V.U.; PRAMANIK, D. Salinity stress in potato: Understanding physiological, biochemical and molecular responses. **Life**, v.11, n.6, p. 1-13, 2021.
- DASTORANI, M.; ALBAJI, M.; NASAB, S. B. Crop response and water productivity of sunflower (*Helianthus annuus* L.) drip-irrigated with magnetically treated and non-magnetically treated water with variable salinity. **Water AS**, v. 48, n.1, p. 90–96, 2022.
- DOBRÁNSZKI, J. From mystery to reality: Magnetized water to tackle the challenges of climate change and for cleaner agricultural production. **Journal of Cleaner Production**, n.425, p.1-13, 2023.

ELAOU, A.; TURKI, N.; AMOR, H. B.; JALEL, R.; SALAH, N.B Influence of the Magnetic Device on Water Quality and Production of Melon. **International Journal of Current Engineering and Technology**, v.6, n.6, p.1-5, 2016.

EL-GINDY, A. M.; ARAFA, Y. E.; ABD EL-HADY, M.; MANSOUR, H. A.; ABDELGHANY, A.E. Effect of Drip Irrigation System Salinity and Magnetic. **Water Treatment on Turnip Yield and Yield Characters**, v.4, n. 1, p. 89-96, 2018.

ELHINDI, K. M.; AL-MANA, F. A.; ALGAHTANI, A. M.; ALOTAIBI, M. A. Effect of irrigation with saline magnetized water and different soil amendments on growth and flower production of *Calendula officinalis* L. plants. Saudi. **Journal of Biological Sciences**, v.27, n. 11, p. 3072-3078, 2020.

EL-ZAWILY, A.; MELEHA, M.; EL-SAWY, M.; EL-ATTAR, E.; BAYOUMI, Y.; LSHAAL, T. 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.15, p.248-254, 2019.

GAO, H.; FU, T.; TANG, S.; LIU, J. Effects of saline water irrigation on winter wheat and its safe utilization under a subsurface drainage system in coastal saline-alkali land of Hebei Province, China. **Irrigation Science**, v. 41, p. 251–260, 2023.

GAO, Y.; SHAO, G.; CUI, J.; LU, J.; TIAN, L.; ENZE, C.; ZENG, Z. Y. Effects of drought hardening and saline water irrigation on the growth, yield, and quality of tomato. **Agronomy**, v.13, n.9, p. 1-16, 2023.

GAO, Y.; SHAO, G.; LU, J.; WANG, Y.; CUI, J. Changes in yield of tomato irrigated with salty water varied by soil properties and irrigation practices: a meta-analysisArch. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.69, n.12, p.2300–2313, 2023.

HASSEN, H.B.; HOZAYN, M.; ELAOU, A.; EL-MONEM, A. A. A. A. Inference of Magnetized Water Impact on Salt-Stressed Wheat. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v.45, p.4517–4529, 2020.

HEGAZI, A. M.; EL-SHRAIY, A. M.; GHONAME, A. Mitigation of salt stress negative effects on sweet pepper using arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), *Bacillus megaterium* and brassinosteroids (BRs). **Gesunde Pflanzen**, v. 69, n.91, p.1-12, 2017.

HOZAYN, M.; AHMED, A. A. Effect of magneto-priming by tryptophan and ascorbic acid on germination attributes of barley (*Hordeum vulgare*, L.) under salinity stress. **Eurasian Journal of Biosciences**, v.13, p.245–251, 2019.

HU, Y.; LI, J.; LI, R.; NIU, Y.; CAO, M.; LUO, J. Influence of magnetized water irrigation on characteristics of antioxidant enzyme, ferritin, and Cd excretion in *Festuca arundinacea* during phytoextraction. **Journal of Hazardous Materials**, v.438, n.15, p. 1-7, 2022.

JASIM, A. H.; AL-TAEE, Y. I.; ATAB, H. A.; ABDULHUSAIN, M. A. Effect of saline water magnetization on growth and development of wheat and rice seedlings Euphrates **Journal of Agriculture Science**, v.9, n.2, p.1-12, 2017.

KANWAL, A.; FARHAN, M.; SHARIF, F.; HAYYAT, MU.; SHAHZAD, L.; GHAFOR, G.Z. Effect of industrial wastewater on wheat germination, growth, yield, nutrients and bioaccumulation of lead. **Scientific Reports**, v.10, p.11352–11361, 2020.

KHOSROJERDI, M.; MOGHADDAM, M.; NASRIN FARHADI. Magnetic water irrigation changes physiological traits and stress tolerance of *Salvia virgata* under saline conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 314, p1-9, 2023.

LESSA, C. I. N.; LACERDA, C. F.; CAJAZEIRAS, C. C. A.; NEVES, A. L. R.; LOPES, F. B.; SILVA, A. O.; SOUSA, H. C.; GHEYI, H. R.; NOGUEIRA, R. S.; LIMA, S. C. R.V.; COSTA, R. N. T.; SOUSA, G. G. Potential of Brackish Groundwater for Different Biosaline Agriculture Systems in the Brazilian Semi-Arid Region. **Agriculture**, v.13, n.3 p.1-23, 2023.

LIN, S.; WANG, Q.; WEI, K.; SUN, Y.; SHAO, F.; LEI, Q.; DENG, M. Enhancing pakchoi (*Brassica chinensis* L.) agriculture with magnetized-ionized brackish water and organic fertilizers: A sustainable approach to soil quality and crop yield optimization **Journal of Cleaner Production**, v. 450, p. 1-14, 2024.

LIU, X.; WANG, L.; WEI, Y.; ZHANG, Z.; ZHU, H.; KONG, L.; MENG, S.; SONG, C.; WANG, H.; MA, F. Irrigation with magnetically treated saline water influences the growth and photosynthetic capability of *Vitis vinifera* L. seedlings. **Scientia Horticulturae**, v. 262, p.1-11, 2020.

LIU, X.; ZHU, H.; MENG, S.; BI, S.; ZHANG, Y.; WANG, H.; SONG, C.; MA, F. The effects of magnetic treatment of irrigation water on seedling growth, photosynthetic capacity and nutrient contents of *Populus × euramericana* ‘Neva’ under NaCl stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 41, n. 11, p. 1-13, 2019.

MASSAH, J.; DOUSTI, A.; KHAZAEI, J.; VAEZZADEH, M. Effects of water magnetic treatment on seed germination and seedling growth of wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n.12, p.1283–1289, 2019.

MENEGATTI, R. D.; OLIVEIRA, L. O.; COSTA, A.V. L.; BRAGA, E. J. B.; BIANCHI, V. J. Magnetic field and gibberelic acid as pre-germination treatments of passion fruitseeds. **Revista Ciência Agrícola**, v.17, n.1, p.15-22, 2019.

MISHRA, S.; KUMAR, R.; KUMAR, M. Use of treated sewage or wastewater as an irrigation water for agricultural purposes- Environmental, health, and economic impacts. **Total Environment Research Themes**, v.6, p.1-11, 2023.

MORA, A.; TORRES-MARTÍNEZ, J. A.; CAPPARELLI, M. V.; ZABALA, A. MAHLKNECHT, J. Effects of wastewater irrigation on groundwater quality: An overview Current Opinion in Environmental. **Environmental Science & Health**, v.25, p.1-10, 2022.

OKASHA, A. M.; EL DIB, E. M.; ELMETWALLI, A. H.; FAROOQUE, A. A.; YASEEN, Z. M.; ELSAYED, S. Maximization of water productivity and yield of two iceberg lettuce cultivars in hydroponic farming system using magnetically treated saline. **Water Journals Agriculture**, v. 12, n. 1, 2022.

- PUTTI, F.F.; ARRUDA, B.; VICENTE, E. F.; CHAVES, P. P. N.; NOGUEIRA, B. B.; ZANETTI, W. A. L.; ONO, E. O.; REIS, A. R. Magnetic technology to reduce the effects of saline stress on tomato plants. **Environmental Technology & Innovation**, v.34, p.1-14, 2024.
- RASOULI, F.; KIANI-POUYA, A.; TAHIR, A.; SHABALA, L.; CHEN, Z.; SHABALA, S. A comparative analysis of stomatal traits and photosynthetic responses in closely related halophytic and glycophytic species under saline conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v.182, p.1-12, 2021.
- REDOUANE, M.; ABDERRAHMANE, E.; MOZNINE, R. E.; MONKADE, M.; ABDESLAM, E.B. The influence of the electromagnetic field on the electric properties of water Mediterranean. **Journal of Chemistry**, v.10, p. 507-515, 2020.
- SARY, D. H. The response of saline irrigation water to magnetization and its effect on soil properties and cowpea productivity in newly reclaimed lands in North Sinai. **Egyptian journal of soil Science**, v.61, n. 1, p. 79-93, 2021.
- SHI, Q.; CAO, M.; XIONG, Y.; KAUR, P.; FU, Q.; SMITH, A.; YATES, R.; GAN, J. Alternating water sources to minimize contaminant accumulation in food plants from treated wastewater irrigation. **Water Research**, v. 255, n.15, p. 1-9, 2024.
- SINGH, A. A review of wastewater irrigation: Environmental implications. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 168, p. 1-17, 2021.
- SOFY, A. R.; SOFY, M. R.; HMED, A. A.; DAWOUD, R. A.; REFAEY, E. E.; MOHAMED, H. I.; EL-DOUGDOUG, N. K. Molecular characterization of the alfalfa mosaic virus infecting *Solanum melongena* in Egypt and the control of its deleterious effects with melatonin and salicylic acid. **Journal Plants**, v.10, n.3, p.1-25, 2021b.
- SU, N.; CHANG, Y. Analysis of Beijing accommodation service based on gaode POJ. *Green Sci. Technol.* V.p. 165-169, 2019.
- 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. 1-9, 2016.
- SUTYANTY, E.; RACHMAWATI, D. Growth response of rice (*Oryza sativa* L.) plant towards magnetized seawater treatment. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 724, p. 1-7, 2020.
- WANG, E.; ZHENG, C.; NING, S.; CAO, C.; LI, K.; DANG, H.; WU, Y.; ZHANG, J. Impacts of long-term saline water irrigation on soil properties and crop yields under maize-wheat crop rotation. **Agricultural Water Management**, v. 28, p1-13, 2023.
- WANG, Q.J.; SUN, Y.; NING, S.R.; ZHANG, J.H.; ZHOU, B.B.; SU, L.J.; SHAN, Y.Y. Effects of activated irrigation water on soil physicochemical properties and crop growth and analysis of the probable pathway. **Environmental Science Journals**, v.34, p. 660-670, 2019.

WASAYA, A.; MANZOOR, S.; YASIR, T.A.; SARWAR, N.; MUBEEN, K.; ISMAIL, I.A.; EL SABAGH, A. Evaluation of fourteen bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes by observing gas exchange parameters, relative water and chlorophyll content, and yield attributes under drought stress. **Sustainability**, v.13, p. 1-20, 2021.

ZAREEI, E.; ZAARE-NAHANDI, F.; HAJILOU, J.; OUSTAN, S. Eliciting effects of magnetized solution on physiological and biochemical characteristics and elemental uptake in hydroponically grown grape (*Vitis vinifera* L. cv. Thompson Seedless). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 167, p. 586-595, 2021.

ZHAO, C.; ZHANG, H.; SONG, C.; ZHU, J.; SHABALA, S. Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. **The Innovation**, v. 1, 2020.

ZHAO, G.; MU, Y.; WANG, Y.; WANG, L. Magnetization and oxidation of irrigation water to improve winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production and water-use efficiency. **Agricultural Water Management**, v. 259, n.1, p 1-19, 2022.

ZHOU, B.; YANG, L.; CHEN, X.; YE, S.; PENG, Y.; LIANG, C. Effect of magnetic water irrigation on the improvement of salinized soil and cotton growth in Xinjiang **Agricultural Water Management**, v. 248, p 1-22, 2021.

**CAPÍTULO III: ANÁLISE DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA
SUBMETIDOS A CAMPOS MAGNÉTICOS SOB INTERVALOS DE TEMPOS**

RESUMO

A água, ao ser exposta a um campo magnético aplicado, pode ter algumas de suas propriedades físico-químicas alteradas. O objetivo deste estudo foi analisar os parâmetros de qualidade da água sujeita a diferentes intensidades de campos magnéticos em intervalados de tempos variados. O experimento foi realizado em ambiente controlado no Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais do Nordeste (CERTBIO), da Universidade Federal de Campina Grande. A água magnetizada foi obtida através do magnetizador feito com ímãs de carga permanente. O esquema fatorial envolveu três tipos de água (água deionizada, água de abastecimento e água de abastecimento salina), três intensidades de campo magnéticos (200, 300 e 400 mT) e cinco intervalos de 20 min (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 e 140 min). Foram estudados os efeitos dos campos magnéticos sobre a água associados a esses intervalos de tempos. Foram analisados a condutividade elétrica, o potencial hidrogeniônico, espectroscópicos vibracionais, teor de cálcio, magnésio, potássio, cloreto, bicarbonatos e carbonatos. Observou-se que a condutividade elétrica da água aumentou com a magnetização, exceto para a água deionizada e de abastecimento adicionada de sais, que, magnetizada com 300 mT, reduziu a CE. O pH das águas analisadas aumentou, com exceção da água deionizada magnetizada com o campo magnético de 400 mT, que diminuiu. A absorção de luz infravermelha reduziu com a magnetização. Os teores de cálcio, magnésio, sódio, cloretos, bicarbonatos e carbonatos reduziram com a magnetização da água; no entanto o teor de potássio aumentou.

Palavras-chave: condutividade elétrica, pH, tratamento de água, sais.

ABSTRACT

When exposed to an applied magnetic field, water can have some of its physical and chemical properties altered. The aim was to analyze the quality parameters of water subjected to different intensities of magnetic fields at different intervals. The experiment was carried out in a controlled environment at the Laboratory for the Evaluation and Development of Biomaterials in the Northeast (CERTBIO) at the Federal University of Campina Grande. The magnetized water was obtained through a magnetizer made of permanently charged magnets. Thus, the factorial scheme consisted of three types of water (deionized water, water supply and saline water supply), three magnetic field intensities (200, 300 and 400 mT) and five 20-minute intervals (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 and 140 min), studying the effects of the magnetic fields on the water and associated with five times. Electrical conductivity, hydrogenionic potential, vibrational spectroscopy, calcium, magnesium, potassium, chloride, bicarbonate and carbonate content were analyzed. It was observed that the electrical conductivity of the water increased with magnetization, except for the deionized and salt-added supply water which, when magnetized with 300 mT, reduced the EC. The pH of the water analyzed increased, with the exception of deionized water magnetized with the 400 mT magnetic field, which decreased. The absorption of infrared light decreased with magnetization. The calcium, magnesium, sodium, chloride, bicarbonate and carbonate contents decreased as the water was magnetized; however, the potassium content increased as the water was magnetized.

Keywords: electrical conductivity, pH, water treatment, salts.

1 INTRODUÇÃO

A água tratada com campo magnético, chamada de “água magnetizada” tem sido amplamente utilizada em muitas aplicações devido às mudanças em suas propriedades físicas, como no caso da exposição das águas servidas a campos magnéticos, a qual acelera o processo de decomposição das substâncias orgânicas (WANG, *et al.*, 2021).

Na agricultura, a magnetização da água salina é capaz de diminuir o nível salinidade da mesma, tornando-a adequada para a para a irrigação (SUTIYANTI E RACHMAWATI 2020), pois a ação dos campos magnéticos aumenta a concentração de íons livres e a mobilidade dos sais, levando-os à precipitação (ALKHATIB, *et al.*, 2020).

Sendo assim, a utilização de campos magnéticos é considerada uma técnica promissora para aumentar a eficiência no uso da água. O processo de magnetização da água consiste na passagem da água através de campos magnéticos (HOZAYN *et al.*, 2019).

A magnetização da água, promove o relaxamento nas pontes de hidrogênio e diminui o ângulo formado entre o átomo de oxigênio e os dois átomos de hidrogênio de 104,5° para 103°. Essa alteração no ângulo da molécula, modifica as características físico-química da água (HASSAN & RAHMAN, 2016).

O campo magnético tem efeito paramagnético na água que provoca as alterações nas propriedades macroscópicas e físico-químicas da água (DOBRÁNSZKI, 2023). Durante o processo de magnetização da água, ocorre a reorientação de ligações de hidrogênio entre a água interação entre os intra e inter-aglomerados da água molecular por meio de ligações de hidrogênio, resultando na quebra de aglomerados de água maiores para menores (CHIBOWSKI *et al.*, 2018).

A magnetização da água reduz a tensão superficial, aumenta a viscosidade (MGHAIOUNI *et al.*, 2020), causa a diminuição no calor específico e no ponto de ebulição da água (ZHOU, *et al.*, 2019). Também é possível observar que a condutividade elétrica (CE) e o potencial hidrogeniônico (pH) incrementaram com a magnetização da água (DOBRÁNSZKI, 2023).

Além disso, o processo de magnetização também promove mudanças nas características ópticas de transmissão e absorção infravermelha da água magnetizada, que mudam sob a influência da densidade de fluxo do campo magnético (SRONSRI *et al.*, 2021).

As alterações causadas pelos campos magnéticos na molécula da água estão relacionadas ao tempo de exposição, à magnitude do campo magnético, e às condições ambientais (HASSEN *et al.*, 2020).

Diante dos benefícios da magnetização da água, faz-se necessário entender as mudanças nas propriedades da água magnetizada sobre a CE e o pH, os comportamentos espectroscópicos vibracionais da água magnetizada e os efeitos dos campos magnéticos sobre os sais dissolvidos. Dessa forma, objetivou-se com esta pesquisa, analisar os parâmetros de qualidade da água sujeitos a diferentes intensidades de campos magnéticos em intervalados de tempos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais do Nordeste (CERTBIO), na Universidade Federal de Campina Grande, no campus de Campina Grande, estado da Paraíba, cuja coordenadas geográficas são 7°12'56.05"S, 35°54'21.85"O (Figura 1).

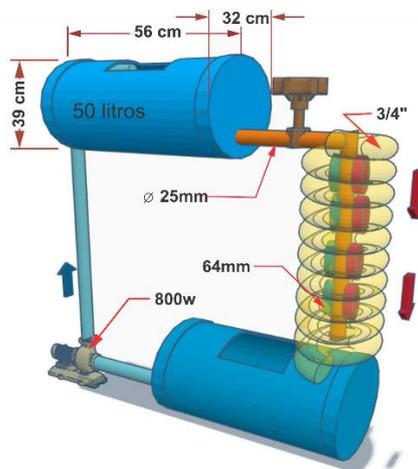
Figura - 1 - Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais do Nordeste.



Fonte: Google Earth (2024)

Para a construção do magnetizador chamado de AMAI (Magnetizador de Água da Irrigação), onde foram utilizados recipientes de polietileno de alta densidade, com a capacidade de 50 L com as seguintes dimensões: 56 cm altura, 39 cm comprimento e 32 cm de largura. Também foram utilizados ímãs magnetron de 64 mm, conduítes com o diâmetro de $\frac{3}{4}$, largura de 50 mm, espessura de 3 mm, e cano de diâmetro interno de 25 mm para água. O sistema incluía uma bomba de 800 W de potência, com pHmetro e um condutivímetro acoplados à estrutura do magnetizador. Foi utilizado um Gaussímetro para medir a intensidade magnética emitida pelo magnetizador. A Figura 2 apresenta as dimensões do dispositivo magnético utilizado neste trabalho.

Figura 2 - Representação gráfica do dispositivo confeccionado para realizar a magnetização da água durante o experimento.



Fonte: Autoria própria (2024)

Os ímãs foram fixados nas laterais do tubo de água de PVC para fabricar o dispositivo. Para obtenção de campo magnético, foram utilizadas as diferentes quantidades de ímãs, a saber: 200, 300 e 400 mT, as quais buscam atingir o campo magnético desejado.

Foram estudados três tipos de água: água deionizada produzida em laboratório, água de abastecimento e água de abastecimento salina. Para que a água de abastecimento atingisse a salinidade de $3,3 \text{ dSm}^{-1}$, foram dissolvidos os sais na seguinte proporção 7:2:1 entre NaCl (cloreto de sódio), CaCl_2 (cloreto de cálcio) e MgCl_2 (cloreto de magnésio).

A condutividade elétrica (CE) foi medida com condutivímetro digital e o potencial hidrogeniônico (ph) foi obtido através do medidor de ph digital microprocessado. Tanto a CE quanto o PH foram medidos a cada 20 min (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 e 140 min) até a estabilização.

No Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) 400 nm, para cada amostra de água foi medida uma resolução de 4 cm^{-1} para 64 varreduras, a fim de reduzir o sinal de ruído. Assim, um ATR detecta a variação que se inicia em um feixe infravermelho interno total refletido quando o infravermelho encontra as amostras.

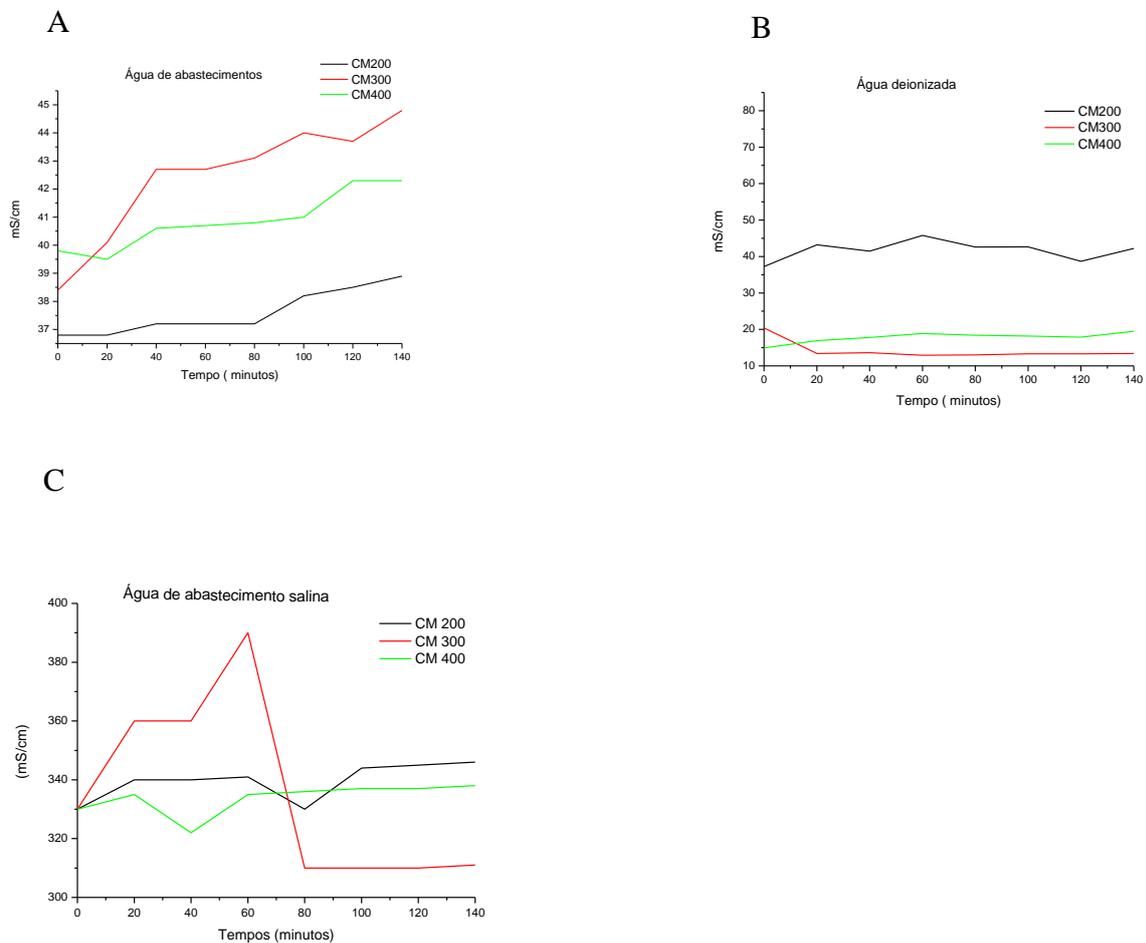
As análises físico-químicas da água foram realizadas de acordo com a metodologia da APHA.

Os resultados foram gerados pelo próprio equipamento com a confecção dos gráficos no Origin® versão 8.5.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, o processo de magnetização alterou a condutividade elétrica da água, independentemente da quantidade de sais dissolvidos na água e da intensidade dos campos magnéticos utilizados. Na Figura 3, encontra-se a representação gráfica das condutividades elétricas da água de abastecimento magnetizada, água deionizada e água de abastecimento adicionada de sais, quando submetidas ao intervalo de tempo de 20 min.

Figura 3 - A CE da água de abastecimento, água deionizada e água de abastecimento adicionada de sais e magnetizada nos campos magnéticos de 200, 300 e 400 mT.



A magnetização da água de abastecimento com um campo magnético de 200, 300 e 400 mT (Figura 3 A) aumentou a CE das águas em 89,99 85,68 e 88,49%, respectivamente. A água deionizada magnetizada com o campo magnético de 200 mT (Figura 3 B) também aumentou a sua CE um incremento de 45,86% com o tempo de magnetização de 140 min. No entanto, a água deionizada magnetizada com o campo magnético de 300 mT reduziu a CE em 34,31,68% no tempo de 140 min. A CE da água deionizada com um campo magnético de 400 mT aumentou em 76,41% no tempo de 140 min, quando comparada com o T0.

A CE da água de abastecimento salina (Figura 3 C) quando submetida aos campos magnéticos sofreu variações ao longo dos intervalos avaliados, obtendo valor máximo no tempo de 60 min com média de 390 mS/cm no campo magnetizado de 300 mT, o qual provocou redução de 20,25% quando comparado o valor máximo obtido com o valor do tempo máximo avaliado. Por outro lado, o campo magnético de 200 mT influenciou a água salina no tempo de 140 min, provocando um aumento de 95,37% na CE. Em relação à CE na condição de água com adição de sais, o campo magnético de 400 mT, houve um aumento de 97,63% ao longo do tempo de magnetização. De fato, a elevação da CE da água magnetizada ocorre pela ação do campo magnético, que aumenta a concentração de íons livres e a mobilidade dos sais iônicos.

De acordo com Sronsri *et al.* (2021), quando analisaram a espectroscopia vibracional, a propriedade térmica e a solubilidade da água salina submetida à magnetização, constataram que a mudança da condutividade elétrica submetida ao campo eletromagnético, ocorre mudanças na atividade eletroquímica e termodinâmica da ionização íon-específica na solução salina; isso resulta em alterações durante as interações entre a ionização da água e as moléculas de água.

Hasaani *et al.* (2015), ao avaliarem a absorvância, pH, os sólidos totais solúveis (TDS), CE, viscosidade, tensão superficial, condutividade térmica da água de abastecimento magnetizada, submetida ao campo de 656 mT durante 120 min em temperatura ambiente, observaram o aumento no pH de 12% quando comparada à água de abastecimento não magnetizada. Também constataram que houve aumento no TDS e na CE, totalizando 33 e 36%, respectivamente, após a aplicação do campo magnético. Ainda observaram a redução na viscosidade da água e na tensão superficial de 23, 18%, respectivamente. A condutividade térmica da água diminuiu em 16% na água exposta ao campo magnético.

Resultado semelhante foi encontrado por Wang *et al.* (2018), que, ao realizar pesquisas que utilizam a água pura, ultra pura, água de abastecimento e água adicionada de sais expostas a campos magnéticos, observou que, de modo geral, as alterações nas propriedades da água, como maior evaporação, menor tensão superficial e maior condutividade elétrica, a presença dos sólidos e íons dissolvidos não influenciou no processo de magnetização.

O potencial hidrogeniônico da água de abastecimento, água deionizada e a água de abastecimento adicionada de sais modificou-se durante o processo de magnetização. Conforme a Figura 4 A, é possível observar a variação que ocorre no intervalo de tempo analisado, em que o pH da água de abastecimento magnetizada a 200 mT elevou-se ao máximo aos 60 min de magnetização com um pH de 7,79. Aos 140 min de magnetização, o pH aumentou em 84,68% quando comparado com o pH no início da magnetização. Para a água de abastecimento magnetizada com campo magnético de 300 e 400 mT, o pH aumentou em 83,62 e 79,83%, respectivamente, no tempo de magnetização de 140 min.

O pH da água deionizada (Figura 4 B) magnetizada com o campo magnético de 200 mT reduziu em 1,62% aos 140 min quando comparado com o pH inicial da água. Para a água deionizada magnetizada com o campo magnético de 300 mT, o aumento foi de 94,43% no tempo final de magnetização. No entanto, o pH da água deionizada magnetizada com um campo magnético de 400 mT reduziu em 98% quando comparado com a água magnetizada no início da magnetização. Para a água magnetizada de abastecimento adicionada de sais (Figura 4 C) com o campo magnético de 200 e 400 mT aumentou em 98,76 e 95,45% respectivamente. No entanto, para a água magnetizada com o campo magnético de 300 mT, ocorreu redução no pH de 98%.

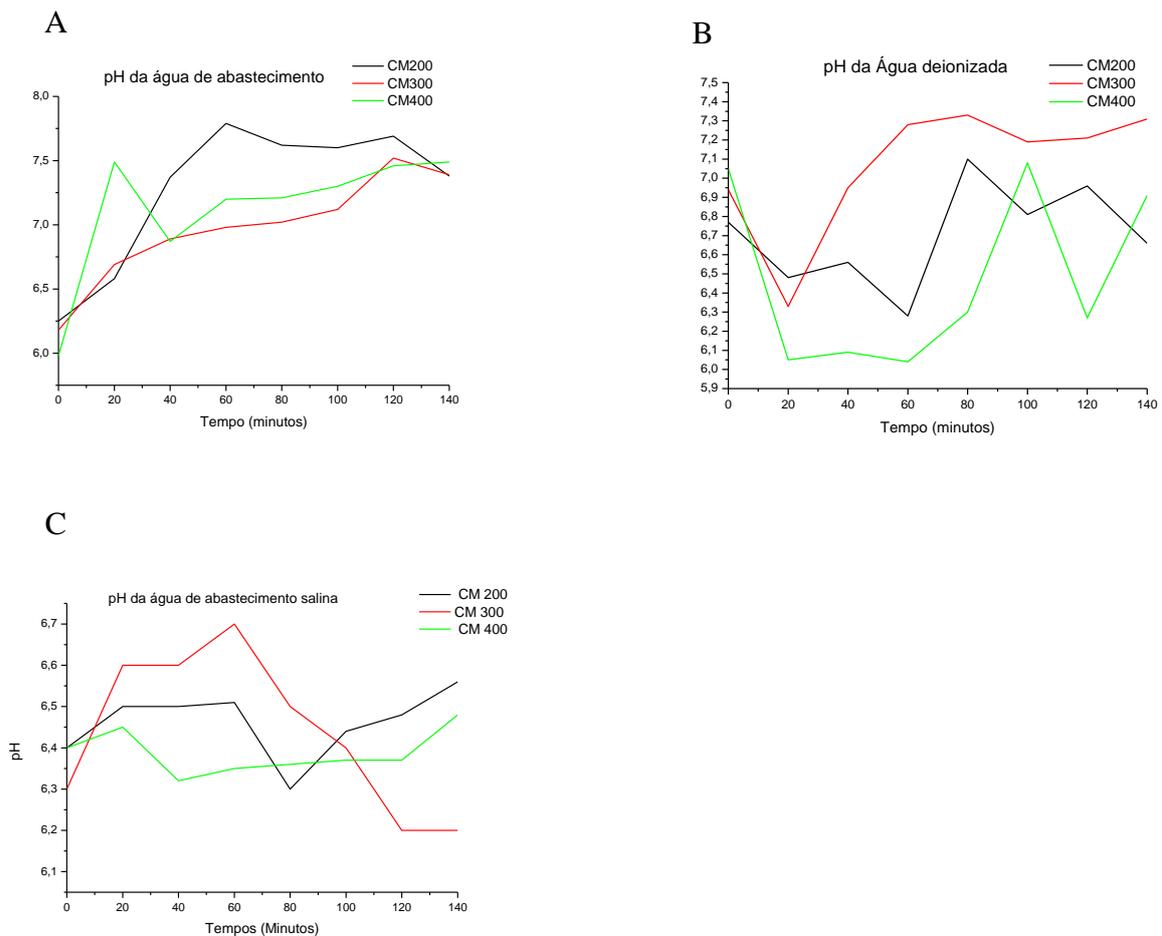
Essas variações no pH da água magnetizada provavelmente ocorrem porque a ação do campo magnético sobre a água tem efeito direto na distribuição das ligações de hidrogênio, enfraquecendo-as ou até mesmo quebrando essas ligações, aumentando o número de moléculas de monômero de água (CHIBOWSKI *et al.*, 2018). A água de abastecimento magnetizada a 300 e 400 mT tiveram comportamento semelhante, com o aumento do pH decorrer ao longo do tempo de medição. Foi possível observar que a magnetização da água deionizada e da água salina magnetizada com 200, 300 e 400 mT, resultou no aumento do pH, independente da intensidade dos campos magnéticos aplicados.

O pH da água de irrigação tem grande influência sobre a química do solo devido à sua ação em inúmeras reações químicas envolvendo nutrientes essenciais para as plantas (PENN E CAMBERATO, 2019). Além disso, o pH da solução do solo afeta a solubilidade, a forma iônica, a adsorção e mobilidade da maioria dos nutrientes vegetais. Os nutrientes interagem, e as espécies de plantas respondem de forma diferente a uma mudança no pH (HARTEMINK e BARROW 2023).

A disponibilidade de nutrientes para as plantas está fortemente correlacionada com o pH da solução do solo. A liberação dos principais nutrientes para as plantas, como nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e cálcio reduzem em solos ácidos. Para que estes nutrientes fiquem

disponíveis, o pH deve estar em uma faixa de 6,5-8,0 (RAHMAN *et al.*, 2018). Observou-se que, apesar do aumento com o processo da magnetização dos diferentes tipos de águas estudadas, o pH se manteve na faixa ótima para a disponibilização dos nutrientes.

Figura 4 - pH da água de abastecimento, água deionizada e água de abastecimento adicionada de sais e magnetizada com os campos magnéticos de 200, 300 e 400 mT.



A quebra das ligação de hidrogênio da água sob efeito de um campo magnético também está relacionada à força de Lorentz, que faz com que os íons positivos e negativos girem de forma oposta, aumentando a possibilidade de colisão entre os íons. Diante disso, o movimento das moléculas torna-se mais intenso, aumentando o movimento térmico das ligações de hidrogênio que se tornam mais fracas. WANG *et al.* (2013) concluíram que ligações de hidrogênio mais fracas são obtidas ao longo do tempo magnetização. Já MGHAIUINI *et al.* (2020) relataram que a fragmentação das pontes de hidrogênio eleva o pH da água magnetizada, resultado da ionização da água moléculas.

Os resultados corroboram com os que foram obtidos por Amor *et al.* (2018), ao avaliarem os efeitos dos campos magnéticos com as intensidades de 90, 330, 290 e 500 mT sob duas velocidades de vazões (0,03 e 0,06 letra/segundo) e duas temperaturas (18 e 24°). Foi observado que o potencial hidrogeniônico aumentou na água magnetizada, independente da intensidade do campo a que foi submetida, quando comparada com a água sem magnetização.

Alguns estudos demonstram que, após o processo de magnetização, ocorrem algumas alterações nas propriedades físico-químicas da água, incluindo solubilidade do sal, viscosidade e poder solvente, tensão superficial e pH (ZAREEI *et al.*, 2019).

Ao aplicar um campo magnético sobre a água de abastecimento, ocorreu a formação de muitos hidróxidos (OH⁻), resultando no aumento do pH, o que reduz a acidez da solução. O pH refere-se tecnicamente a concentração de íons hidrogênio em um meio, que quantifica a acidez ou alcalinidade de água, sendo um dos principais indicadores de qualidade da água (MGHAIOUNI *et al.*, 2020).

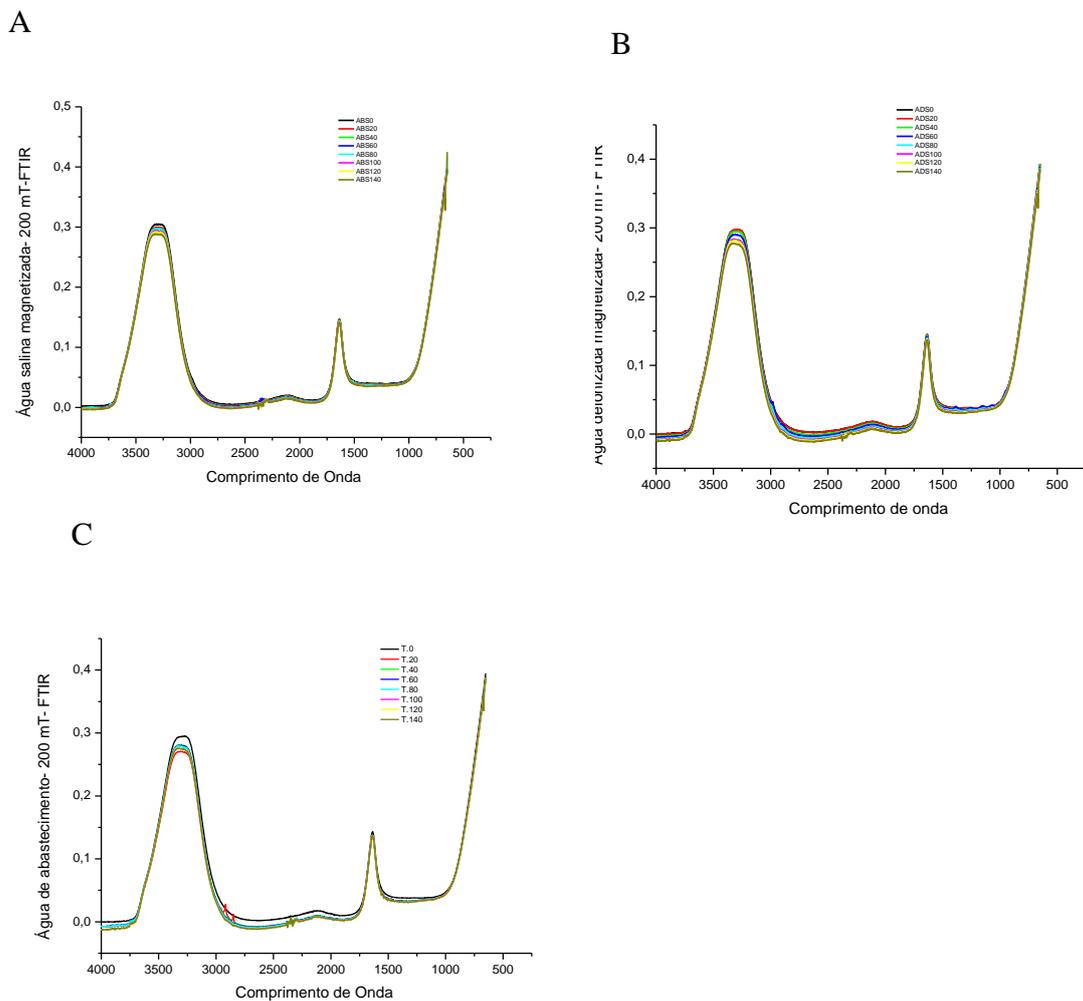
Mghaiouini, *et al.* (2020), ao estudarem a magnetização da água de abastecimento exposta ao campo magnético durante 160 min, onde as medições de pH eram realizadas a cada 10 min, observaram o aumento do pH, resultado da dissociação da molécula de água sob a influência de um campo magnético, que resulta na liberação dos íons OH⁻ e na absorção dos íons H⁺, incrementando do pH em 8,5% nas amostras de água que foram magnetizadas.

Também ocorrem alterações na intensidade de absorção ultravioleta (UV) da água magnetizada, que é maior que a da água pura, crescendo exponencialmente à medida que o período de magnetização aumenta e o comprimento de onda da luz UV diminui (Figura 5). Como resultado direto da magnetização, essas alterações estão relacionadas ao agrupamento molecular, polarização atômica e mudanças no momento dipolo de transição dos elétrons dentro das moléculas (PANG, 2008).

Diante dos resultados obtidos, constatou-se que, ao passar por um campo magnético, a água se transforma magnetizada, pois ocorreu alteração em suas propriedades físicas. Notou-se que, após este processo, independente dos sais dissolvidos na água, ocorreram alterações na capacidade de absorção da luz infravermelha. As análises feitas no FTIR na água de abastecimento magnetizada com a intensidade do campo magnético de 200 mT evidenciaram que o ponto máximo de absorção da luz infravermelha foi obtido antes do processo de magnetização, o qual obteve a máxima redução aos 20 min de magnetização, conforme demonstrado na Figura 5 A. Entretanto, para a água deionizada magnetizada a 200 mT (Figura 5 B), os pontos máximos de absorção ocorreram também aos 20 min de magnetização da água mas, constatou-se reduções na absorbância da água deionizada magnetizada ao longo do tempo,

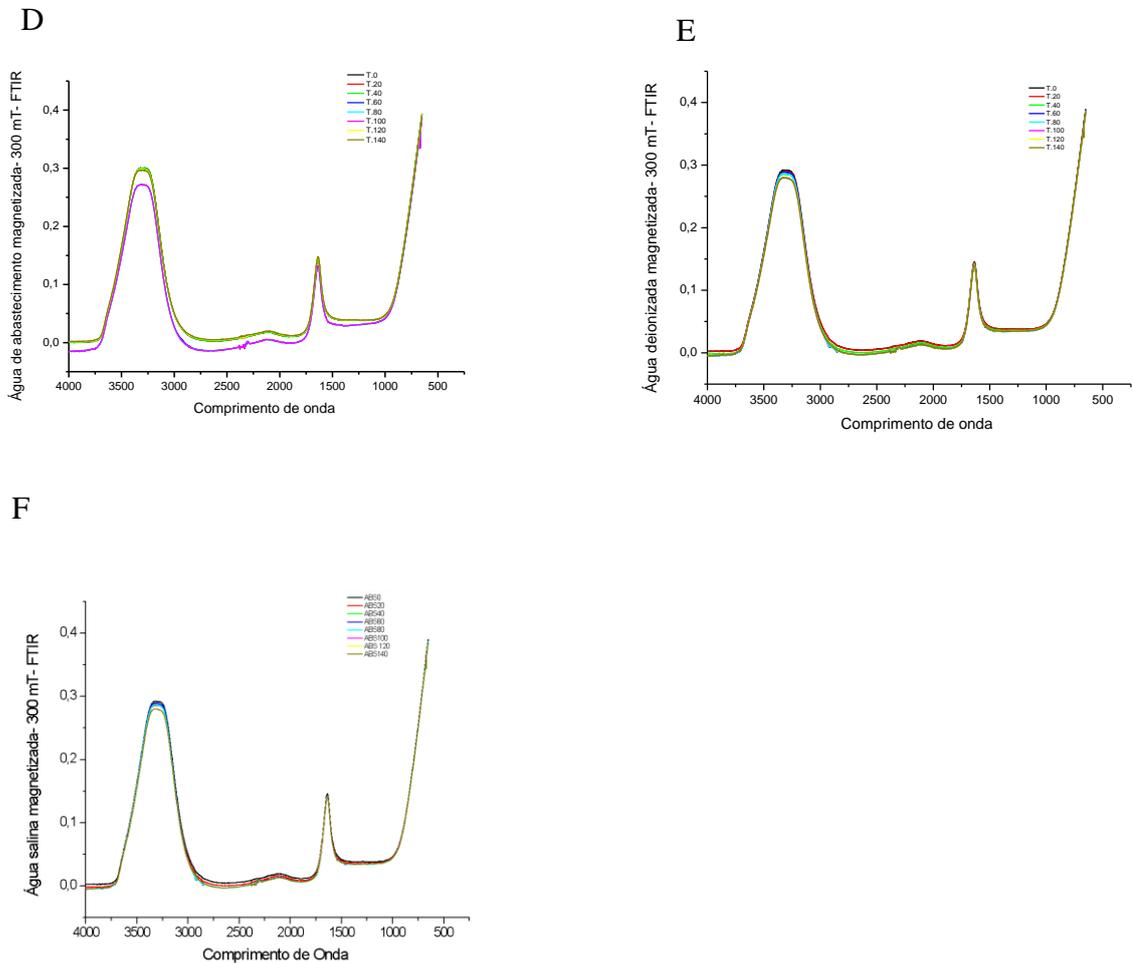
sendo a máxima redução obtida no tempo de 140 min. No processo de magnetização da água de abastecimento adicionada de sais (Figura 5 C), observou-se que a máxima absorção ocorreu no início do processo da magnetização, reduzindo ao longo do tempo, com absorção de luz infravermelha reduzindo ao máximo aos 140 min.

Figura 5 - Absorção de luz infravermelha da água de abastecimento, água deionizada e água de abastecimento adicionada de sais e magnetizada com os campos magnéticos de 200, 300 e 400 mT.

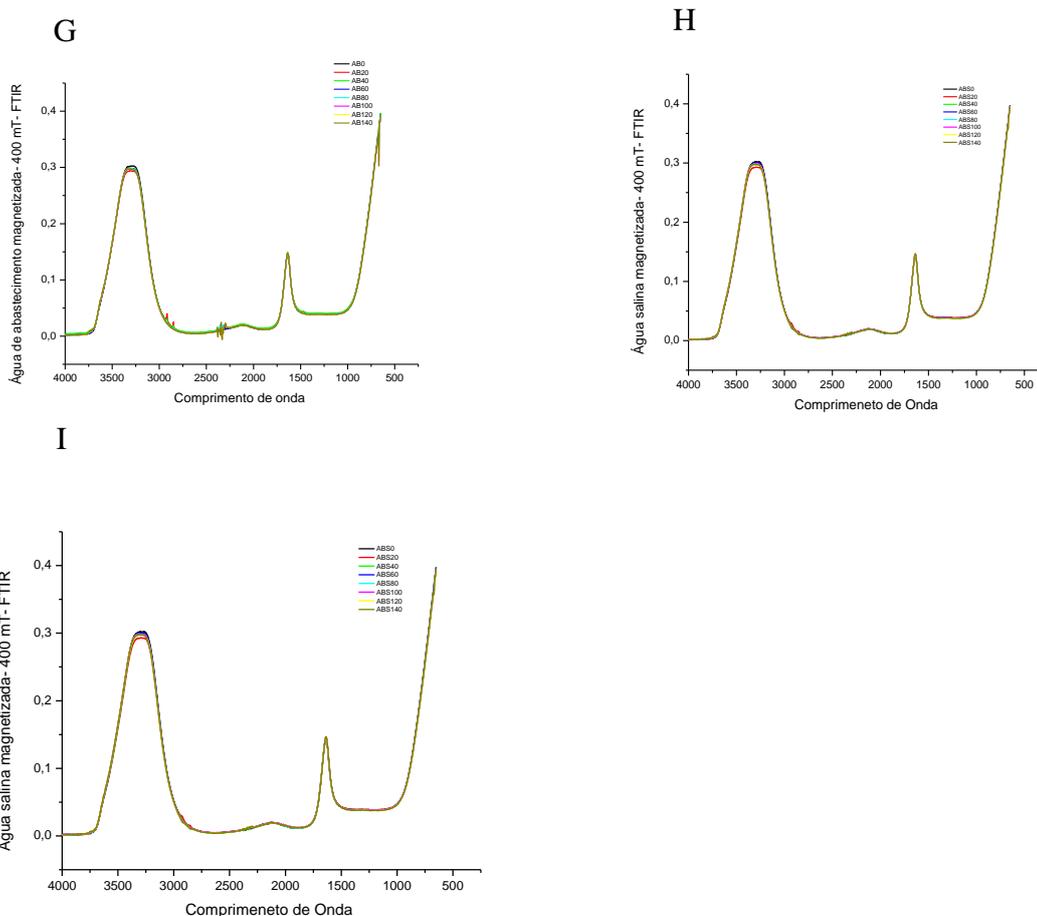


No processo de magnetização da água de abastecimento submetida ao campo magnético de 300 mT, o ponto máximo de absorção foi observado em dois momentos: aos 40 min e aos 140 min de magnetização, reduzindo aos 100 min de magnetização (Figura 5 D). Observou-se que a água deionizada a 300 mT (Figura 5 E) também teve ponto máximo de absorção no início da magnetização, reduzindo com o decorrer do tempo de análise. Para a água de abastecimento salina magnetizada a 300 mT (Figura 5 F), a absorção máxima de luz infravermelha foi observada no início da magnetização, decaindo ao longo do tempo, com a

menor absorção encontrada aos 140 min. Todavia, o processo de magnetização da água magnetizada a 400 mT foi similar ao da água magnetizada.



Para as águas magnetizadas com o campo de 400 mT, observa-se que, independente da concentração de sais o ponto máximo de absorção foi ocorreu no início do processo de magnetização. No entanto, a água de abastecimento (Figura 5 G) e a água de abastecimento adicionada de sais (Figura 5 I) apresentaram comportamento semelhante, onde o ponto de menor absorção ocorreu aos 20 min de magnetização. Já para a água deionizada, a menor absorção de luz infravermelha ocorreu aos 60 min de magnetização (Figura 5 H).



Os resultados indicam mudanças na distribuição de elétrons, momento dipolar molecular e polarização molecular da água magnetizada a partir dos resultados infravermelhos. Han *et al.*(2016) investigaram as propriedades ópticas da água entre dois ímãs fortes e descobriram que a propriedade de absorção infravermelha da água magnetizada mudou ao longo do processo de magnetização.

As mudanças observadas nos espectros FTIR próximos mostram que os campos magnéticos alteram a distribuição de moléculas e elétrons, causam deslocamentos e polarização de moléculas e átomos e resultam em mudanças na transição do momento dipolo e nos estados vibracionais das moléculas e na variação da transição.

Sronsri *et al.* (2021), ao estudar a capacidade de absorção de infravermelho da água altamente purificada (água deionizada com resistência de 18,2 M Ω -cm a 25 °C) magnetizada com o campo magnético de 120 e 670 mT, constataram que as curvas de absorção infravermelha de água não magnetizada e magnetizada sob diferentes densidades de fluxo magnético e tempo

de exposição magnética as forças de pico de absorção da água magnetizada aumentaram quando comparadas com a água não magnetizada. Assim, os resultados confirmam que, quando a água é exposta a campos magnéticos, ocorrem alterações nas suas propriedades físicas, ou seja, a distribuição e os estados das moléculas de água variam, enquanto a estrutura molecular da água não muda (PANG, 2006).

Ainda para Sronsri *et al.* (2021), o tempo de exposição magnética aumentou com a intensidade de 670 mT, e a absorbância infravermelha da água passou de 0,7947 para 0,9927. Além disso, a água permaneceu magnetizada, com a absorbância mantida até 48 horas após o tempo de magnetização. Esse fenômeno pode ser definido como “efeito memória”, referindo-se ao tempo durante o qual o efeito magnetizado ainda pode permanecer por um período de tempo, quando os campos magnéticos são removidos.

Em experimento realizado Pang e Deng, (2008), ao magnetizar a água deionizada com um campo magnético de 440 mT, observaram que a algumas características ópticas da água foram modificadas, como o aumento a absorção da água na luz UV em resposta ao maior tempo de exposição, onde a intensidade da absorção aumentou.

Na tabela 1 estão apresentados os resultados das análises químicas da água de abastecimento magnetizada nas diferentes intensidades de campos magnéticos.

Tabela 1 - Resultados das análises químicas da água de abastecimento e da água de abastecimento magnetizadas com campos de 200, 300 e 400 mT.

	Cátions (meq/L)					Ânions (meq/L)	
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
Abast.	0,86	2,16	2,96	0,11	0,81	1,34	0,72
200 mT	0,89	1,26	1,63	0,16	0,75	1,18	0,64
300 mT	0,88	1,29	1,79	0,21	0,78	1,23	0,61
400 mT	0,56	1,56	1,15	0,17	0,73	1,21	0,60

Para os teores de cálcio (Ca²⁺) da água de abastecimento magnetizada, observa-se que o conteúdo deste mineral reduziu em 65% com magnetização de 400 mT, quando comparados com a água de abastecimento sem magnetização. O processo de magnetização reduziu o conteúdo de magnésio (Mg²⁺) nos diferentes campos magnéticos estudados, com reduções 58, 59,72% e 53% quando a água de abastecimento foi magnetizada com os campos magnéticos de 200, 300 e 400 mT respectivamente.

O processo de magnetização também reduziu os teores de sódio (Na^+) da água magnetizadas com 200, 300 e 400 mT, com reduções de 55,63, 60,47 e 38,85%, respectivamente, quando comparados com a água de abastecimento sem magnetização.

No entanto, o teor de potássio (K^+) aumentou com a magnetização da água. Na água magnetizada com os campos magnéticos de 200 mT, houve um aumento de 69%, enquanto que para a água de abastecimento magnetizada com o campo magnético de 300 mT, o incremento no teor de K^+ foi de 52%. Já na água de abastecimento magnetizada com o campo de 400 mT, o aumento foi de 65%.

A concentração de cloreto (Cl^-) reduziu com a magnetização da água de abastecimento, com redução de 92,59% para a água exposta ao campo magnético de 200 mT. Para a água magnetizada com o campo magnético de 300 mT, a redução foi de 96,29%, enquanto para a água magnetizada com o campo magnético de 400 mT, o teor de Cl^- diminuiu em 90,12% quando comparado com a água de abastecimento sem magnetização.

A concentração de bicarbonatos (HCO_3^-) diminuiu significativamente na água magnetizada. Com campos magnéticos de 200 mT, a redução foi de 88,86%. Para a água magnetizada com o campo magnético de 300 e 400 mT, as reduções foram de 95, 52% e 90,29% respectivamente.

A quantidade de carbonatos (CO_3^{2-}) também reduziu com a magnetização da água. Constatou-se que a magnetização com os campos magnéticos de 200 mT reduziu o teor de CO_3^{2-} em 88,88% quando comparado com a água de abastecimento sem magnetização. Para a água magnetizada com o campo magnético de 300 mT, a concentração de carbonatos diminuiu em 84,72%, enquanto na a água de abastecimento magnetizada com o campo magnético de 400 mT, a redução foi de 83,33%.

A ação dos campos magnéticos interage com os elétrons das substâncias, mudando o spin, carga e orbital. O movimento iônico em meios fluidos faz com que forças magnéticas passem a atuar sobre os íons, sendo considerado por vários pesquisadores um dos principais alvos de atuação desses tipos de forças em diversos modelos experimentais (VASKINA *et al.*, 2020).

Os campos magnéticos podem alterar a estrutura molecular, a condutividade e a polarização, alterando o potencial eletrocinético de partículas carregadas (ZIELINSKI, 2018).

Segundo estudos, a força de Lorentz produzida com campos magnéticos com as intensidades entre 0,05–1 T pode aumentar a probabilidade de colisão dos sais dissolvidos e, assim, produzir o efeito de recombinação dos elétrons (HE *et al.*, 2020). A ação dos campos magnéticos promove a supressão das flutuações do spin dos elétrons, o que está relacionado à

polarização do spin, envolvendo a mudança da direção do spin dos elétrons e núcleos (MESQUITA *et al.*, 2020; PATEL *et al.*, 2020).

4 CONCLUSÕES

O campo magnético 300 mT reduziu a CE das águas deionizada e da água de abastecimento adicionada de sais em 34,31,68% e 20,25% Respectivamente.

O pH da água de abastecimento adicionada de sais magnetizada com o campo magnético de 300 mT diminuiu em 98% ao final do processo de magnetização. Também foi possível constatar reduções no pH da água deionizada magnetizada com o campo de 400 mT em 98% ao longo do tempo de análise.

A absorbância da luz infravermelha da água magnetizada também foi modificada devido à ação dos campos magnéticos sem considerar a da intensidade utilizada.

A magnetização da água reduziu a concentração e cálcio, magnésio, sódio, cloro, carbonatos e carbonatos. No entanto, o conteúdo de potássio aumentou nas diferentes intensidades de campo magnético.

REFERÊNCIAS

- ALKHATIB, R.; ABDO, N.; AL-EITAN, L.; KAFESHA, R.; ROUSAN, A. Impact of magnetically treated water on the growth and development of tobacco (*Nicotiana tabacum* var. Turkish). **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.26, p.1047–1054, 2020.
- AMIRI, M.C.; DADKHAH, A.A. On reduction in the surface tension of water due to magnetic treatment. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 278, p. 252-255, 2006.
- AMOR, H. B.; ELAOUD, A.; HOZAYN, M. Does magnetic field change water pH? **Asian Research Journal of Agriculture**. v.1, p.1-7, 2018.
- APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 21st ed. Washington, 2005
- CHIBOWSKI, E.; SZCZEŚ, A.; HOŁYSZ, L. Influence of magnetic field on evaporation rate and surface tension of water. **Colloids Interfaces**, v.2, p.1-13, 2018.
- DOBRÁNSZKI, J. From mystery to reality: Magnetized water to tackle the challenges of climate change and for cleaner agricultural production. **Journal of Cleaner Production**, v.425, p.1-13, 2023.
- HARTEMINK, A.E., BARROW, N.J. Soil pH - nutrient relationships: the diagram, **Plant Soil**, v.486, p.209–215, 2023.
- HASAANI, A. S.; HADI, Z. L.; RASHEED, K. A. Experimental study of the interaction of magnetic fields with flowing water. **International Journal of Basic and Applied Science**, v.3, p. 1-8, 2015.
- HASSAN, S. M. RAHMAN, R. A. Effects of exposure to magnetic field on water properties and hatchability of *Artemia salina*. **ARPN Journal of Agricultural & Biological Sciences**, v.11, p.1-16, 2016.
- HASSEN, H.B.; HOZAYN, M.; ELAOUD, A.; EL-MONEM, A. A. A. Inference of Magnetized Water Impact on Salt-Stressed Wheat. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v.45, p.4517-4529. 2020.
- HE, X.; YANG, Z.; ZHU, C.; HE, B.; LUO, F.; WEI, P.; ZHAO, W.Y.; WANG, J.F.; SUN, Z.G. Negative differential resistance and unsaturated magnetoresistance effects based on avalanche breakdown. **Journal of Physics: Condensed Matter**, v.32, p.1-8, 2020.
- HOZAYN, M.; AHMED, A. A.; EL-SAADY, A. A.; ABD-ELMONEM, A. A. Enhancement in germination, seedling attributes and yields of alfalfa (*Medicago sativa*, L.) under salinity stress using static magnetic field treatments. **Eurasian Journal of Biosciences**, v.13, p.369-378 2019.
- LI, W.; MA, H.; HE, R.; REN, X.; ZHOU, C. Prospects and application of ultrasound and magnetic fields in the fermentation of rare edible fung. **Ultrasonics Sonochemistry Technology**, v.354, p.149-157, 2019.

MESQUITA, F.; MAGALHAES, S. G.; PUREUR, P.; DIOP, L. V. B.; ISNARD, O. Electrical magnetotransport properties in $R\text{Co}^X12^X\text{B6}$ compounds ($R = \text{Y, Gd, and Ho}$). **Physical Review B**, v.101, p.1-12, 2020.

MGHAIQUINI, R., BENZBIRIA, N., BELGHITI, M. E, BELGHITI H.E., MONKADE M., EL BOUAR, A. Optical properties of water under the action of the electromagnetic field in the infrared spectrum. **Materials Today: Proceedings**, v.30, p.1046-1051, 2020.

PANG X.F., DENG B. Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. **Science China Physics, Mechanics & Astronomy**. v.51, p.1621–1632, 2008.

PANG, X. F.; DENG, B.; HAN, X.; PENG, Y.; MA, Z. Effect of magnetic field on optical features of water and KCl solutions Optik-Int. **International Journal for Light and Electron Optics**, v.127, p.6371-6376, 2016.

PATEL, A. K.; SAMATHAM, S. S.; SURESH, K. G. Critical behavior, universality class and magnetotransport properties of Ni_2MnIn . **Materials Research Bulletin**, v.128, p.1-8, 2020.

PENN, C. J.; CAMBERATO, J. J. A critical review on soil chemical processes that control how Soil pH affects phosphorus availability to plants. **Agriculture**, v.9, p.120, 2019.

RAHMAN, M.A.; LEE, S.H.; JI, H.C.; KABIR, A.H.; JONES, C.S.; LEE, K.W. Importance of mineral nutrition for mitigating aluminum toxicity in plants on acidic soils: current status and opportunities, **International Journal Molecular Sciences**, v.19, p.1-28, 2018.

SRONSRI, C.; U-YEN, K.; SITTIPOL, W. Analyses of vibrational spectroscopy, thermal property and salt solubility of magnetized water. **Journal of Molecular Liquids**, v.323, p.1-10, 2021.

SU, N.; WU, C. Effect of magnetic field treated water on mortar and concrete containing fly ash. **Cement and Concrete Composites**, v.25, p.681-688, 2003.

SUTIYANTI, E.; RACHMAWATI, D. Growth response of rice (*Oryza sativa* L.) plant towards magnetized seawater treatment. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v.724, p.1-7, 2020.

VASKINA, I.; ROI, I.; PLYATSUK, L. VASKIN, R. YAKHNENKO, O. Study of the magnetic water treatment mechanism. **Journal of Ecological Engineering**, v. 21, p. 251-260, 2020.

WANG, Y.; GU, X.; QUAN, J.; XING, G.; YANG, L.; ZHAO, C.; WU, P.; ZHAO, F.; HU, F. HU, Y. Application of magnetic fields to wastewater treatment and its mechanisms: A review. **Science of The Total Environment**, v.773, p.145476, 2021.

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

WU, T.; BRANT, J. A. Magnetic Field Effects on pH and Electrical Conductivity: Implications for Water and Wastewater Treatment. **Environmental Engineering Science**, v.36, p.1-12, 2020.

WU, Z.; MOAYEDI, H.; SALARI, M.; LE, B. N.; DESHRASHID, A. A. Assessment of sodium adsorption ratio (SAR) in groundwater: Integrating experimental data with cutting-edge swarm intelligence approaches **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v.1, p.1-18, 2024.

ZHOU, Q.; QIN, B.; WANG, F.; WANG, H. Experimental investigation on the performance of a novel magnetized apparatus used to improve the dust suppression ability of surfactant. **Powder Technology**. v.354, p.149-157, 2019.

**CAPÍTULO IV: MAGNETIZAÇÃO DE ÁGUA PARA ATENUAÇÃO DE ESTRESSE
SALINO EM FEIJÃO-CAUPI**

RESUMO

A salinidade é um estresse abiótico que impacta o sistema antioxidante da planta, levando ao aumento da formação de lipoperóxidos na membrana e à consequente diminuição da produtividade das culturas. Este estudo tem como objetivo avaliar o cultivo do feijão-caupi quando submetido a um dispositivo confeccionado para realizar a magnetização da água na atenuação do estresse salino. Foram analisadas as variáveis de trocas gasosas o planejamento fatorial ($3 \times 2 \times 2$), com 3 níveis de salinidade aplicados por irrigação (0,38; 2,0 e 4,0 dSm^{-1}), duas formas de tratamento de água (água não magnetizada e água tratada magneticamente com 200 mT) e antes e após a irrigação. Para as análises de prolina e enzimas, o esquema fatorial também foi ($3 \times 2 \times 2$), com os mesmos 3 níveis de salinidade aplicados por irrigação (0,38; 2,0 e 4,0 dSm^{-1}) e duas formas de tratamento de água (água não magnetizada e água tratada magneticamente com 200 mT), mas com três intervalos de irrigação e sete repetições, totalizando 84 unidades experimentais. O delineamento experimental inteiramente casualizado. Foram analisadas a taxa de assimilação de CO_2 , transpiração, condutância estomática, concentração interna de CO_2 , eficiência instantânea no uso da água e eficiência instantânea de carboxilação, atividade enzimática (superóxido dismutase e ascorbato peroxidase, catalase), prolina e produção de grãos. A taxa de assimilação de CO_2 , a transpiração e a condutância estomática foram maiores na após a irrigação, com um aumento de 23,72%, 39,17 % e 36,61% respectivamente. O carbono interno nas plantas irrigadas com água salina de 4,0 dSm^{-1} reduziu 31,58% quando comparado às plantas irrigadas com 0,38 dSm^{-1} e de 35,24% para as plantas irrigadas com 2 dSm^{-1} . A eficiência instantânea do uso da água reduziu em 15,85% após a irrigação. A eficiência intrínseca do uso da água reduziu em 12,86% após a irrigação. A produção de superóxido desmutase nas plantas irrigadas com as águas salinas magnetizadas de 0,38, 2 e 4 dSm^{-1} aumentou em 20,64, 9,16 e 11,23%, respectivamente, quando comparadas com as plantas irrigadas com as mesmas salinidades e sem magnetização. A produção de prolina aos sete dias após a irrigação aumentou 34,94 % nas plantas irrigadas com água salina magnetizada, quando comparadas com as plantas irrigadas com água salina sem magnetização. A produção de ascorbato peroxidase nas plantas irrigadas com águas salinas de 2 dSm^{-1} e 4 dSm^{-1} foi de 37,81 e 31,8%, respectivamente, quando comparados com as plantas de feijão-caupi que foram irrigadas com água com salinidade de 0,38 dSm^{-1} . A produção da enzima catalase foi influenciada pelos teores de sais e pelos intervalos de irrigação, verificando-se que as plantas de feijão-caupi irrigadas com água salina de 4 dSm^{-1} aumentaram a produção da enzima em 31,79% em comparação com as plantas irrigadas com água de salinidade de 0,38

dSm⁻¹. Não houve efeito significativo para o conteúdo de potássio, cálcio, magnésio e sódio. Também não tiveram significância o peso fresco das plantas e raízes, peso seco das plantas e raízes, número de grãos por planta, peso das sementes por planta e comprimento das vargens.

Palavras-chave: qualidade de água, *Vigna unguiculata*, enzimas antioxidantes, produtividade

ABSTRACT

Salinity is an abiotic stress that impacts the plant's antioxidant system, leading to increased formation of lipoperoxides in the membrane and a consequent reduction in crop productivity. The aim of this study was to evaluate cowpea cultivation when subjected to a device designed to magnetize water in order to mitigate salt stress. The gas exchange variables were analyzed using a factorial design (3 x 2 x 2), with 3 levels of salinity applied by irrigation (0.38; 2.0 and 4.0 dSm⁻¹), two forms of water treatment (non-magnetized water and water magnetically treated with 200 mT) and before and after irrigation. For the analysis of proline and enzymes, the factorial scheme was also (3 x 2 x 2), with the same 3 levels of salinity applied by irrigation (0.38; 2.0 and 4.0 dSm⁻¹) and two forms of water treatment (non-magnetized water and water magnetically treated with 200 mT), but with three irrigation intervals and seven repetitions, totaling 84 experimental units. The experimental design was completely randomized. CO₂ assimilation rate, transpiration, stomatal conductance, internal CO₂ concentration, instantaneous water use efficiency and instantaneous carboxylation efficiency, enzyme activity (superoxide dismutase and ascorbate peroxidase, catalase), proline and grain yield were analyzed. The rate of CO₂ assimilation, transpiration and stomatal conductance were higher after irrigation, with an increase of 23.72%, 39.17% and 36.61% respectively. Internal carbon in plants irrigated with 4.0 dSm⁻¹ saline water was reduced by 31.58% compared to plants irrigated with 0.38 dsm⁻¹ and by 35.24% for plants irrigated with 2 dsm⁻¹. Instantaneous water use efficiency fell by 15.85% after irrigation. Intrinsic water use efficiency decreased by 12.86% after irrigation. The production of superoxide dismutase in plants irrigated with magnetized saline waters of 0.38, 2 and 4 dSm⁻¹ increased by 20.64, 9.16 and 11.23%, respectively, when compared to plants irrigated with the same salinities and without magnetization. Proline production at seven days after irrigation increased by 34.94 % in plants irrigated with magnetized saline water when compared to plants irrigated with saline water without magnetization. The production of ascorbate peroxidase in the plants irrigated with saline water of 2 dSm⁻¹ and 4 dSm⁻¹ was 37.81 and 31.8%, respectively, when compared to the cowpea plants that were irrigated with water with a salinity of 0.38 dSm⁻¹. The production of the enzyme catalase was influenced by salt content and irrigation intervals, and it was found that cowpea plants irrigated with saline water of 4 dSm⁻¹ increased their production of the enzyme by 31.79% compared to plants irrigated with saline water of 0.38 dSm⁻¹. There was no significant effect for potassium, calcium, magnesium and sodium content. The fresh weight of

the plants and roots, the dry weight of the plants and roots, the number of grains per plant, the weight of the seeds per plant and the length of the pods were also not significant.

Keywords: water quality, *Vigna unguiculata*, antioxidant enzymes, productivity

1 INTRODUÇÃO

O feijão caupi (*Vigna unguiculata* L.) Walp. é uma espécie vegetal da família *Fabaceae* que contém alto teor de minerais e proteínas, além de baixo teor de lipídios, sendo uma importante fonte de nutrientes utilizada para prevenir a desnutrição em diversos países em desenvolvimento (RENGADU *et al.*, 2020).

O consumo de feijão-caupi tem crescido nas regiões tropicais e subtropicais (KEBEDE & BEKEKO, 2020), especialmente na África, América Latina, parte da Ásia e nos Estados Unidos da América (NARLI & OZCAN, 2022), com grande aporte de proteína para humanos e animais (AMUSA *et al.*, 2021). É normalmente consumido na forma de grãos secos (TOMAZ *et al.*, 2022) ou grãos verdes (AQUINO *et al.*, 2021).

No Brasil, o cultivo do feijão-caupi ocorre tradicionalmente nas regiões Norte e Nordeste, onde é cultivado por pequenos e médios agricultores familiares com baixa tecnologia (MELO *et al.*, 2020). Entretanto, o cultivo do feijão-caupi está se expandindo para outras regiões do país (VALERIANO *et al.*, 2019), como as regiões Centro-Oeste e Sudeste (SORATTO *et al.*, 2020). Os maiores produtores dessa leguminosa são os estados da Bahia, Ceará, Tocantins, Piauí e Mato Grosso (CONAB, 2023).

O cultivo do feijão-caupi no Nordeste brasileiro pode ser limitado pelo regime de chuvas escassas e altas taxas de evapotranspiração. Para atender à demanda hídrica dos cultivos, utiliza-se águas de baixa qualidade para irrigação de plantações. No entanto, o uso de água de baixa qualidade em sistemas de irrigação e solo mal drenado causa uma quebra na estrutura do solo e resulta em compactação, dificultando a infiltração de água, levando a um aumento do lençol freático que induz problemas de salinidade (BAÑÓN *et al.*, 2022).

Na planta, o acúmulo de sais provenientes da água de irrigação provoca desequilíbrio osmótico, citotoxicidade induzida por Na^+ e Cl^- , deficiência nutricional e estresse oxidativo (ABDEL LATEF *et al.*, 2021), que comprometem os rendimentos e a qualidade da produção (ISAYENKOV & MAATHUIS, 2019).

Neste contexto, são necessárias a adoção de estratégias que possibilitem reduzir os danos do estresse salino sobre as plantas e que permitam a utilização dessas águas para a irrigação.

Dentre as estratégias que possibilitam a utilização da água salina está a magnetização, que consiste na passagem da água por um campo magnético, promovendo alterações nas suas características físicas e químicas (JAWAD *et al.*, 2023).

As mudanças na estrutura da água após o processo de magnetização aumentam a água disponível e solubilidade dos elementos nutrientes para a planta, aumentando a taxa de crescimento e desenvolvimento das plantas (SAMARAH *et al.*, 2021). Além disso, promovem a eficiência no uso da água e aumento na produtividade (YUSUF *et al.*, 2020).

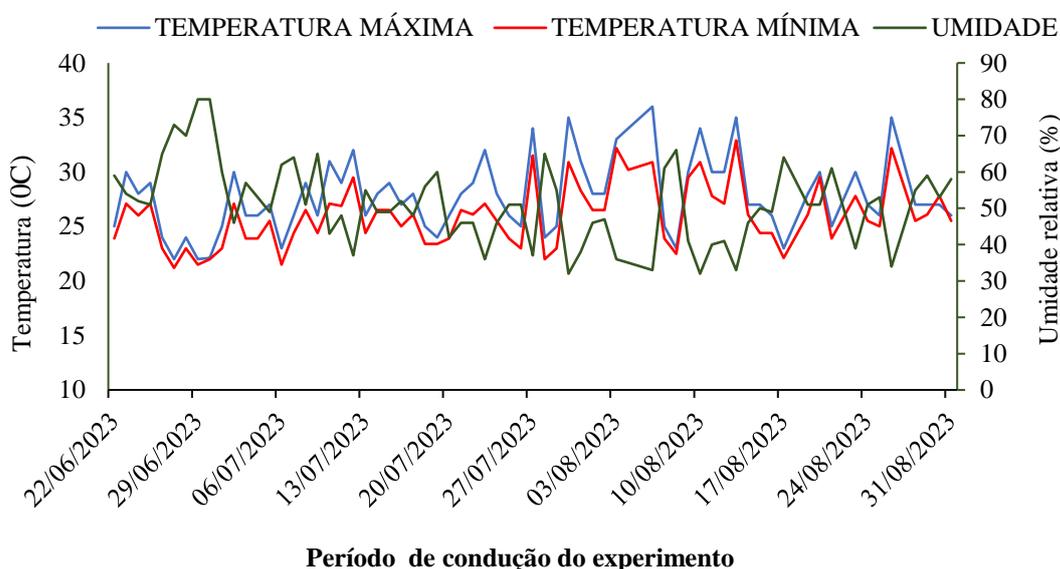
Segundo Putti *et al.* (2023), que estudaram a irrigação da alface (*Lactuca sativa*) com água tratada magneticamente com 386 mT, observaram que a água tratada magneticamente aumentou as concentrações de N^+ e P^+ nas folhas, resultando em maior assimilação de nitrogênio e em plantas com maior número de folhas, incremento no peso fresco e seco, tanto da parte aérea quanto das raízes.

Com base nessas premissas, propõe-se o cultivo do feijão-caupi quando submetido a um dispositivo confeccionado para realizar a magnetização da água, visando à atenuação do estresse salino.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em casa de vegetação pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UAEA/UFCG), situada em Campina Grande, PB, nas coordenadas geográficas de 7° 13' 11'' sul, 35° 53' 31'' oeste e 550 m de altitude. Os dados de temperatura máxima, mínima e umidade relativa do ar, que ocorreram durante a realização desta pesquisa, estão na Figura 1.

Figura 1 - Temperatura máxima, mínima e umidade relativa do ar máxima (durante a execução da pesquisa), Campina Grande, PB.



A cultivar escolhida para este experimento foi de feijão-caupi, variedade BRS Guariba. Para as variáveis de trocas gasosas, utilizou-se um esquema fatorial 3 x 2 x 2, que corresponde a três tipos de água de irrigação: água de abastecimento, água salina com 2 e 4 dSm⁻¹, submetidas a duas intensidades de campo magnéticos 0 e 200 mT e duas avaliações de trocas gasosas. Para as variáveis de prolina e enzimas, o esquema fatorial foi de 3 x 2 x 3, referentes à água de abastecimento, água salina com 2 e 4 dSm⁻¹, duas intensidades de campos magnéticos e três avaliações.

Os tratamentos foram distribuídos em delineamento experimental inteiramente casualizado, com sete repetições, totalizando 84 unidades experimentais. As plantas foram conduzidas em vasos plásticos preenchidos com 22 Kg de solo. Na parte inferior de cada vaso, foi colocada uma camada de aproximadamente 3,0 cm de brita para evitar a obstrução do dreno pelo solo. Um dreno foi instalado na parte inferior do vaso e acoplado a um recipiente plástico com capacidade de 2,0 L para coletar a água de drenagem.

Os vasos foram preenchidos com solo franco arenoso coletado no município de Santa Luzia, região localizada no central-norte do Estado da Paraíba, cuja fertilidade e salinidade foram determinadas em laboratório, conforme metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017), apresentada na Tabela 1.

Antes da semeadura, a umidade do solo estava próxima da capacidade de campo por meio do método de saturação seguido de drenagem. A semeadura consistiu na distribuição de cinco sementes por vaso, equidistantes, com profundidade de 2 cm. No 6º dia após a emergência, foi realizado o desbaste, deixando duas plantas por vaso. A adubação do solo ocorreu de acordo com a metodologia de Cavalcanti *et al.* (2008).

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento, determinados no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS/UAEA/UFCG), Campina Grande, PB.

Granulometria			Densidade do solo (g cm ⁻³)	Porosidade (%)	P. matriciais (atm)	Umidade (%)	Água disponível (%)
Areia	Silte	Argila					
.....(%).....					0,10		
81,38	16,26	2,36	1,37	48,11		0,43	8,38
Classificação					15,00		
Areia franca							

CTC a pH 7,0; Extração: Água (pH); Mehlich (P, K, Na); KCl 1N (Ca, Mg e Al); Acetato de Cálcio pH 7,0 (H + Al).

2.1 Preparação das águas salinas para a irrigação

Para atingir os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (2,0 e 4,0 dS m⁻¹), os sais foram dissolvidos na proporção 7:2:1 de NaCl (cloreto de sódio), CaCl₂ (cloreto de cálcio) e MgCl₂ (cloreto de magnésio) na água de abastecimento (CEa = 0,38 dS m⁻¹). Esta proporção de sais é comumente encontrada nos corpos hídricos do Nordeste brasileiro (MEDEIROS, 1992).

Na preparação das águas salinas para a irrigação, seguiu-se a metodologia de Richards (1954), conforme a Eq. 1:

$$Q = 10 \times CEa \quad (1)$$

Onde:

Q - quantidade de sais (mmolc L⁻¹)

CEa - condutividade elétrica da água de irrigação (dS m⁻¹).

Aos 8 dias após a germinação, iniciou-se a irrigação com as águas salinas, com quantidade de água a ser aplicada calculada de acordo com a área do vaso.

2.2 Descrição do equipamento para o tratamento magnético da água

O magnetizador, denominado AMAI, foi construído utilizando recipientes de polietileno de alta densidade com a capacidade de 50 L, apresentando as seguintes dimensões: 56 cm altura, 39 cm comprimento e 32 cm largura. Também foram utilizados ímãs de magnetron de micro-ondas de 64 mm, canúites com o diâmetro de $\frac{3}{4}$, largura de 50 mm, espessura de 3 mm, cano de 40 mm para a passagem da água, bomba de 800 watts de potência, com pHmetro e condutivímetro acoplados na estrutura do magnetizador.

2.3 Trocas gasosas

As análises de trocas gasosas foram realizadas duas avaliações de trocas gasosas, afim de verificar o efeito atenuante da água magnetizada dos danos do estresse salino. A primeira foi realizada em 29 de julho de 2023 (antes da irrigação das plantas), que ocorreu no período da manhã, iniciando às 07:34 se estendendo até às 13h46. A segunda avaliação aconteceu no dia 31 de julho de 2023 (após a irrigação das plantas), também ocorreu no período da manhã começando às 07:24 e finalizando às 10h21. Foram coletados os dados de assimilação de carbono (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-1} \text{ s}^{-1}$), carbono interno (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), condutância estomática (g_s) ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), e eficiência instantânea do uso da água (EUA) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1})$]. Também foram estimados a eficiência instantânea da carboxilação (EiC) = (A/C_i) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})$] e a eficiência intrínseca do uso da água ($EiUA$) = (A/g_s) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1})$].

As avaliações de trocas gasosas, foi realizada nas folhas completamente expandidas, na porção mediana da planta, com auxílio do analisador de gás infravermelho - IRGA (Infra-red Gas Analyzer) – modelo Licor 6800.

2.4 Prolina e enzimas

As análises de enzimas e prolina foram realizadas no Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas (ECOLAB) da Universidade Estadual da Paraíba. Para a determinação de

prolina e das enzimas superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, foram realizadas três coletas dos tecidos vegetais: a primeira ocorreu no dia 01 de agosto, a segunda no dia 03 de agosto, e a terceira no dia 05 de agosto de 2023.

A concentração de prolina livre foi determinada pelo método colorimétrico, proposto por Bates *et al.* (1973). Foram pesados 0,25 g de tecido foliar fresco e macerados em ácido sulfossalicílico a 3% (5 mL), centrifugado a 2000 rpm por 10 min. Depois, o sobrenadante foi retirado e armazenado em tubos para centrífuga de 2 mL para posterior determinação da concentração de prolina. Na sequência, tubos de ensaio rosqueáveis foram usados para adição da mistura: extrato + ninhidrina ácida + ácido acético glacial, na proporção 1:1:1 (volume total 3 mL). Após a mistura, os tubos ficaram em banho-maria por 1 h a 100 °C para o desenvolvimento da cor rosa/vermelha (dependendo da concentração de prolina no extrato).

Os mesmos tubos foram resfriados em banho de gelo para estabilizar a reação, e, posteriormente, foram adicionados 2 mL do reagente tolueno. Na sequência, os tubos foram agitados em vórtex por 20 s e mantidos em repouso por 10 min, até a separação da solução em duas fases (cromóforo e translúcida). A leitura do sobrenadante ocorreu em espectrofotômetro (520 nm), usando tolueno puro como branco para zerar o aparelho.

2.5 Superóxido dismutase (SOD)

A atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) foi determinada com base na capacidade de inibição da fotorredução do cloreto de nitrotetrazólio azul (NBT) pela enzima presente no extrato vegetal. Alíquotas de 50 µL do extrato enzimático foram adicionadas em tubos de ensaio protegidos da luz (tubos cobertos com material na cor preta), contendo o meio de reação (1,5 mL), composto por tampão fosfato de potássio (100 mM, pH 7) e acrescido de EDTA (0,1 mM), metionina (13 mM), e NBT (75 µM). A reação foi iniciada pela adição de riboflavina (7 µM).

Após um período de 15 min, foi realizada as leituras do branco da reação (branco do escuro) e as amostras foram transferidas para tubos transparentes alocados em uma caixa de reação vedada, com iluminação interna (35 watts) e temperatura ambiente, por 15 min. Posteriormente, as leituras do branco do claro foram realizadas (os quais representam 100% da redução do NBT). Todas as leituras das soluções foram realizadas com espectrofotômetro regulado em 560 nm de absorvância (BEAUCHAMP & FRIDOVICH, 1971).

2.6 Catalase (CAT)

A atividade da enzima catalase (CAT) foi quantificada de acordo com Kar & Mishra (1976), sendo definida com base no consumo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) pela enzima presente no extrato. A reação foi iniciada após a adição do extrato enzimático (150 µL) na cubeta de quartzo, contendo o meio de reação (2,95 mL), composto por tampão fosfato de potássio (50 mM com pH 7) e acrescido de peróxido de hidrogênio (20 mM). Após uma leve agitação, a solução foi levada ao espectrofotômetro, regulado em 240 nm, cujos decréscimos da absorbância foram observados durante 2 min, com leituras realizadas a cada 10 s. Os valores foram calculados pela equação de Lambert-Beer (Eq. 2).

$$A = \varepsilon * b * c \quad (2)$$

Onde:

A - diminuição da absorbância (média em triplicata);

ε - coeficiente de extinção molar (39,4 mol⁻¹cm⁻¹);

b - comprimento do caminho óptico (1 cm);

c - concentração da enzima expressa em mol L⁻¹.

2.7 Ascorbato peroxidase (APX)

A atividade da enzima APX foi calculada com base no consumo do ascorbato, através do monitoramento do decréscimo da absorbância a 290 nm em cubeta de quartzo. Foram misturados 100 µL de extrato enzimático ao meio de reação (2,7 mL), composto por tampão fosfato de potássio (50 mM e pH 6,0) e acrescido de ácido ascórbico (0,8 mM). A reação teve início após a adição de 200 µL de peróxido de hidrogênio (2 mM), a qual foi monitorada pelo decréscimo da absorbância durante 1 min, com a realização das leituras a cada 10 s. Posteriormente utilizou-se a equação de Lambert-Beer para calcular a ascorbato peroxidase (NAKANO & ASADA, 1981).

2.8 Análise foliar

As análises de determinação de cálcio e magnésio foram realizadas no Laboratório de Análise Folia da Universidade Federal de Lavras /UFLA. Para esta análise, utilizou-se 5 plantas de cada tratamento.

As amostras foram lavadas por alguns segundos com água de torneira e, em seguida, enxaguadas três vezes consecutivas com água destilada. Após as lavagens, as folhas foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura de 65 a 70 °C, até alcançarem peso constante. Posteriormente, as folhas foram moídas em moinho de aço inoxidável (para evitar contaminação com Fe, Zn e Cu) e passando em peneiras de 1mm de malha ou de 20 mesh. As amostras foram armazenadas em frascos de vidro com tampa plástica, devidamente identificadas.

2.9 Determinação de cálcio e magnésio

Para a extração, foram pesadas 5g da amostra no tubo de digestão e adicionados 6 mL da mistura de ácido nítrico (HNO_3) e ácido perclórico (HClO_4) na proporção de 2:1 (v/v). Em seguida, as amostras foram levadas para um bloco digestor, aumentando gradativamente a temperatura até 160 °C, onde permaneceram nessa temperatura até o volume ser reduzido pela metade (cerca de 40 min). Depois, a temperatura foi aumentada para 210 °C, permanecendo até a ocorrência de fumos brancos de HClO_4 e o extrato se apresentar incolor (cerca de 20 min). Após o resfriamento, foram adicionados 15 mL de água destilada ao extrato, e, logo em seguida, pesou-se o volume final.

Para a solução estoque de cálcio (1000 mg/L de cálcio), utilizou-se o titrisol para diluir o padrão de Ca em 1000 mL de água destilada.

A solução estoque de magnésio (1000 mg/L de magnésio) foi preparada da mesma forma, utilizando-se o titrisol para diluir o padrão de Mg em 1000 mL de água destilada.

Em seguida, foram diluídas as soluções estoque para 100 mg/L de cálcio e magnésio em água destilada. Depois, foram pipetados 0,0; 2,0; 4,0; 6,0; 10,0 e 16,0 mL da solução estoque de Ca (100mg/L) e 0,0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,0 e 1,5 mL da solução estoque de Mg (100mg/L) em balões volumétricos de 100 mL, acrescentou-se 5mL da solução de óxido de lantânio 5%, completando o volume com água deionizada.

O volume foi pesado em balança analítica com quatro casas decimais. Essas soluções contêm, respectivamente, 0,0; 2,0; 4,0; 6,0; 10,0 e 16,0 mg/L ou mg/Kg de Ca e 0,0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,0 e 1,5 mg/L ou mg/Kg de K.

Como a densidade de soluções aquosas diluídas é próxima de 1,0g/mL, utilizou-se aproximadamente 1g de água para cada 1mL (HARRIS, 2001).

Para a solução de óxido de lantânio 5%, em balão volumétrico de 1000 mL, foram acrescentados cerca de 250mL de água deionizada, 58,5g de óxido de lantânio (La_2O_3) e 125

mL de HCl concentrado, e o volume foi completado com água deionizada. Em seguida, foram pipetados 0,5mL do extrato nitro-perclórico, aos quais foram acrescentados 22,0 mL de água destilada e 2,5 mL da solução de lantânio a 5%, homogeneizando a mistura. A curva analítica foi construída por meio das soluções padrão. E, em seguida, foram feitas as leituras das amostras (Fator de diluição = $25/0,5 = 50$) (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

2.10 Teor de potássio

Para a extração, foram pesados 0,5 g da amostra no tubo de digestão e adicionados 6 mL da mistura de ácido nítrico (HNO_3) e ácido perclórico (HClO_4) na proporção de (2:1 v/v). Em seguida, foram levados para bloco digestor, aumentando gradativamente a temperatura até 160 °C, permanecendo nessa temperatura até que o volume fosse reduzido à metade (cerca de 40 min). Posteriormente, aumentou-se a temperatura para 210 °C até ocorrer a formação de fumos brancos de HClO_4 e o extrato apresentar-se incolor (cerca de 20 min). Deixou-se esfriar e logo em seguida foi adicionado 18 mL de água destilada e pesar o volume final.

Para a solução estoque de potássio (1000 mg/Kg de potássio), foram dissolvidos 1,907 g de KCl P.A., seco previamente em estufa a 100 °C por 2 h, em água destilada, completando-se para 1000 mL com uma ampola titrisol.

Para a solução de trabalho, foram preparados 200 mL de solução, pesando-se 0; 0,6; 1,2; 2,4; 3,2 e 4 g da solução estoque de potássio (1000 mg/Kg) e pipetando-se 1,6 mL de HClO_4 , e o volume foi completado com água destilada. Essas soluções contêm, respectivamente, 0,0; 3,0; 6,0; 12,0; 16,0 e 20,0 mg/Kg de K. Para a correção das fórmulas, usa-se $CV = C'V'$. Como a densidade de soluções aquosas diluídas é próxima de 1,0 g/mL, foi utilizado 1 g de água para 1 mL (HARRIS, 2001).

O estoque de lítio (5000 mg/Kg), foram dissolvidos 49,67 g de nitrato de lítio seco previamente em estufa (100 °C) e completou-se com 1000mL de água destilada.

A solução de trabalho de lítio, foram utilizados 26 mL da solução estoque de lítio em 1000 mL de água destilada.

Foi Pipetado 0,5 mL do extrato nitro-perclórico e acrescentou-se 2 mL de água destilada e 10 mL da solução trabalho de lítio. Calibrou-se o fotômetro com os padrões 0 e 20 mg/Kg, respectivamente para 0 e 100 (Fator de diluição = $12,5/0,5 = 25$) (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

2.11 Teor de sódio

A determinação de sódio foi realizada diretamente no extrato obtido por solubilização nítrico-perclórica. O fotômetro foi calibrado com os padrões 0 e 10 mgL⁻¹ de Na, respectivamente, para as leituras de 0 e 100. As leituras (E. 3) foram realizadas quando o aparelho estabilizou as leituras da curva padrão, permitindo a obtenção da respectiva equação e das leituras das amostras (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

$$\begin{aligned} &\text{Cálculo para determinação de sódio} \\ \text{Na g kg}^{-1} &= \text{leitura em mg L}^{-1} \times 50 \quad (3) \end{aligned}$$

2.12 Massa fresca e seca das plantas de feijão caupi e produção de sementes

No final do ciclo da cultura, 68 dias após o semeio, foi quantificado o número de grão por planta (g) por meio de contagem direta e, posteriormente, foi mensurado o peso das sementes produzidas por planta com uso de uma balança de precisão. Também foi avaliado o comprimento das vargens com a utilização com fita métrica graduada.

Após a retirada das plantas de feijão-caupi dos vasos, foi realizada a medição do peso fresco das plantas e das raízes com o uso de balança de precisão. As folhas e as raízes foram colocadas em sacos de papel devidamente identificados, os quais foram levados para estufa de ventilação a uma temperatura de 70 °C por um período de 72 h. Após esse período, foram realizadas as medidas dos pesos secos, também com a utilização de uma balança de precisão.

2.13 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância do teste F. A significância dos tratamentos foi determinada pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo o resumo da análise de variância (Tabela 2), constata-se que o intervalo de irrigação influenciou de forma significativa ($p \leq 0,01$) todas as variáveis analisadas, exceto a concentração interna de CO_2 (C_i), que foi afetada pela salinidade da água de irrigação. Além disso, a eficiência instantânea da carboxilação (EiC) não apresentou significância entre os fatores analisados nas plantas de feijão-caupi cv. BRS Guariba, irrigadas com água salina magnetizada.

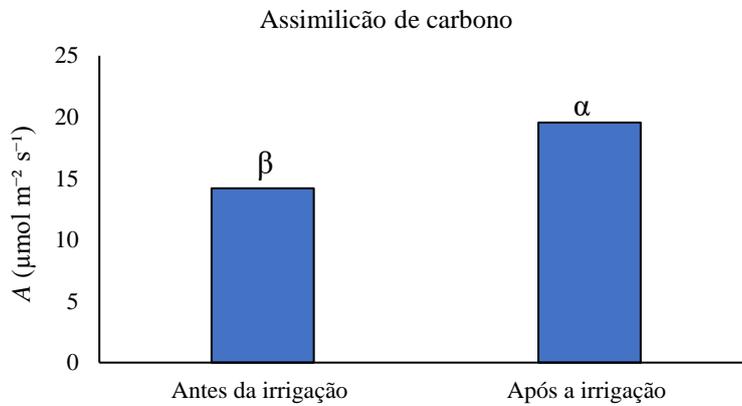
Tabela 2 - Resumo da análise de variância relacionado taxa de assimilação de CO_2 (A), transpiração (E), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i), eficiência instantânea no uso da água (EUA), eficiência instantânea da carboxilação (EiC), eficiência intrínseca do uso da água ($EiUA$) nas plantas de feijão-caupi cv. Guariba irrigadas com água salina magnetizada.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios						
		A	E	g_s	C_i	EiC	EUA	$EiUA$
Salinidade (AS)	2	34,4 ^{ns}	0,65 ^{ns}	2107,9 ^{ns}	11125,5 ^{**}	0,04 ^{ns}	2,4 ^{ns}	0,0012 ^{ns}
Campo (CM)	1	4,5 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1040,2 ^{ns}	181,6 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,7 ^{ns}	0,0004 ^{ns}
Intr.Irrigação (II)	1	610,1 ^{**}	15,5 ^{**}	36171,5 ^{**}	5,0 ^{ns}	0,07 ^{ns}	62,9 ^{**}	0,015 ^{**}
(AS)*(CM)	2	5,5 ^{ns}	0,28 ^{ns}	570,6 ^{ns}	447,3 ^{ns}	0,005 ⁿ _s	1,2 ^{ns}	0,0005 ^{ns}
(AS)*(II)	2	12,9 ^{ns}	0,08 ^{ns}	722,8 ^{ns}	1303,9 ^{ns}	0,006 ⁿ _s	0,2 ^{ns}	0,0005 ^{ns}
(CM)*(II)	1	27,9 ^{ns}	0,34 ^{ns}	1377,8 ^{ns}	2161,9 ^{ns}	6,45 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,0002 ^{ns}
(AS)*(CM)*(II)	2	20,9 ^{ns}	0,66 ^{ns}	2226,5 ^{ns}	1088,7 ^{ns}	0,015 ⁿ _s	3,9 ^{ns}	0,0023 ^{ns}
Resíduo	73	20,9	0,28	1109,2	1072,7	0,009	0,9	0,0006
CV (%)		26,9	30,39	36,08	36,16	44,84	9,11	11,88

ns, *, **Respectivamente não significativo, significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$; CV - Coeficiente de variação.

A taxa de assimilação de CO_2 (A) das plantas de feijão-caupi (Figura 2) aumentou após a irrigação, com a taxa de assimilação de $19,56 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, correspondendo a um aumento de 23,72% quando comparado com a A antes da irrigação, que foi de $14,92 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

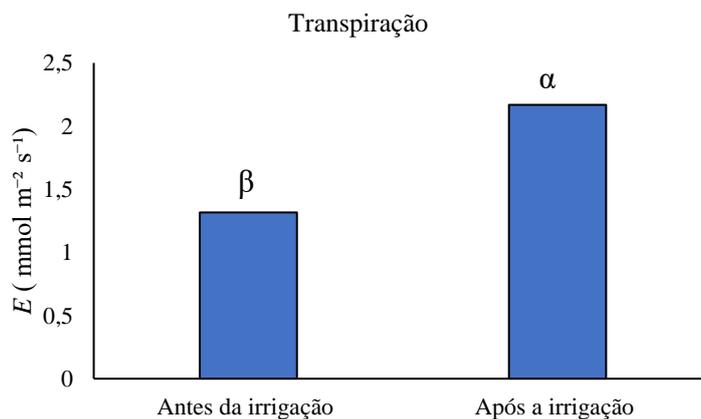
Figura 2 - A taxa de assimilação de CO₂ (*A*) nas folhas de feijão-caupi cultivar BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.



A letra grega compara o efeito dos intervalos de irrigação dentro de cada salinidade e campo magnético.

A Transpiração (*E*) das plantas de feijão-caupi (Figura 3) antes da irrigação foi de 1,32 mmol m⁻² s⁻¹, enquanto que após a irrigação a transpiração das plantas foi de 2,17 mmol m⁻² s⁻¹, com um incremento de 39,17 % na transpiração das plantas após a irrigação.

Figura 3 - Transpiração (*E*) das folhas de feijão-caupi cultivar BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.



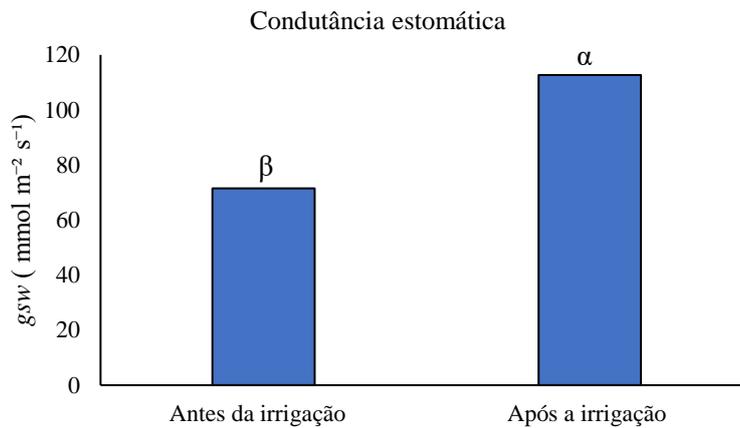
A letra grega compara o efeito dos intervalos de irrigação dentro de cada salinidade e campo magnético.

A redução da taxa de assimilação de CO₂, a queda da transpiração e limitação na condutância estomática antes da irrigação ocorrem devido à diminuição do teor de água no solo, que pode diminuir o conteúdo de água nas folhas, que em consequência ocorre a perda de turgor levando ao fechamento estomático (PARKASH & SINGH 2020). Com a diminuição do

conteúdo interno de água, uma das primeiras respostas da planta é o fechamento dos estômatos, reduzindo a condutância estomática (NUNES *et al.*, 2022).

A condutância estomática (g_s) (Figura 4) aumentou em 36,61% após a irrigação, com $112,8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, enquanto antes da irrigação a condutância estomática foi de $71,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

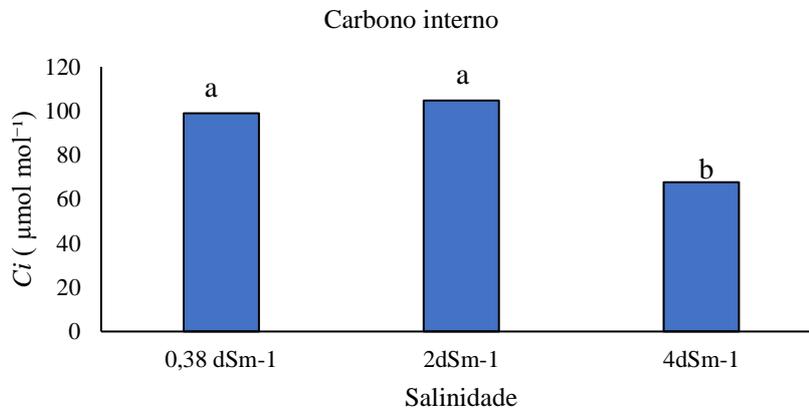
Figura 4 - Condutância estomática (g_s) folhas de feijão-caupi cultivar BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.



A letra grega compara o efeito dos intervalos de irrigação dentro de cada salinidade e campo magnético.

O carbono interno (C_i) nas folhas de feijão-caupi (Figura 5) foi afetado pela salinidade da água de irrigação, onde as plantas irrigadas com a salinidade de $0,38 \text{ dsm}^{-1}$ e 2 dsm^{-1} tiveram uma concentração interna de carbono de $99,1$ e $104,71 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$, respectivamente. Entretanto, para as plantas irrigadas com a salinidade de 4 dsm^{-1} , o carbono interno reduziu para $67,8 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$, o que representa uma redução de 31,58% quando comparado às plantas irrigadas com $0,38 \text{ dsm}^{-1}$ e de 35,24% para as plantas irrigadas com 2 dsm^{-1} . A redução do carbono interno nas folhas de feijão-caupi deve-se ao fechamento estomático induzido pelo estresse salino (BAWA *et al.*, 2023).

Figura 5 - Carbono interno (C_i) folhas de feijão-caupi cultivar BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.



A letra minúscula compara o efeito dos sais dentro de cada intervalo de irrigação e campo magnético.

Para Praxedes *et al.* (2022), ao avaliar o efeito da salinidade sobre diferentes variedades de feijão-caupi, constatou-se que a cultivar Guariba é suscetível aos danos do estresse salino quando irrigada com água salina 4,5 dSm⁻¹. O estresse salino promove a redução da condutância estomática, limita a entrada de CO₂ e a concentração interna de CO₂, diminuindo a absorção de água e a transpiração (SÁ *et al.*, 2018).

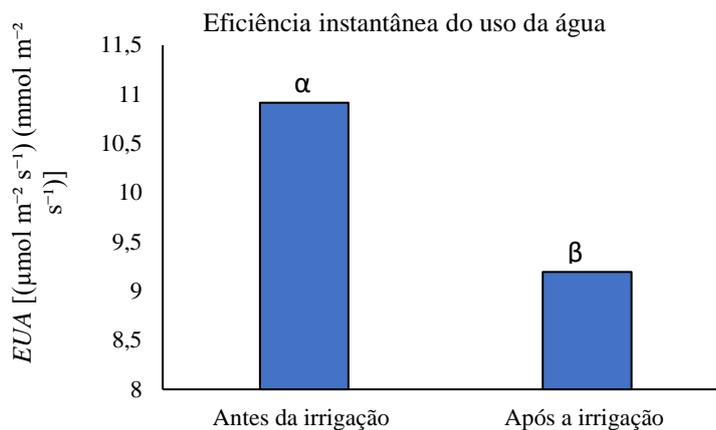
A eficiência instantânea do uso da água (*EUA*) quantifica a taxa de absorção de carbono por unidade de água evaporada, tendo efeito direto na absorção da água, nutrientes e fixação de carbono (DAVIDSON *et al.*, 2023). Observa-se que *EUA* (Figura 6) foi maior antes da irrigação com 10,92 [(μmol m⁻² s⁻¹) (mmol m⁻² s⁻¹)], enquanto que, após a irrigação, a *EUA* encontrada foi de 9,19 [(μmol m⁻² s⁻¹) (mmol m⁻² s⁻¹)], com uma redução de 15,85%. Segundo Chaves e Oliveira (2004), com a diminuição da disponibilidade de água, a condutância estomática decresce mais rápido do que a assimilação fotossintética do carbono, o que causa elevação na eficiência no uso da água.

A eficiência do consumo de água é uma das características fisiológicas importantes pois, determina à capacidade da planta de tolerar a escassez de água. Segundo Baradaran-Hezaveh *et al.* (2025) o feijão-caupi não tolera escassez de água sob irrigação, com a limitação do consumo de água ocorre a diminuição do rendimento, conseqüentemente, a eficiência do uso da água aumenta.

Observa-se que a eficiência intrínseca do uso da água (*EiUA*) (Figura 7) também foi maior antes da irrigação (0,20 [(μmol m⁻² s⁻¹) (mmol m⁻² s⁻¹)]). Após a irrigação, *EiUA* reduziu em 12,86%. (0,180108 [(μmol m⁻² s⁻¹) (mmol m⁻² s⁻¹)]). Estas reduções tanto da *EUA* quanto

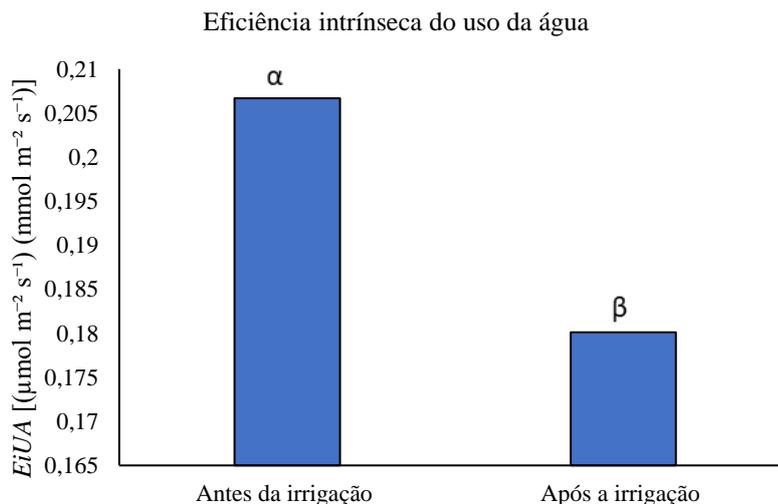
da *EiUA* podem ser atribuídas a escassez de água que limita a abertura estomática, reduzir as atividades protoplasmáticas, estabilizar o dióxido de carbono e reduzir a síntese de proteína e clorofila, restringindo a fotossíntese, resultando na redução do crescimento (SOUZA 2021).

Figura 6 - Eficiência instantânea do uso da água (*EUA*) folhas de feijão-caupi cultivar BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.



A letra grega compara o efeito dos intervalos de irrigação dentro de cada salinidade e campo magnético.

Figura 7 - Eficiência intrínseca do uso da água (*EiUA*) folhas de feijão-caupi cultivar BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.



A letra grega compara o efeito dos intervalos de irrigação dentro de cada salinidade e campo magnético.

De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 3), houve interação entre a salinidade a água de irrigação, os campos magnéticos e os intervalos de irrigação, que influenciou de forma significativa ($p \leq 0,01$) a produção de SOD, enquanto que a produção de

prolina foi afetada pela a interação entre o campo magnético e o intervalo de irrigação as plantas de feijão-caupi cv. BRS Guariba, irrigadas com água salina magnetizada.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância referente à produção de enzima duperóxido desmutase (SOD), prolina (PRO), nas plantas de feijão-caupi cv. BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios	
		SOD	Prolina
Salinidade (AS)	2	66,995514 ^{ns}	302,395117 ^{ns}
Campo (CM)	1	364,990496 ^{ns}	3700,234096 ^{ns}
Int. Irrigação (II)	2	32803,634636 ^{**}	73304,347552 ^{**}
(AS)*(CM)	2	179,321956 ^{ns}	1150,622839 ^{ns}
(AS)*(II)	4	1283,718107 ^{**}	101,480655 ^{ns}
(CM)*(II)	2	1064,119391 ^{**}	4330,953356 ^{**}
(AS)*(CM)*(II)	4	3333,608258 ^{**}	1027,168434 ^{ns}
Resíduo	108	183,565625	778,659561
CV (%)		29,26	84,10

ns, *, **Respectivamente não significativo, significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$. CV: Coeficiente de variação.

A salinidade da água de irrigação, o campo magnético e a irrigação afetaram a produção da enzima SOD (Figura 8). Na análise realizada nas plantas de feijão-caupi logo após a irrigação com água salina de $0,38 \text{ dSm}^{-1}$ sem magnetização, as plantas produziram $49,27 \text{ UA/gMF}$. Em comparação, as plantas irrigadas com água de mesma salinidade, mas magnetizada, produziram $24,81 \text{ UA/gMF}$, ou seja, as plantas irrigadas com água salina sem magnetização produziram $50,34\%$ mais SOD quando comparado com as plantas irrigadas com água de mesma salinidade com magnetização.

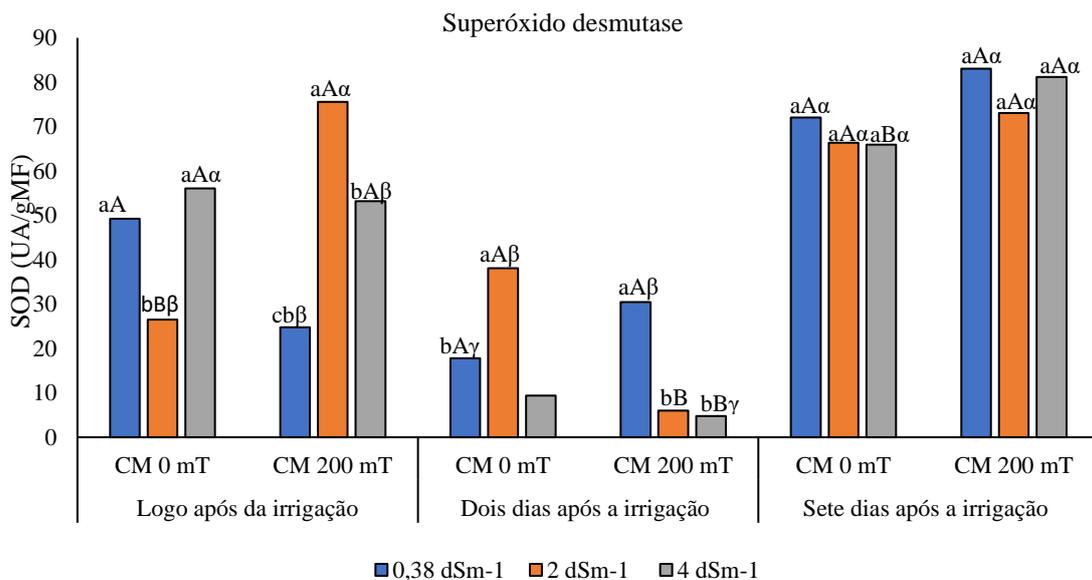
No entanto, para as plantas irrigadas com água salina de 2 dSm^{-1} e magnetizada, houve uma produção de 35% mais enzima SOD, com uma produção de $75,58 \text{ UA/gMF}$ já as plantas irrigadas com água salina 2 dSm^{-1} sem magnetização produziram $26,51 \text{ UA/gMF}$. As plantas irrigadas com água salina de 4 dSm^{-1} e magnetizada a produção da enzima SOD foi de $53,22 \text{ UA/gMF}$, para as plantas irrigadas com água de mesma salinidade e sem magnetização, a produção foi de $56,05 \text{ UA/gMF}$, com um incremento de $5,05\%$ na produção da enzima para as plantas irrigadas com água salina sem magnetização.

Na avaliação realizada dois dias após a irrigação, observou-se que a produção da enzima SOD as plantas irrigadas com as salinidades de 2 dSm^{-1} e magnetizada produziu $5,99 \text{ UA/gMF}$, enquanto as plantas irrigadas com água de 4 dSm^{-1} e magnetizada produziram $4,79 \text{ UA/gMF}$. Já as plantas de feijão-caupi irrigadas com 2 e 4 dSm^{-1} , ambas sem magnetização, produziram $38,12 \text{ UA/gMF}$ e $9,38 \text{ UA/gMF}$ respectivamente. Logo, constata-se que as plantas de feijão-

caupi irrigadas sem magnetização produziram mais SOD. Ao comparar as plantas irrigadas com a salinidade de 2 dSm⁻¹ sem magnetização produziram 84,28 % mais SOD do que as plantas irrigadas com a água salina magnetizada. Já as plantas irrigadas com a água de salinidade de 4 dSm⁻¹ sem magnetização produziram 48% mais SOD do que as plantas irrigadas com água de mesma salinidade magnetizada.

Na avaliação realizada nas plantas sete dias após a irrigação, constatou-se que aquelas irrigadas com água magnetizada aumentaram a produção de SOD, independentemente da concentração de sais da água de irrigação. As plantas irrigadas com as águas salinas de 0,38, 2 e 4 dSm⁻¹, apresentaram aumento na produção de SOD de 20,64, 9,16 e 11,23%, respectivamente, quando comparadas com as plantas irrigadas com as mesmas salinidades e sem magnetização.

Figura 8 - Produção de SOD nas folhas de feijão-caupi variedade BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.



A letra minúscula diferencia o efeito dos campos magnéticos dentro de cada salinidade e os intervalos de irrigação, enquanto que, a letra maiúscula refere-se à ação da salinidade dentro de cada campo magnético e os intervalos de irrigação. Já a letra grega compara o efeito das dos intervalos de irrigação dentro de cada salinidade e campo magnético.

A enzima de SOD é considerada a primeira na linha de defesa para minimizar o estresse oxidativo, sua atividade aumentou nas plantas irrigadas com água salina magnetizada. No entanto, Putti *et al.* (2024) observaram que, ao estudar o efeito da irrigação com água magnetizada com um campo magnético de 386 mT nas plantas de tomate, a atividade da SOD

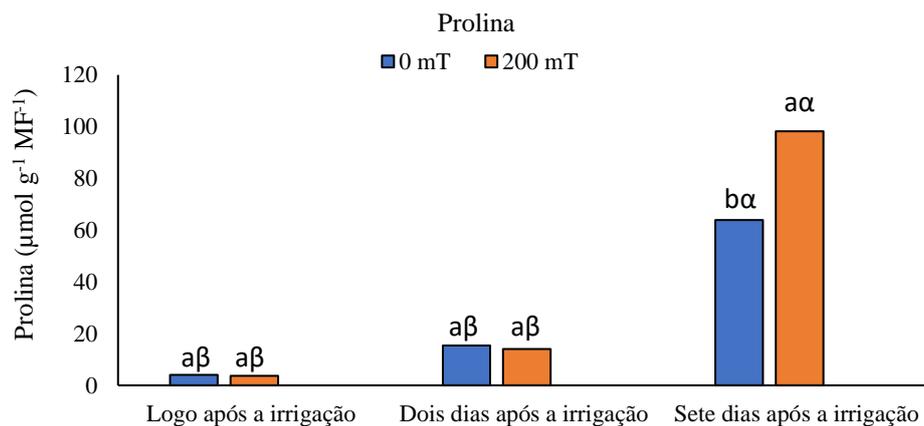
foi menor em plantas irrigadas com água magnetizada em comparação com aquelas irrigadas com altos teores de sais sem magnetização.

Para Gao *et al.* (2017), ao avaliar o cultivo de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) em sistemas hidropônicos com as soluções salinas (0, 100 and 200 mM NaCl) e magnetizadas com as seguintes intensidades: 0, 100, 300 e 500 mT, constataram que a magnetização da solução hidropônica na intensidade de 300 mT aumentou significativamente a atividade de superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD) e o teor de prolina comparado ao controle.

As atividades das enzimas podem ser alteradas por exposição aos campos magnéticos. Além de alterar a estrutura da enzima, um campo magnético externo pode alterar a energia cinética dos elétrons desemparelhados envolvidos na atividade catalítica da enzima, que afetam as reações químicas e bioquímicas (EMAMDADI *et al.*, 2021).

A produção de prolina foi afetada significativamente pelo campo magnético o intervalo de irrigação (Figura 9), observa-se, que sete dias após a irrigação, que as plantas irrigadas com água magnetizada registraram uma produção de prolina com maior teor ($98,16 \mu\text{mol g}^{-1} \text{MF}^{-1}$), que representa um aumento de 34,94 % em relação às plantas irrigadas com água salina magnetizada, quando comparadas com as plantas irrigadas com água salina sem magnetização que produziram $63,87 \mu\text{mol g}^{-1} \text{MF}^{-1}$.

Figura 9 - Produção de prolina nas folhas de feijão-caupi variedade BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.



A letra minúscula diferencia o efeito dos campos magnéticos dentro de cada salinidade e os intervalos de irrigação, Já a letra grega compara o efeito dos intervalos de irrigação dentro de cada salinidade e campo magnético.

O acúmulo de prolina ocorre em resposta ao estresse salino, permitindo a absorção de água da zona radicular devido à diferença de potencial gerada (YALDIZ & CAMLICA, 2021).

O aumento na produção de prolina nas plantas de feijão-caupi que foram irrigadas com água magnetizada ocorre devido as alterações nas propriedades físicas da água que pode afetar as estruturas químicas e físicas dos metabólitos polares aumentando a sua disponibilidade (SESTILI *et al.*, 2023).

Para Elhindi *et al.* (2020), as plantas irrigadas com água magnetizada têm maior capacidade de tolerar o estresse salino, pois geram mais fitohormônio, açúcar solúvel, aminoácidos, e prolina livre, em comparação com as plantas irrigadas com água não tratada.

Em estudos realizados por Sary (2021), que avaliou o efeito da água salina magnetizada na irrigação do feijão-caupi, as plantas foram irrigadas com águas com as seguintes salinidades: (3,14, 6,25 e 9,37 dSm⁻¹), sendo magnetizadas com um campo magnético de 1500 mT. O autor constatou que o teor de prolina aumentou nas plantas que foram irrigadas com água magnetizada, independentemente da concentração de sais dissolvidos na água de irrigação.

No entanto, no estudo realizado por Khosrojerdi *et al.* (2023), ao irrigar plantas de *Salvia virgata* com água salina (0, 30, 60 e 90 mM NaCl), magnetizada com dois campos magnéticos: 300 e 600 mT, com tempo de magnetização de 30 min, observou-se que as plantas irrigadas com água salina magnetizada diminuíram significativamente o conteúdo de prolina em plantas de *S. virgata* irrigadas com água salina magnetizada

De acordo com a análise de variância (Tabela 4), a salinidade a água de irrigação e os intervalos de irrigação influenciaram de forma significativa ($p \leq 0,01$) a produção das enzimas APX e CAT nas plantas de feijão-caupi cv. BRS Guariba, irrigadas com água salina magnetizada.

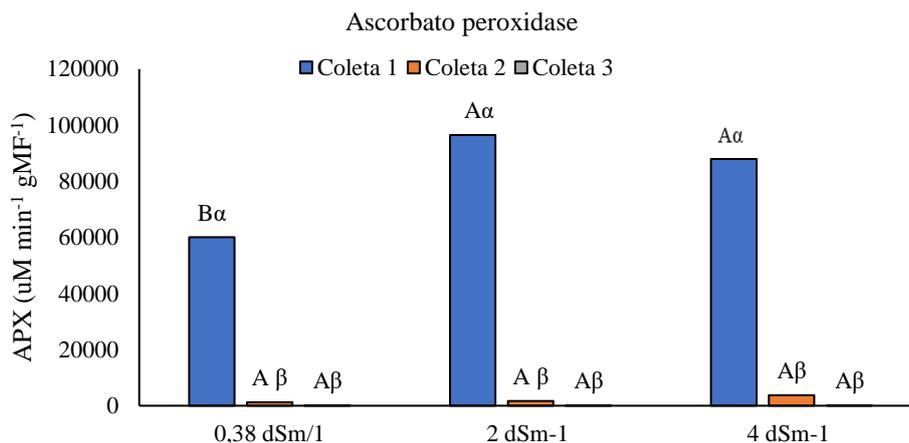
Tabela 4 - Resumo da análise de variância para os teores de CAT e APX nas folhas de feijão-caupi cv. Guariba irrigadas com água salina magnetizada

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios	
		APX	CAT
Salinidade (AS)	2	3,64775318**	13,166758**
Campo (CM)	1	27168939,8 ^{ns}	4,287448 ^{ns}
Int. Irrigação (II)	2	1,81117289**	57,902186**
(AS)*(CM)	2	2643337229 ^{ns}	1,131217 ^{ns}
(AS)* (II)	4	3,30428727**	8,866039**
(CM)* (II)	2	6807729,91 ^{ns}	1,247573 ^{ns}
(AS)* (CM)*(II)	4	370939134,8 ^{ns}	0,607719 ^{ns}
Resíduo	234	492258834,02	0,7476996
CV (%)		79,48	90,02

ns, *, **Respectivamente não significativo, significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$. CV: Coeficiente de variação.

Ao analisar as plantas irrigadas com águas salinas de 2 e 4 dSm⁻¹, verificou-se que produziram maiores teores de APX, correspondendo a aumentos de 37,81 e 31,8%, respectivamente, quando comparados com as plantas de feijão-caupi que foram irrigadas com água com salinidade de 0,38 dSm⁻¹ (Figura 10).

Figura 10 - Produção de ascorbato peroxidase (APX) nas folhas de feijão-caupi variedade BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.

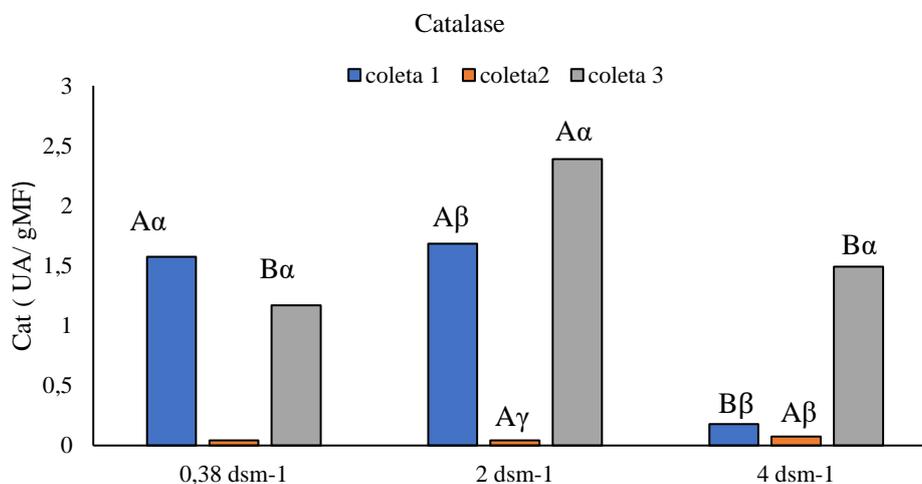


A letra maiúscula refere-se à ação da salinidade dentro de cada campo magnético e os intervalos de irrigação. Já a letra grega compara o efeito dos intervalos de irrigação dentro de cada salinidade e campo magnético.

O estresse salino pode causar o acúmulo excessivo de Na⁺ em níveis tóxicos, que podem alterar os processos metabólicos normais de uma planta. Esses desequilíbrios provocam a produção elevada de EROs, que, para controlar este aumento, são acionados sistema de defesa antioxidante, que são: ascorbato peroxidase, superóxido dismutase, catalase, peroxidase, além dos antioxidantes não enzimáticos (SHAHID *et al.*, 2022).

A produção da enzima CAT foi influenciada pelos teores de sais e pelos intervalos de irrigação (Figura 11), verificou-se que, aos sete dias após a irrigação, as plantas de feijão-caupi irrigadas com água salina de 2 dSm⁻¹ produziram 37,81%, enquanto as plantas irrigadas com 4 dSm⁻¹ aumentaram a produção da enzima em 31,79% em comparação com as plantas irrigadas com água de salinidade de 0,38 dSm⁻¹.

Figura 11 - Produção de catalase (CAT) nas folhas de feijão-caupi cultivar BRS Guariba irrigadas com água salina magnetizada.



A letra maiúscula refere-se à ação da salinidade dentro de cada campo magnético e os intervalos de irrigação. Já a letra grega compara o efeito dos intervalos de irrigação dentro de cada salinidade e campo magnético.

Segundo a análise de variância (Tabela 5), constatou-se que as variáveis analisadas ao conteúdo de potássio (K), quantidade de cálcio (Ca) concentração de magnésio (Mg) e de sódio (Na) não tiveram significância entre os fatores analisados nas plantas de feijão-caupi cv. BRS Guariba, irrigadas com água salina magnetizada.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância do teor potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e de sódio (Na) nas plantas de feijão-caupi cv. Guariba irrigadas com água salina magnetizada.

	GL	Quadrados médios			
		K	Ca	Mg	Na
Salinidade (AS)	2	16,49 ^{ns}	52,19 ^{ns}	1,04 ^{ns}	1047,7 ^{ns}
Campo (CM)	1	29,79 ^{ns}	9,08 ^{ns}	0,26 ^{ns}	747,1 ^{ns}
(AS)* (CM)	2	19,48 ^{ns}	3,88 ^{ns}	0,04 ^{ns}	162,6 ^{ns}
Resíduo	36	15,77	13,61	0,31	907,6
CV (%)		34,33	14,65	10,02	10,93

ns, *, **Respectivamente não significativo, significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$; CV - Coeficiente de variação.

A partir da análise de variância apresentada na Tabela 6, constata-se que as variáveis peso seco das plantas (PFP), peso fresco da raiz (PFR), peso seco da planta (PSP), peso seco da raiz (PSR), número de sementes por plantas (NSP), peso das sementes por plantas (PSEM) e comprimento de vargens (CV) não apresentaram significância estatística. Observa-se que, para as variáveis mencionadas, não houve diferenças estatísticas entre os fatores analisados nas plantas de feijão-caupi cv. BRS Guariba, irrigadas com água salina magnetizada.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância do peso fresco das plantas (PFP), peso fresco da raiz (PFR), peso seco da planta (PSP), peso seco da raiz (PSR) número de grão por planta (NSP), peso das sementes por planta (PSEM) e comprimento de vargens (CV) nas plantas de feijão-caupi cv. BRS Guariba, irrigadas com água salina magnetizada.

Fonte de Variação	GL	PFP	PFR	PSP	PSR	NSP	PSEM	CV
Salinidade (AS)	2	269,4 ^{ns}	6,55 ^{ns}	160,6 ^{ns}	0,04 ^{ns}	351,17 ^{ns}	57,45 ^{ns}	1,31 ^{ns}
Campo (CM)	1	177,6 ^{ns}	9,38 ^{ns}	193,4 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,12 ^{ns}	2,15 ^{ns}
(AS)* (CM)	2	111,5 ^{ns}	5,66 ^{ns}	12,9 ^{ns}	0,09 ^{ns}	980,36 ^{ns}	59,91 ^{ns}	1,45 ^{ns}
Resíduo	36	78,4	2,98	26,9	0,62	418,9	11,97	4,05
CV (%)		26,53	29,06	22,99	32,54	28,05	19,28	12,09

ns, *, **Respectivamente não significativo, significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$; CV - Coeficiente de variação.

4 CONCLUSÕES

A magnetização da água, através do dispositivo AMAI campo magnético de intensidade de 200 mT, estimulou a atividade da enzima superóxido dismutase, bem como aumentou a prolina nas plantas irrigadas com a água magnetizada, o que pode aumentar a tolerância das plantas à salinidade. No entanto, faz-se necessário mais estudos para determinar a intensidade do campo magnético capaz de promover todos os efeitos positivos da magnetização da água salina.

REFERÊNCIAS

- ABDEL LATEF, A. A. H.; TAHJIB-UL-ARIF, M.; RHAMAN, M. S. Exogenous auxin-mediated salt stress alleviation in faba bean (*Vicia faba* L.). **Agronomy**, v.11, p.1-16, 2021.
- AMUSA, O.D.; OGUNKANMI, L. A.; ADETUMBI, J. A.; AKINYOSOYE, S. T.; BOLARINWA, K. A.; OGUNDIPE, O. T. Intraspecific-cross compatibility in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Journal of Crop Improvement**, v.25, p.1-15, 2021.
- AQUINO, D. A. L.; SANTOS, C. A. F.; SILVA, D. O. M. Phenotypic variability of cowpea genotypes for immature seed harvesting. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.51, p.1-8, 2021.
- BAÑÓN, D.; LORENTE, B.; ORTUÑO, M. F. BAÑÓN, S.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; ALARCÓN, J. J. Effects of saline irrigation on the physiology and ornamental quality of *Euphorbia Ascot Rainbow* and its relationship with salinity indexes based on the bulk electrical conductivity. **Scientia Horticulturae**, v.305, p.1-9, 2022.
- BARADARAN-HEZAVEH, F.; BABAZADEH, H.; AMIRI, E., EBRAHIMI, H. Evaluation of irrigation management in different stages of growth on the yield and water productivity in cowpea plant in field and model conditions. **Applied Water Science**, v.15, n. 40, 2025.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for 4159 water-stress studies. **Plant and Soil**, v.39, p.205-207, 1973.
- BAWA, G.; YU, X.; LIU, Z. ZHOU, Y.; SUN, X. Surviving the enemies: Regulatory mechanisms of stomatal function in response to drought and salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.209, p.1-13, 2023.
- BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase – Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v.44, n.1, p.276-287, 1971.
- CHAVES, M.M.; OLIVEIRA, M.M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany Eynshan**, v.55, p.2365-2384, 2004.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 12º Levantamento, Safra 2022/2023**. Brasília, v.10, p.1-111, 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra>>. Acesso em: 15/04/2024.
- DAVIDSON, K. J.; LAMOUR, J.; ROGERS, A.; ELY, K. S.; LI, Q.; MCDOWELL, N. G.; PIVOVAROFF, A. L. WOLFE, B. T. WRIGHT, S. J.; ZAMBRANO, A.; SERBIN, S. P. Short-term variation in water use efficiency at leaf level in a tropical forest. **New Phytologist**, v. 237, p.2069–2087, 2023.

- EMAMDADI, N.; GHOLIZADEH, M.; HOUSAINDOKHT, M. R. Investigation of static magnetic field effect on horseradish peroxidase enzyme activity and stability in enzymatic oxidation process. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.170, n.15, p.189-195, 2021.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v.37, p.529-535, 2019.
- GAO, Y.; SUN, Y.; ZHANG, R.; CHU, G. Effects of magnetic water irrigation on the Growth, N Uptake and Antioxidant Enzyme Activities of Cotton Seedlings. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.7, p.25-33, 2017.
- HARRIS, DANIEL C. **Análise quantitativa**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- ISAYENKOV, S. V. MAATHUIS, F. Plant Salinity Stress: Many Unanswered Questions Remain. **Frontiers in Plant Science**, v. p.1-11, 2019.
- JAWAD, S. I. KARKUSH, M.; KALIAKIN, V. N. Alteration of physicochemical properties of tap water passing through different intensities of magnetic field. **Journal of the Mechanical Behavior of Materials**, v.32, p.1-10, 2023.
- KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v.57, n.2, p.315-319, 1976.
- LIN, X.; WU, B.; WANG, J.; WANG, G.; CHEN, Z.; LIANG, Y.; LIU, J.; WANG, H. Effects of geographical and climatic factors on the intrinsic water use efficiency of tropical plants: evidence from Leaf $\delta^{13}C$. **Plants**, v.12, n.4, p. 1-12, 2023.
- KEBEDE, E.; BEKEKO, Z. Expounding the production and importance of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Ethiopia. **Cogent Food & Agriculture**, v.6, p.1-21, 2020.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba, p.319, 1997.
- MANOS, M. G. L. M.; OLIVEIRA, M. G. C.; MARTINS, C. R.; OLIVEIRA, M. G. C.; MARTINS, C. R. Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum na Região Nordeste Brasileira 2013-2014. **Reunião de Comissão Técnica Norte/Nordeste Brasileira de Feijão - CNTNBF - Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros**, p.181, 2013.
- MEDEIROS, J. F. de. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados de RN, PB e CE**. (Dissertação Mestrado). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 1992, 173p.
- MELO, L. F.de; PINHEIRO, M. de S.; MATOS, R. F. de; DOVALE, J. C; BERTINI, C. H C. de M. GGE biplot analysis to recommend cowpea cultivars for green grain production. **Revista Caatinga**, v.33, p.321-331, 2020.
- NAKANO, Y.; ASADA, K. Peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant cell physiology**, v.22, n.5, p.867-880, 1981.

- NARLI, M. B.; OZCAN, T. Assessment of bifidogenic potential of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) extract in in vitro and milk fermentation models. **Food Science and Technology**, v.157, p.1-08, 2022.
- NUNES, C.; MOREIRA, R.; PAIS, I.; SEMEDO, J.; SIMÕES, F.; VELOSO, M. M.; SCOTTI-CAMPOS, P. Cowpea physiological responses to terminal drought - Comparison between four landraces and a commercial variety. **Plants**, v.11, p.1-16, 2022.
- PARKASH, V.; SINGH, S. A Review on potential plant-based water stress indicators for vegetable crops. **Sustainability**, v.12, p.1-28, 2020.
- PRAXEDES, S. S. C.; FERREIRA NETO, M.; LOIOLA, A. T.; SANTOS, F. J. Q.; UMBELINO, B. F.; SILVA, L. DE A.; MOREIRA, R. C. L.; MELO, A. S. de; LACERDA, C. F. de; FERNANDES, P. D.; DIAS, N. da S.; SÁ, F. V. da S. Photosynthetic responses, growth, production, and tolerance of traditional varieties of cowpea under salt stress. **Plants**, v.11, p.1-18, 2022
- PUTTI, F. F.; VICENTE, E. F.; CHAVES, P. P. N.; MANTOAN, L. P. B.; CREMASCO, C. P.; ARRUDA, B.; FORTI, J. C.; SILVA JUNIOR, J. F. CAMPOS, M.; REIS, A. R.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Effect of magnetic water treatment on the growth, nutritional status, and yield of lettuce plants with irrigation rate. **Horticulturae**, v.9, p.1-12, 2023.
- PUTTI, F.F.; ARRUDA, B.; VICENTE, E. F.; CHAVES, P. P. N.; NOGUEIRA, B. B.; ZANETTI, W. A. L.; ONO, E. O.; REIS, A. R. Magnetic technology to reduce the effects of saline stress on tomato plants. **Environmental Technology & Innovation**, v.34, p.1-14, 2024.
- RENGADU, D.; GERRANO, A. S.; MELLEM, J. J. Prebiotic effect of resistant starch from *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (cowpea) using a vitrosimulated avian digestion model. **Jornal Internacional de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.55, p.332-339 2020.
- SÁ, F. V. da S.; FERREIRA NETO, M.; LIMA, Y. B.; PAIVA, EP; PRATA, R. C.; LACERDA, C. F.; BRITO, M. E. B. Growth, gas exchange and photochemical efficiency of the cowpea bean under salt stress and phosphorus fertilization. **Comunicata Scientiae**, v.9, p.668–679, 2018.
- SAMARAH, N. H.; BANY HANI, M. M. I.; MAKHADMEH, I. M. Effect of magnetic treatment of water or seeds on germination and productivity of tomato plants under salinity stress. **Horticulturae**, v.7, p.1-11, 2021.
- SESTILI, S.; PLATANI, C.; PALMA, D.; DATTOLI, M. A.; BELEGGIA, R. Can the use of magnetized water affect the seedling development and the metabolite profiles of two different species: Lentil and durum wheat? **Frontiers in plant Science**, v. 13, p.1-11, 2023.
- SCOTTI CAMPOS, P.; THU PHAN THI, A. Effect of abscisic acid pretreatment on membrane leakage and lipid composition of *Vigna unguiculata* leaf discs subject to ormotic stress. **Plant Science**, v. 130, p. 11-18, 1997.

SHAHID, S.; SHAHBAZ, M.; MAQSOOD, M.; FARHAT, F.; ZULFIQAR, F.; JAVED, T.; FRAZ, A. M.; ALHOMRANI, M.; ALAMRI, A.S. Proline-induced modifications in morpho-physiological, biochemical and yield attributes of pea (*Pisum sativum* L.) cultivars under salt stress. **Sustainability**, v.14, p.1-19, 2022.

SORATTO, R. P.; MATOSO, A. O.; GILABEL, A. P.; FERNANDES, F. M.; SCHWALBERT, R. A.; CIAMPITTI, I. A. Agronomic optimal plant density for semiupright cowpea as a second crop in southeastern Brazil. **Crop Science**, v.60, p.2695-2708, 2020.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, D.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Brasília: Embrapa. 2017. 573p.

TOMAZ, F. L. S.; ARAÚJO, L. B. R.; MAGALHÃES, C. H. C. D.; DO VALE, J. C.; MANO, A. R. D. O.; ROCHA, M. D. M. Indication of cowpea cultivars for the production of dry grain in the state of Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.53, p.1-12, 2022.

VALERIANO, T. T. B.; BORGES, R. de M.; ALMEIDA, F. da S.; SILVA NETO, O. F. da; SANTANA, M. J. de; SILVA K. A. Desempenho agrônômico de cultivares de feijão-caupi em função da densidade de plantas. **Revista Inova Ciência & Tecnologia**, v.5, p.12-17, 2019.

YUSUF, K. O.; OGUNBAMOWO, T. R.; OBALOWU, R. O. Effect of magnetized water on water use efficiency, yield and nutritional qualities of watermelon under deficit irrigation, **AgricEngInt: CIGR Journal**, v.22, p.1-10, 2020.