

ELIZEU MATOS DA CRUZ FILHO

**CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR ASSOCIADA A IRRIGAÇÃO
SALINA EM CULTIVO DE GERGELIM NO SERTÃO PERNAMBUCANO**

RECIFE - PE

JULHO – 2023

ELIZEU MATOS DA CRUZ FILHO

**CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇUCAR ASSOCIADA A IRRIGAÇÃO
SALINA EM CULTIVO DE GERGELIM NO SERTÃO PERNAMBUCANO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. (Área de Concentração: Engenharia de Água e Solo).

Orientador: Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva
Coorientadora: Prof. Dra. Raquele Mendes de Lira

RECIFE - PE

JULHO - 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- E43c Cruz Filho, Elizeu Matos da
Cinzas do bagaço da cana-de-açúcar associada a irrigação salina em cultivo de gergelim no sertão pernambucano /
Elizeu Matos da Cruz Filho. - 2023.
100 f. : il.
- Orientador: Enio Farias de Franca e Silva.
Coorientadora: Raquele Mendes de Lira.
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, Recife, 2023.
1. Sesamum indicum L. 2. cinzas vegetais. 3. fertilização orgânica. 4. irrigação salina. I. Silva, Enio Farias de Franca e,
orient. II. Lira, Raquele Mendes de, coorient. III. Título

ELIZEU MATOS DA CRUZ FILHO

**CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇUCAR ASSOCIADA A IRRIGAÇÃO
SALINA EM CULTIVO DE GERGELIM NO SERTÃO PERNAMBUCANO**

Dissertação defendida e aprovada em 31 de julho de 2023 pela banca examinadora:

Orientador:

Prof^o Dr. Ênio Farias de França e Silva

Coorientadora

Prof^a. Dr^a. Raquele Mendes de Lira

Comissão examinadora:

Dr. Alexandre Nascimento dos Santos (IFAL)

Dr. Gerônimo Ferreira da Silva (UFRPE)

À minha família, meu alicerce e fonte de inspiração.

A minha mãe Antonízia Lima e ao meu pai Elizeu Matos.

Às minhas irmãs, Katiana, Helena, Cristiane e Ana Paula.

Aos meus irmãos Elias, João Paulo, Siridião e Adalberto. Aos meus sobrinhos, sobrinhas e familiares.

A minha companheira Emanuelle Cordeiro, que me acompanhou de longe nessa jornada e mesmo assim sempre se fez presente. Obrigado por permanecer.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela sabedoria, proteção e discernimento para poder vencer mais esse desafio.

À minha família, esse título também é de vocês.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade, apoio institucional e pela infraestrutura oferecida.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola (PGEA) pela oportunidade. A todos os professores que contribuíram para minha formação.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa de estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

Ao meu orientador professor Ênio Farias de França e Silva, pela orientação, apoio, confiança, paciência e conselhos durante esse percurso de trabalho. Toda admiração e respeito por sua trajetória profissional.

À minha coorientadora, professora Raquele Mendes de Lira, por todo suporte durante toda a pesquisa, sempre muito atenciosa e solícita, exemplo de profissional. Gratidão.

A Unidade Acadêmica de Serra Talhada, pela infraestrutura disponibilizada. A todos os profissionais e técnicos, em nome de José Raliuson e José Edson, por todo suporte prestado e pela contribuição na execução da pesquisa.

Ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, em nome do professor Eduardo Soares de Souza, pela disponibilização de espaço e equipamentos para a realização da pesquisa.

Ao Centro de Apoio à Pesquisa da UFRPE (CENAPESQ) por fornecer o espaço e os equipamentos necessários para a realização de parte das análises nutricionais.

Aos professores Mário Rolim e Abelardo Montenegro, pela disponibilização de equipamentos e laboratórios para a realização das análises laboratoriais.

À comissão avaliadora, representada pelo Professor Gerônimo Ferreira da Silva e Alexandre Nascimento dos Santos, agradeço pelas valiosas contribuições.

À EMBRAPA algodão pelo fornecimento das sementes de gergelim utilizadas no presente trabalho.

A Edimir Ferraz, pela amizade construída, por toda colaboração e suporte durante estadia em Serra Talhada. Minha gratidão. Te desejo muito sucesso!

Ao Grupo de Estudos e Tecnologias de Convivência com o Semiárido – GETECS, e toda equipe: Bianca, Luiz, Jailson, Gabriel, Paloma, Nayane, Priscila, David, Edimir, professora Raquele e ao professor Antônio pela disposição da área experimental.

Ao Professor Gerônimo Ferreira da Silva, pelo apoio, conhecimento e experiência partilhados durante a realização das análises nutricionais. Gratidão.

Aos bolsistas de iniciação científica, aos colegas que colaboraram direta ou indiretamente para a realização da pesquisa.

A todos os colegas e amigos do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, que de alguma forma contribuíram com a minha formação enquanto profissional.

Aos amigos que permaneceram, mesmo que de longe, gratidão pela torcida, e pelas boas vibrações.

A todos e todas, minha eterna gratidão!

“Tudo o que temos de decidir é o que
fazer com o tempo que nos é dado.”

(Gandalf)

RESUMO GERAL

Em regiões semiáridas, a água utilizada para irrigação pode apresentar altos níveis de salinidade, o que representa um desafio para o cultivo de gergelim. Nesse contexto, o uso de cinzas da cana-de-açúcar como fertilizante orgânico tem sido considerado uma alternativa para atenuar ou minimizar efeitos dos sais sobre as plantas. Com isso, objetivou-se avaliar a influência de diferentes doses de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, associada a irrigação com água salina, sobre as variáveis fisiológicas e agronômicas da cultura do gergelim BRS seda na região do sertão pernambucano. Os experimentos foram conduzidos na Universidade Federal Rural de Pernambuco. Os tratamentos foram compostos por diferentes doses de cinzas da cana-de-açúcar (0, 30, 60, 90 e 120 g planta⁻¹), combinadas com duas qualidades de água de irrigação (0,5 e 4,1 dS m⁻¹) e duas testemunhas adicionais (T1 = Adubação recomendada + água do abastecimento público (0,5 dS m⁻¹); e T2 = Adubação recomendada + Água do poço artesiano (4,1 dS m⁻¹)). Foram avaliadas variáveis fisiológicas, de crescimento, extração e exportação de nutrientes e sódio, além do rendimento da cultura. Os resultados evidenciaram que as cinzas da cana-de-açúcar não foram eficazes em atenuar os efeitos dos sais nos aspectos fisiológicos e agronômicos do gergelim. Durante o primeiro ciclo, não foram observados efeitos dos sais nas trocas gasosas das plantas. Já no segundo ciclo, o gergelim demonstrou adaptação ao estresse salino para potencial hídrico e em fases iniciais de desenvolvimento, mas os efeitos dos sais foram evidentes em estágios mais avançados para os pigmentos fotossintéticos e trocas gasosas. A aplicação da cinza em 120 g planta⁻¹ teve efeitos positivos na concentração de clorofila *b*. A altura das plantas aos 15 dias após a emergência do primeiro ciclo e o índice de área foliar foram afetados negativamente pela utilização de água salina, entretanto, ocorreram aumentos no diâmetro do caule, número de folhas e frutos no segundo ciclo. A cinza teve efeito positivo na extração de S, reduziu a extração de Ca e promoveu aumento na exportação de Cl, Ca e Na no primeiro ciclo. A água salina afetou negativamente a extração de Mg e S no primeiro ciclo e de N, S, Fe e Mn no segundo ciclo, e promoveu maiores acúmulos de Cl nos dois ciclos e Na no primeiro ciclo. As exportações de Mg e de S, no primeiro ciclo, e de Ca no segundo ciclo, foram reduzidas com a utilização da irrigação com águas salinas. No entanto, as exportações de Cl, Na e K, em ambos os ciclos e cobre no segundo ciclo foram incrementadas.

Palavras-chave: *Sesame indicum* L., cinzas vegetais, fertilização orgânica, irrigação salina.

GENERAL ABSTRACT

In semi-arid regions, the water used for irrigation can have high levels of salinity, which poses a challenge for sesame cultivation. In this context, the use of sugarcane ash as an organic fertilizer has been considered an alternative to attenuate or minimize the effects of salts on plants. Thus, the objective was to evaluate the influence of different doses of sugarcane bagasse ash, associated with irrigation with saline water, on the physiological and agronomic variables of the BRS seda sesame crop in the sertão region of Pernambuco. The experiments were conducted at the Federal Rural University of Pernambuco. The treatments consisted of different doses of sugarcane ash (0, 30, 60, 90 and 120 g plant⁻¹), combined with two irrigation water qualities (0,5 and 4.1 dS m⁻¹) and two additional controls (T1 = Recommended fertilization + public supply water (0.5 dS m⁻¹); and T2 = Recommended fertilization + Artesian well water (4,1 dS m⁻¹)). Physiological variables, growth, extraction and export of nutrients and sodium, in addition to crop yield, were evaluated. The results showed that sugarcane ashes were not effective in attenuating the effects of salts on the physiological and agronomic aspects of sesame. During the first cycle, no effects of salts on plant gas exchange were observed. Already in the second cycle, sesame showed adaptation to salt stress for water potential and in early stages of development, but the effects of salts were evident in more advanced stages for photosynthetic pigments and gas exchange. The application of ash in 120 g plant⁻¹ had positive effects on the concentration of chlorophyll b. Plant height at 15 days after emergence of the first cycle and leaf area index were negatively affected by the use of saline water, however, there were increases in stem diameter, number of leaves and fruits in the second cycle. The ash had a positive effect on the extraction of S, reduced the extraction of Ca and promoted an increase in the export of Cl, Ca and Na in the first cycle. Saline water negatively affected the extraction of Mg and S in the first cycle and of N, S, Fe and Mn in the second cycle, and promoted greater accumulations of Cl in both cycles and Na in the first cycle. The exports of Mg and S, in the first cycle, and of Ca in the second cycle, were reduced with the use of irrigation with saline waters. However, exports of Cl, Na and K in both cycles and copper in the second cycle increased.

Keywords: *Sesame indicum* L., vegetable ash, organic fertilization, saline irrigation.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	VIII
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO GERAL, OBJETIVOS, HIPÓTESES E REVISÃO DE LITERATURA	14
1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. OBJETIVOS	15
2.1. Geral	15
2.2. Específicos	15
3. HIPÓTESES	15
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1. Cultura do Gergelim (<i>Sesame indicum</i> L):	16
4.1.1. Aspectos históricos, botânicos e fenológicos da cultura	16
4.1.2. Componentes nutricionais e econômicos	17
4.1.3. Cultivar BRS Seda	19
5. Estresse salino nas plantas e seu efeito no gergelim	19
6. Fertilizantes alternativos na nutrição de plantas	21
7. Cinza vegetal <i>versus</i> agricultura biosalina	22
8. REFERÊNCIAS	25
CAPÍTULO II - DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE PLANTAS DE GERGELIM SOB ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO COM CINZA VEGETAL	36
1. INTRODUÇÃO	38
2. MATERIAL E MÉTODOS	39
2.1. Localização e caracterização da área experimental	39
2.2. Delineamento experimental e tratamentos	40
2.3. Preparo da área e adubação	41
2.4. Manejo da irrigação	42
2.5. Variáveis analisadas	44
2.5.1. Trocas gasosas	44
2.5.2. Pigmentos fotossintéticos	45
2.5.3. Potencial hídrico foliar	46
2.6. Análise estatística	46
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
3.1. Trocas gasosas	46
3.2. Pigmentos fotossintético	50
3.3. Potencial hídrico foliar	53

4.	CONCLUSÕES	54
5.	REFERÊNCIAS	55
	CAPÍTULO III - EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO GERGELIM SUBMETIDO A DIFERENTES QUALIDADES DE ÁGUA DA IRRIGAÇÃO E DOSES DE CINZA DA CANA-DE-AÇÚCAR	61
1.	INTRODUÇÃO	63
2.	MATERIAL E MÉTODOS	64
2.1.	Localização e caracterização da área experimental	64
2.2.	Delineamento experimental e tratamentos	65
2.3.	Preparo da área e adubação	65
2.4.	Manejo da irrigação.....	66
2.5.	Variáveis analisadas	69
2.5.1.	Crescimento e índice de área foliar das plantas	69
2.5.2.	Análise nutricional (extração e exportação de macronutrientes, micronutrientes e sódio).....	69
2.5.3.	Produtividade, biomassa e teor de óleo.....	70
2.6.	Análise estatística.....	71
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
3.1.	Análise de crescimento	71
3.2.	Extração e exportação de nutrientes e sódio	79
3.3.	Rendimento de sementes, biomassa e teor de óleo	90
4.	CONCLUSÕES	94
5.	REFERÊNCIAS	94
	CAPÍTULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS	100

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II - DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE PLANTAS DE GERGELIM SOB ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO COM CINZA VEGETAL	36
Figura 1 Localização da área experimental na Unidade Acadêmica de Serra Talhada, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAST/UFRPE).	39
Figura 2. Dados meteorológicos obtidos durante o experimento do primeiro (A) e segundo ciclo (B) do gergelim submetido à diferente condutividade elétrica da água de irrigação e doses de cinza do bagaço da cana-de-açúcar.	40
Figura 3. Efeito das doses de cinzas da cana-de-açúcar sob a clorofila b aos 64 dias após a emergência em plantas de gergelim.	51
CAPÍTULO III - EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO GERGELIM SUBMETIDO A DIFERENTES QUALIDADES DE ÁGUA DA IRRIGAÇÃO E DOSES DE CINZA DA CANA-DE-AÇÚCAR	61
Figura 1. Altura de plantas (A) aos 75 dias após a emergência (DAE) do segundo ciclo e número de folhas (B) aos 45 DAE do primeiro ciclo de gergelim sob irrigação com águas de diferentes condutividades elétricas e doses de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar. A1 = água de 0,5 ds m ⁻¹ e A2 = água de 4,1 dS m ⁻¹	74
Figura 2. Interação entre a qualidade de água de irrigação e as doses de cinzas da cana-de-açúcar na extração de cálcio no primeiro ciclo (Ca) (A) e efeito das diferentes doses de cinzas na extração de enxofre (S) (B) no segundo ciclo de cultivo do gergelim. A1 = água de 0,5 ds m ⁻¹ e A2 = água de 4,1 dS m ⁻¹	82
Figura 3. Efeito das diferentes doses de cinzas da cana-de-açúcar na exportação de cálcio (Ca), sódio (Na) e cloreto (Cl) durante o primeiro ciclo e interação entre a qualidade de água de irrigação e as doses de cinzas na exportação de cálcio no segundo ciclo.	86

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II - DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE PLANTAS DE GERGELIM SOB ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO COM CINZA VEGETAL.....	36
Tabela 1. Coeficiente de cultivo (K_c) para o Gergelim.	44
Tabela 2. Resumo da análise de variância para trocas gasosas no 1º e 2º ciclo para A -Taxa de assimilação líquida de CO_2 ($\mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$); E - Transpiração foliar ($mmol H_2O m^{-2} s^{-1}$); g_s - condutância estomática ($mol H_2O m^{-2} s^{-1}$); C_i - Concentração interna de CO_2 ($\mu mol CO_2 mol^{-1}$); A/E - Eficiência instantânea no uso da água ($\mu mol CO_2. mmol H_2O^{-1}$); A/C_i - Eficiência instantânea de carboxilação ($mol. m^{-2} s^{-1}$) de gergelim irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar.....	48
Tabela 3. Valores médios de A -Taxa de assimilação líquida de CO_2 ($\mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$); E - Transpiração foliar ($mmol H_2O m^{-2} s^{-1}$); g_s - condutância estomática ($mol H_2O m^{-2} s^{-1}$); C_i - Concentração interna de CO_2 ($\mu mol CO_2 mol^{-1}$); A/E - Eficiência instantânea no uso da água ($\mu mol CO_2 mmol H_2O^{-1}$); A/C_i - Eficiência instantânea de carboxilação ($mol. m^{-2} s^{-1}$) aos 39 e 59 DAE nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si.	49
Tabela 4. Resumo da análise de variância para as medidas de pigmentos fotossintéticos do segundo ciclo em $\mu g cm^2$, para clorofila a ($Chl a$), clorofila b ($Chl b$), carotenoides (Car) e clorofila total ($Chl t$) em gergelim irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar.	51
Tabela 5. Valores médios em $\mu g cm^2$ de Clorofila a ($Chl a$), clorofila b ($Chl b$) Clorofila total ($Chl t$) aos 42 DAE e para Clorofila a ($Chl a$), carotenoides (Car) e Clorofila total ($Chl t$) aos 64 DAE em plantas de gergelim nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si.	52
Tabela 6. Resumo da análise de variância para as medidas de potencial hídrico foliar (Ψ_w em MPa) aos 43 e 63 DAE do segundo ciclo do gergelim irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar.	54
CAPÍTULO III - EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO GERGELIM SUBMETIDO A DIFERENTES QUALIDADES DE ÁGUA DA IRRIGAÇÃO E DOSES DE CINZA DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	61
Tabela 1. Análise química do solo, cinzas do bagaço da cana-de-açúcar e da água do poço artesiano utilizadas no primeiro e segundo ciclo de produção do gergelim.	66

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as medidas biométricas do primeiro e segundo ciclo do gergelim para Altura de Planta (AP), Diâmetro do Caule (DC) Número de Folhas (NFo) e Número de Frutos (NFr) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após a emergência, irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar.	72
Tabela 3. Valores médios para altura de plantas (AP) de gergelim nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, aos 15; 30; 45 dias após a emergência do primeiro e segundo ciclo de cultivo.	76
Tabela 4. Valores médios para diâmetro do caule (DC) de gergelim nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, aos 15,30,45, 60 e 75 dias após a emergência do primeiro e aos 15; 30; 45, e 60 DAE no segundo ciclo de cultivo.	76
Tabela 5. Valores médios para número de folhas de gergelim nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, aos 30; 45; 60 e 75 dias após a emergência do primeiro e aos 30; 45; 60, e 70 DAE no segundo ciclo de cultivo.	77
Tabela 6. Número de frutos de gergelim nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, aos 45, 60 e 75 dias após a emergência do primeiro e segundo ciclo de cultivo.	77
Tabela 7. Resumo da análise de variância para Índice de área foliar (IAF) aos 35, 50, 65, 75 e 90 dias após a semeadura do segundo ciclo do gergelim irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar.	78
Tabela 8. Valores médios do Índice de Área foliar (IAF) nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, aos 35, 50, 65 e 75 e 90 dias após a emergência (DAE) do segundo ciclo de cultivo.	79
Tabela 9. Resumo da análise de variância para extração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), cloreto (Cl) e sódio (Na) em gergelim irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar.	81
Tabela 10. Valores médios para extração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), cloreto (Cl) e sódio (Na) nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, do primeiro e segundo ciclo de cultivo do gergelim.	84

- Tabela 11.** Resumo da análise de variância para exportação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), cloreto (Cl) e sódio (Na) em gergelim irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar. 87
- Tabela 12.** Valores médios para exportação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), cloreto (Cl) e sódio (Na) nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, do primeiro e segundo ciclo de cultivo do gergelim..... 89
- Tabela 13.** Extração e exportação decrescente de macronutrientes, micronutrientes e sódio na cultura do gergelim, sob irrigação salina e tratamentos controle. 90
- Tabela 14.** Resumo da análise de variância para Massa Fresca (MF), Massa Seca (MS), Produtividade (PROD) e Teor de óleo (TO) do gergelim no primeiro e segundo ciclo de cultivo irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar. 91
- Tabela 15.** Massa fresca (MF), massa seca (MS) em g planta⁻¹, produtividade (PROD) em Mg ha⁻¹ e teor de óleo (TO) em g planta⁻¹ de gergelim nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, no primeiro e segundo ciclo de cultivo. 92

----- CAPÍTULO I -----
**INTRODUÇÃO GERAL, OBJETIVOS, HIPÓTESES E REVISÃO DE
LITERATURA**

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO GERAL, OBJETIVOS, HIPÓTESES E REVISÃO DE LITERATURA

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção mundial de gergelim foi de 6,3 milhões de megagramas, em uma área cultivada de 12,5 milhões de hectares, e produtividade média de 508 kg ha⁻¹ (FAOSTAT, 2021). No Brasil, na safra de 2022/2023, a produção dessa cultura ficou na ordem de 164 mil megagramas em uma área plantada de 307,3 mil hectares (CONAB, 2023).

Devido à adaptação do gergelim às condições edafoclimáticas do semiárido do Nordeste brasileiro, a cultura apresenta potencial para ser produzida nesta região (LIMA et al., 2018). Contudo, apesar de apresentar adaptações, a sua produtividade é afetada pelo estresse hídrico (WANG et al., 2014), visto que, o semiárido apresenta um período relativamente extenso de seca e irregularidade na distribuição hídrica que afeta o desenvolvimento e rendimentos de culturas agrícolas.

Uma forma de aumentar significativamente a produtividade do gergelim na região semiárida é utilizando a irrigação, visto que o rendimento médio de grãos da cultura sob condições de sequeiro é em torno de 650 kg ha⁻¹, já sob condições irrigadas pode atingir uma produtividade de 1.500 kg ha⁻¹ (EUBA NETO et al., 2016).

No entanto, muitas vezes a água utilizada nas irrigações são provenientes de poços artesianos, com ocorrência de águas salobras ou salinas, que pode ocasionar a salinização do solo e conseqüentemente reduzir o rendimento das plantas. A cultura do gergelim é afetada negativamente pela salinidade e pela alcalinidade, portanto sua utilização, muitas vezes se torna inviável em algumas situações (DIAS et al., 2018).

Neste sentido, algumas pesquisas foram realizadas com intuito de investigar estratégias de tolerância dessa cultura ao estresse salino, principalmente com a utilização de adubação orgânico e/ou mineral, como: Sousa et al. (2017) com biofertilizante bovino, Lima et al. (2017) com fertilização com nitrato e amônia e Dias et al. (2019) com fertilizantes nitrogenados e potássicos.

Com isso, o uso de fertilizantes orgânicos a base de cinza vegetal pode ser uma alternativa, pois esse material possui propriedades que podem reduzir a acidez e melhorar a fertilidade do solo, principalmente os teores de magnésio, fósforo e potássio (FERREIRA; FAGERIA; DIDONET, 2012).

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar é fonte de macro e de micronutrientes essenciais para a produção agrícola, sendo o potássio o nutriente encontrado em maior quantidade. Segundo Korndörfer & Datnoff (1995), essa cultura é caracterizada por ser

acumuladora de silício, apresentando concentrações elevadas nas suas cinzas. Além disso, se trata de um subproduto ambientalmente seguro, pois, as quantidades de metais pesados, dioxinas, furanos não são suficientes para provocar danos ao solo e ao lençol freático (BEGA, 2014).

O silício, apesar de não ser um nutriente essencial, caracterizando-se como um elemento benéfico para as plantas, desempenha diversas funções como promoção da manutenção da taxa fotossintética, aumento da condutância estomática da planta e diminuição da taxa de transpiração (HATTORI et al., 2005). Alguns trabalhos já constataram os efeitos positivos do uso do silício para atenuar o estresse salino sobre as plantas (SOUSA, 2020; MACHADO, 2020).

Apesar de todos os trabalhos desenvolvidos, não há relatos da utilização deste fertilizante orgânico em associação a utilização com água salina sobre os aspectos produtivos, agrônômicos e fisiológicos do gergelim.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar a influência de diferentes doses de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, associada a irrigação com água salina, sobre as variáveis fisiológicas e agrônômicas da cultura do gergelim BRS seda no sertão pernambucano.

2.2. Específicos

Verificar qual dose de cinza da cana-de-açúcar proporciona maior rendimento e se há mitigação ao estresse salino para a cultivar de gergelim BRS Seda;

Avaliar os aspectos fisiológicos como trocas gasosas, pigmentos fotossintéticos e potencial hídrico foliar do gergelim sob irrigação com diferentes qualidades da água e doses de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar

Verificar variáveis de crescimento, produtividade, biomassa, teor de óleo, extração e exportação dos macronutrientes e micronutrientes e sódio na parte vegetativa e frutos de gergelim sob doses de cinza do bagaço de cana-de-açúcar e água salina.

3. HIPÓTESES

Os nutrientes contidos na cinza da cana-de-açúcar são suficientes para suprir as necessidades nutricionais da cultura do gergelim e proporcionar produtividades adequadas.

A salinidade da água de irrigação afeta negativamente todas as variáveis avaliadas. Entretanto, a utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar atenua ou minimiza os efeitos adversos da água salina sobre a essas variáveis.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Cultura do Gergelim (*Sesame indicum* L):

4.1.1. Aspectos históricos, botânicos e fenológicos da cultura

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) explorado comercialmente é a espécie mais comum do gênero *Sesamum* que contém mais de 20 espécies de plantas com flores, aos quais a maioria não foi domesticada. Possui alto nível de polimorfismo genético entre as diferentes áreas geográficas, característica importante para estudos genéticos evolutivos e funcionais. No entanto, evidencia-se que, há em alguns casos, ausência de correlação entre a distância genética e geográfica em função da disseminação humana (PHAM et al., 2009; ZHANG et al., 2019).

Seu centro de origem é motivo de discussão, em que, alguns estudiosos consideram que o gergelim teve sua origem na Etiópia no continente africano, por concentrar a maioria das espécies silvestres do gênero *Sesamum* e que depois se espalhou para a Índia, China e Japão (WEISS, 2000; GANGAIAH et al., 2012). Entretanto, em pesquisas realizadas por Bedigian & Harlan (1986) e Bedigian (2010) e mais recente por Wang et al. (2014) evidencia-se que o gergelim domesticado se originou no subcontinente indiano.

Essa espécie é classificada na sistemática vegetal como pertencente ao reino Plantae, é uma planta dicotiledônea, pertencente à família Pedaliaceae, ordem Tubiflorae, subordem Solamineae, tribo Sesameae (ARRIEL; BELTRÃO; FIRMINO, 2009).

Caracterizado como planta herbácea autógama, dicotiledônea, possui caule ereto, com ou sem ramificações, com ou sem pelos e altura variável 0,5 a 3,0 m, expressando heterofilia, ou seja, folhas com formas diferentes inseridas a níveis diferentes do caule ou ramo. As folhas que ficam na parte inferior são maiores, largas e mais arredondadas, e as da parte superior são mais estreitas e compridas. Possui sistema radicular pivotante com a presença de uma raiz principal, em sistema axonomorfo (BELTRÃO et al., 2013).

As flores são hermafroditas, podem estar dispostas de forma isolada ou em grupos de dois a três, com produção de néctar em um disco nectário ao redor do ovário e em um par de nectários extraflorais em ambos os lados do pedicelo (ANDRADE et al., 2014). São completas, gamopétalas, zigomorfas com colorações variando do branco ao violeta, localizadas nas axilas das folhas (BELTRÃO et al., 2013). O fruto é uma cápsula pilosa

oblonga, deiscente ou indeiscente com sementes oleaginosas, pequenas, de coloração amarela, brancas ou pretas, arredondadas e levemente comprimidas, em diferentes quantidades no fruto, a depender da cultivar (ARRIEL; BELTRÃO; FIRMINO, 2009).

No mercado produtivo existem várias cultivares de gergelim com potenciais de produção, dentre estas, pode-se destacar a cultivar BRS Seda, obtida por seleção massal aplicada na cultivar (Zirra FAO 51284) em pesquisa desenvolvida pela Embrapa algodão. Suas principais características estão na altura de porte mediano, hábito de crescimento ramificado, apresentando a haste de coloração verde. Possui sementes de cor branca de alto valor comercial com uso nas indústrias alimentícias e de confeitarias, cujo peso médio de mil sementes é de 3,22g e teor de óleo superior a 52%. Os frutos se dão de forma individual nas axilas das folhas e são deiscentes, ou seja, se abrem após a maturação completa (ARRIEL; BELTRÃO; FIRMINO, 2009).

A planta de gergelim possui quatro estágios fenológicos bem definidos consistindo das fases da germinação ao início do crescimento vegetativo de 1 a 15 dias após a emergência (DAE) seguindo da floração ao início da formação das vagens de 15 a 35 DAE prosseguindo até a formação das vagens de 35 a 75 DAE e finalizando com a maturação dos frutos de 75 a 90 DAE, com ciclo de desenvolvimento completo de 90 dias após a emergência (GRILO JR. & AZEVEDO, 2013).

4.1.2. Componentes nutricionais e econômicos

O gergelim é uma das culturas de sementes oleaginosas mais importantes e mais antigas do mundo utilizada pela humanidade, em que, ocupa importante posição na indústria, em razão do seu alto potencial econômico e sobretudo pela sua qualidade nutritiva, despertando interesse no mercado nacional e internacional (ZHANG et al., 2019). Os componentes nutricionais do grão são utilizados em tratamentos na área da saúde como produto farmacêutico, além de ser utilizado na confecção de massas, margarinas, lubrificantes, doces, tortas, tintas, sabonetes, cosméticos, dentre outros (LIMA et al., 2017; RIBEIRO et al., 2018).

A composição química da semente é caracterizada por ser uma fonte importante de óleo comestível com 44 a 58%, rico em proteína com 18 a 25% e 13,5% de carboidrato, ampliando as possibilidades de sua utilização (TENYANG et al., 2017). Além disso, no óleo, estão presentes ácidos graxos insaturados como oleico e linoleico e apresenta excelente estabilidade devido à presença de antioxidantes naturais como as lignanas que protegem do ranço oxidativo (ZENAWI & MIZAN, 2019; LIMA et al., 2020).

Segundo Castro et al. (2021), o gergelim possui ampla distribuição geográfica mundial, visto que, seu cultivo ocorre em cerca de 70 países. No entanto, a produção mundial de semente e óleo de gergelim está concentrada principalmente no continente africano e asiático, destacando-se entre os quatro maiores produtores o Sudão, Índia, Tanzânia e Myanmar, responsáveis por cerca de 51,5% da produção mundial, estimada em 6,3 milhões de megagramas, obtidas numa área de 12,5 milhões de hectares e produtividade média de 508 kg ha⁻¹, segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) no ano de 2021.

Nos últimos anos, a produção de sementes de gergelim no Brasil apresentou um crescimento exponencial em uma série temporal, especialmente a partir de 2017. Destacam-se os intervalos de 2018 e 2019, nos quais houve um aumento de 55.000 megagramas, representando um crescimento de 57,29% em relação ao ano anterior. É importante ressaltar que a área colhida também registrou um aumento notável de 230%, com área passando de 53.000 para 175.000 hectares. No entanto, nos anos seguintes houve uma queda tanto na área quanto na produção de sementes de gergelim, chegando a 62.000 megagramas, enquanto em área colhida reduziu para 118.000 hectares em 2021 (FAOSTAT, 2021).

Mesmo assim, a produção de gergelim no Brasil ainda é considerada baixa quando comparado aos maiores produtores mundiais. Isso pode estar atrelado ao fato da cultura ser predominantemente cultivada como meio de subsistência, pelo alto custo de operação, baixo nível tecnológico adotado e pelos insumos empregados, que em sua maior parte não supri as necessidades da cultura para expressar seu máximo potencial produtivo (QUEIROGA; GONDIM; QUEIROGA, 2009; SANTOS et al., 2018).

Segundo Lima et al. (2020) a produção de gergelim concentrava-se basicamente nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará e Ceará, sendo o estado de Mato Grosso o maior produtor nacional. Atualmente, segundo estimativas da CONAB para a safra de 2022/2023, essa produção está concentrada nas regiões Centro-Oeste e Centro Sul do país, compreendendo especialmente ainda ao estado de Mato Grosso com produção em torno de 96,9 megagramas, correspondendo a 58% da produção nacional.

Na região Nordeste em específico, essa cultura é plantada de forma tradicional, pois se constitui uma alternativa de importância socioeconômica para a região, por ser de fácil cultivo, apresentar tolerância relativamente alta a estiagem e, principalmente, por gerar renda e trabalho e ser fonte de alimento para produtores locais (FURTADO et al., 2017; RIBEIRO et al., 2019). Tais características acabam por transformar essa cultura em uma excelente opção de diversificação agrícola com grande potencial econômico para a

região (MELO & VOLTOLINI, 2019), mas ainda assim, é dependente da irrigação e manejo adequado para um cultivo competitivo em escala comercial (LIMA et al., 2017).

4.1.3. Cultivar BRS Seda

A cultivar de gergelim BRS SEDA, apresenta ampla adaptação a diversas condições edafoclimáticas, contudo prefere áreas com altitude de até 1.250 m e temperaturas médias do ar entre 23 °C a 30 °C. Pode produzir com precipitação pluvial entre 300 a 850 mm anuais e por isso é considerada uma espécie resistente a seca. Entretanto, seu máximo rendimento é obtido entre 500 e 650 mm, com distribuição de 35% da germinação ao florescimento, 45% durante o florescimento e 20% no início da maturação dos frutos. (EMBRAPA, 2009; SILVA et al., 2014).

A cultura do gergelim se desenvolve nos mais diversos tipos de solos, contudo, preferem aqueles de reação neutra. Favorecem seu cultivo, solos profundos de textura franco-arenosa, bem drenados e possuam boa fertilidade natural (GRILO JÚNIOR & AZEVEDO, 2013).

Do ponto de vista dos tratamentos culturais, a cultura apresenta baixa competitividade com plantas daninhas devido ao seu lento crescimento inicial (MANE et al., 2017), portanto, quando o controle de plantas daninhas não é adotado, principalmente nos períodos iniciais, o rendimento do gergelim pode ser reduzido, recomendado para a BRS Seda o início do controle no máximo em 15 dias, considerando uma perda de 5% em produtividade (LINS et al., 2019).

O gergelim é uma cultura que apresenta uma propensão ao alagamento e é especialmente suscetível a doenças fúngicas e bacterianas. No entanto, a variedade BRS Seda se destaca por sua tolerância específica à mancha angular, cercosporiose e à murcha de macrophomina. Isso significa que fatores bióticos (como doenças) e abióticos (como estresses ambientais) podem impactar o rendimento da lavoura, dependendo da intensidade e duração dessas condições adversas (WANG et al., 2014; SILVA et al., 2021). Em termos de estresse salino, Ayres & Westcot (1991) e Suassuna (2013), afirmam que o gergelim é sensível, e sabe-se que vários distúrbios podem ser ocasionados na planta devido a este tipo de exposição.

5. Estresse salino nas plantas e seu efeito no gergelim

Em informações divulgadas pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, estima-se que, os solos afetados por sais ocorrem em mais de 100 países, e que mais de 830 milhões de hectares de terras aráveis são afetados pela salinização,

correspondendo a cerca de 10% das terras aráveis do globo, além disso, adverte que 250 milhões de hectares irrigados no mundo cerca de, 50% já apresentam problemas de salinização (FAO, 2015; FAO, 2020).

A salinidade é um dos principais estresses abióticos globais que afetam negativamente aspectos fisiológicos e bioquímicos das plantas, constituindo-se como um dos fatores mais importantes responsáveis pela degradação do solo e pelo decréscimo no rendimento de culturas agrícola, especialmente em regiões áridas e semiáridas (FREIRE et al., 2014; RIBEIRO et al., 2018).

Nessas regiões é comum a ocorrência da concentração de sais no solo e na água, resultado de causas naturais, provenientes do material de origem e condições ambientais em que a evapotranspiração potencial em maior parte do ano excede a precipitação. Mas, também por ação antrópica, pelo uso inadequado e excessivo de irrigação, fertilizantes e por drenagem ineficiente. (SANTOS et al., 2018; CORDÃO et al., 2020).

Biologicamente, muitas plantas são afetadas de maneira adversa pela presença de sais em níveis relativamente baixos como as glicófitas, outras podem tolerar ou mesmo progredir em níveis elevados de sais, como as halófitas, plantas geneticamente adaptadas a ambientes salinos (TAIZ et al., 2017).

Dessa forma, as principais restrições do estresse salino sobre as plantas incluem a diminuição do potencial osmótico do solo e, conseqüente, redução da capacidade de absorção de água e nutrientes. Citotoxicidade por acumulação de íons específicos, principalmente Na^+ e Cl^- , que induzem a desordens e injúrias, principalmente nas folhas, competição nos sítios de troca com macronutrientes essenciais, levando as plantas ao desequilíbrio nutricional e impactando no crescimento da parte aérea e inibição da fotossíntese (LIMA et al., 2017; NÓBREGA et al., 2018).

Além disso, provoca desnaturação proteica, desestabilização de membranas com impacto no funcionamento do fotossistema II que é um indicador da eficiência no uso da radiação fotoquímica e, conseqüentemente, na assimilação de CO_2 pelas plantas (TAIZ et al., 2017; FREIRE et al., 2014).

Para superar esses efeitos adversos, as plantas desenvolveram mecanismos de defesa, por meio da síntese de moléculas e osmoprotetores no citoplasma, ou envolvendo o ajuste osmótico, pelo sequestro de íons no vacúolo através da membrana plasmáticas, para impedir o acúmulo de íons minerais no citosol. Sintetizam proteínas de estresse que podem contribuir para a via de desintoxicação, como parte da enzima sequestrante ou ajudar na síntese de antioxidantes. Em algumas plantas os íons minerais em excesso não

são absorvidos, sendo excluídos pelas raízes ou excretados por glândulas de sal presentes nas folhas. (BEKELE et al., 2017; TAIZ et al., 2017).

Como já citado por Ayres & Westcot (1991) e Suassuna (2013), o gergelim é sensível à salinidade da água. No entanto, outros autores, como Li et al. (2018) e Zhang et al. (2019), sugerem que a cultura é moderadamente tolerante ao estresse salino e que essa diversidade nas respostas do gergelim ao estresse de sal é condicionada por fatores genéticos ou estágios de desenvolvimento, concentração e tempo de exposição aos sais, bem como às práticas de manejo da irrigação e adubação (DIAS et al., 2017).

Vários trabalhos envolvendo estratégias de uso de água salina e a cultura do gergelim foram realizados nos últimos anos e revelam a diversidade de respostas obtidas quando exposta a esse tipo de estresse. Dias et al. (2017), constataram que a utilização de água salina, mesmo em baixa condutividade elétrica, promove redução na produção e trocas gasosas da cv. CNPA G3, classificando-a como sensível ao estresse salino. Sousa et al. (2017) observaram efeitos depressivos no crescimento inicial e Cordão et al. (2020) constaram que cultivar de gergelim BRS seda possui capacidade de tolerância ao estresse salino à solução de até $1,8 \text{ dS m}^{-1}$ na fase de germinação, no entanto, com redução no crescimento.

Já Li et al. (2018), avaliando o gergelim na fase de plântulas submetendo-o ao estresse salino induzido, constataram que a maioria dos acessos estudados se mostraram tolerantes e ainda descobriram potenciais genes candidatos a resposta do estresse salino, assim como resultados obtidos por Zhang et al. (2019) e Gong et al. (2021).

No entanto, ainda se faz necessário estudo com diferentes cultivares e diferentes situações, além de considerar a interação com outros fatores, a fim de compreender o comportamento do gergelim em condições salinas.

6. Fertilizantes alternativos na nutrição de plantas

Para um crescimento e desenvolvimento satisfatório, as plantas requerem uma variedade de nutrientes diferentes, que podem ser fornecidos por fontes inorgânicas ou orgânicas, ou por uma combinação de ambos (NABEELA et al., 2015).

Na legislação brasileira, segundo Decreto n.º 4.954, de 14 de janeiro de 2004, os fertilizantes são definidos como “substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes das plantas” e os fertilizantes orgânicos como “produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas

de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais” (BRASIL, 2004).

Esses fertilizantes alternativos podem ser sólidos ou líquidos e tem como função repor ou elevar os teores de nutrientes no solo retirados em função da colheita, para manter ou ampliar o potencial produtivo das culturas agrícolas, a exemplo dos esterco, compostos orgânicos, vermicompostos, biofertilizantes (ARRUDA et al., 2016) e a cinza vegetal, material fonte de nutrientes como potássio, cálcio, magnésio, fósforo e outros elementos que podem beneficiar no desenvolvimento das plantas. Portanto, são materiais importantes para reduzir os custos, aumentar a sustentabilidade e a preservação de recursos naturais (OLIVEIRA et al., 2013; PIVA et al., 2014).

Alguns estudos estão sendo realizados na busca de novas tecnologias que propiciem a diminuição da utilização de insumos agrícolas convencionais por práticas de manejo sustentável que envolvem, basicamente, a utilização de insumos naturais que influenciam diretamente nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, mas que atendam de maneira satisfatória as necessidades nutricionais e outras necessidades agrônômicas de uma forma ampla, como a estratégia de redução parcial dos efeitos negativos causados pelo excesso de sais solúveis presentes na água de irrigação (MIRANDA et al., 2011; SOUSA et al., 2019).

No gergelim, a aplicação de fertilizantes na forma orgânica ou inorgânica é componente chave para um bom crescimento, alto rendimento, alta qualidade de sementes e teor de óleo. Neste contexto, há a necessidade de avaliar os melhores fertilizantes e doses a serem aplicados, para maximizar os lucros, a produtividade e a qualidade final dos produtos.

Conforme pesquisas de Euba Neto et al. (2016) utilizando diversas fontes orgânicas e Silva et al. (2016) trabalhando com esterco bovino e Santos et al. (2019) com adubação organomineral, constataram efeitos positivos da fertilização orgânica sob a produção da cultura do gergelim. No caso da fertilização com cinzas, os dados ainda são incipientes para a cultura.

7. Cinza vegetal *versus* agricultura biosalina

A cinza da biomassa é o produto resultante da combustão incompleta de espécies vegetais, sendo a sua composição qualitativa e quantitativa de nutrientes e matéria orgânica dependente do material de origem, da temperatura de carbonização, responsável pela maior ou menor sublimação dos componentes químicos e da adoção ou não da requeima, (MERINO et al., 2017; MAEDA; SILVA; CARDOSO, 2008).

As cinzas orgânicas podem ser obtidas de resíduos oriundos da queima de madeira, da palha de arroz carbonizada, da cana-de-açúcar, dentre outros resíduos ou subprodutos da agroindústria, que seriam normalmente depositados em aterros (BUSS; JANSSON; MAŠEK, 2019).

O reaproveitamento das cinzas é considerado uma alternativa viável e ecologicamente correta pela possibilidade de ciclagem de nutrientes e por se configurar uma importante fonte de macro e micronutrientes, podendo ser utilizada na nutrição de plantas, principalmente em solos com baixa fertilidade natural, como condicionador do solo contribuindo para melhorias nas propriedades físicas e químicas ou para corrigir o teor de acidez do solo (ARRUDA et al., 2016; BONFIM-SILVA et al., 2018; NABEELA et al., 2015).

Segundo Santiago da Costa et al. (2018) a aplicação das cinzas é uma opção para a substituição total ou parcial de fertilizantes químicos, em função dos efeitos, mas também pelo aumento dos preços e dependência dos fertilizantes sintéticos externos, sendo um dos objetivos do Plano Nacional de Fertilizantes 2022 – 2050 em aumentar a produção e a oferta de insumos orgânicos.

A cinza vegetal possui elevada quantidade de potássio, elemento fundamental em eventos fotoquímicos na planta, atua como ativador enzimático, síntese de proteínas, alongamento celular, osmorregulação, fluxo de íons nas células guardas associadas a abertura dos estômatos (TAIZ et al., 2017) além do cálcio, magnésio e fósforo em menores proporções (OLIVEIRA et al., 2013). Segundo Korndörfer & Datnoff (1995), a cana-de-açúcar é caracterizada por ser uma espécie acumuladora de silício (Si), apresentando concentrações elevadas de Si nas suas cinzas.

Os efeitos agrícolas da aplicação de cinzas quanto a capacidade de potencializar os processos produtivos e os efeitos benéficos foram observados por vários autores, a exemplo de: Bonfim-Silva et al. (2018); Bonfim-Silva et al. (2022) e Gomes et al. (2017) sobre o crescimento vegetativo do cártamo e produção de tomate, respectivamente. Nas características físico-químicas Fahim et al. (2017) constaram que a aplicação de cinzas no solo trouxe aumentos na aeração do solo, capacidade de retenção de água, bases trocáveis, aumento da macroporosidade e redução da acidez do solo (TUCHTENHAGEN, et al., 2017).

Nas variáveis fotoquímicas, Santiago da Costa et al. (2018) relataram maiores médias nas taxas fotossintéticas, quando submetida a fertilização com cinzas. Ademais, estudos da aplicação de cinza em conjunto com outros materiais vegetais também se

mostram promissores, como reportado por Buss, Jansson; Mašek. (2019) e Sousa, et al. (2017).

Muito embora, detenha de seu poder benéfico, as cinzas aplicadas ao solo sem planejamento, podem alterar diversas características químicas, físicas ou microbiológicas, em função da constituição do material, rico em óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos, constituindo-se de material altamente alcalino (VASSILEV et al., 2013) em função disso pode causar um aumento do pH do solo para valores inadequados e prejudicar a absorção de nutriente, causar toxidez as plantas e mudanças na microbiota do solo (BANG-ANDREASEN et al., 2021).

Na agricultura biossalina, diversas estratégias de manejo são utilizadas para minimizar os efeitos do estresse salino sobre as plantas e a utilização de cinzas da cana-de-açúcar é uma delas, especialmente por se tratar de um material fonte de potássio e silício, elementos citados na literatura como atuantes na mitigação desse tipo de estresse abiótico. Isso porque o fornecimento e o acúmulo do cátion K^+ nas plantas, favorece um gradiente osmótico que facilita o movimento de água na planta, regulando a abertura estomática e desempenhando um papel vital na turgidez celular, componente essencial em plantas sobre estresse salino, além exercer funções importantes na fisiologia e bioquímica dos vegetais (MELO et al. 2014; SILVEIRA et al., 2016).

Já o silício (si) é um elemento benéfico utilizado para o crescimento de plantas sob fatores bióticos e abióticos (SANTOS et al., 2021) e pode conferir certo grau de tolerância das plantas aos sais, atribuindo-se ao aumento da captação mediada por Si de K^+ e diminuição na captação e translocação de Na^+ da parte aérea das plantas para as raízes. O Si atua na regulação das trocas gasosas, aumento da atividade antioxidante, redução da permeabilidade das membranas celulares, redução da toxicidade iônica, do estresse osmótico e manutenção do equilíbrio hídrico da planta (LIANG et al., 2006; RIZWAN et al., 2015). No entanto, esses autores relatam que ainda há uma necessidade de explorar esses mecanismos para melhor compreensão da mediação do Si na tolerância aos sais.

Conforme pesquisas realizadas por Lima et al. (2011), a aplicação de silício atenuou o efeito negativo causado pelo sal sobre o crescimento do milho e por Tuna et al. (2008) a aplicação de silício reduziu a permeabilidade da membrana plasmática ao sódio, mantendo-a para o potássio e cálcio e reduziu o transporte de sódio para as raízes, aliviando o estresse causado pelos sais.

A aplicação de cinzas em associação com a irrigação com águas de qualidade inferior, e a redução dos efeitos dos sais sobre a plantas foram demonstradas por Fahim

et al. (2017) na produtividade do arroz e por Costa et al. (2019) na cultura da abobrinha. Sales et al. (2021) e Sousa et al. (2021), utilizando diferentes fontes orgânicas, incluindo as cinzas da cana-de-açúcar e diferentes qualidades de água, encontraram decréscimos nas variáveis fisiológicas em plantas de quiabo e amendoim, respectivamente, à medida que a salinidade da água aumentava, mas em intensidade menor do que a encontrada quando se utilizou o insumo orgânico, atribuindo esse resultado a geração de um melhor equilíbrio nutricional e aumento da eficiência e acúmulo do K⁺ nas células-guarda.

8. REFERÊNCIAS

ANDRADE, P. B. D.; FREITAS, B. M.; ROCHA, E. E. D. M.; LIMA, J. A. D.; RUFINO, L. L. Floral biology and pollination requirements of sesame (*Sesamum indicum* L.). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.36, n.1, p.93-99, 2014.

ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. D. M.; FIRMINO, P. D. T. **Gergelim: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. 209p.

ARRUDA, J. A.; AZEVEDO, T. A. O.; OLIVEIRA FREIRE, J. L.; BANDEIRA, L. B.; MEDEIROS, E. J. W.; AZEVEDO, S. S. J. Uso da cinza de biomassa na agricultura: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas. **Revista Principia**, v.1, n.30, p.18, 2016.

AYRES, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.

BANG-ANDREASEN, T.; PELTRE, M.; ELLEGAARD-JENSEN, L.; HANSEN, L. H.; INGERSLEV, M.; RØNN, R.; KJØLLER, R. Application of wood ash leads to strong vertical gradients in soil pH changing prokaryotic community structure in forest top soil. **Scientific Reports**, v.11, n.1, p.1-10, 2021.

BEDIGIAN, D. Characterization of sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm: a critique. **Genetic resources and crop evolution**, v.57, n.5, p.641-647, 2010.

BEDIGIAN, D.; HARLAN, J. R. Evidence for cultivation of sesame in the ancient world. **Economic Botany**, v.40, n.2, p.137-154, 1986.

BEGA, R. M. **Aplicação de cinza do bagaço de cana-de-açúcar em latossolo cultivado com cana-de-açúcar**. 55f. (Tese de Doutorado em Produção vegetal) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, 2014.

BEKELE, A.; BESUFEKAD, Y.; ADUGNA, S.; YINUR, D. Screening of selected accessions of Ethiopian sesame (*Sesame indicum* L.) for salt tolerance. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v.9, p.82-94, 2017.

BELTRÃO, N. E. D. M.; ROCHA, M. D. S.; QUEIROZ, N. L.; FERREIRA, L. L.; TAVARES, M. D. S.; ALENCAR, R. D.; PORTO, V. C. N. **O gergelim e seu cultivo no semiárido brasileiro**. 2013. 240p.

BOLETIM DA SAFRA DE GRÃO: GRÃOS. 8º levantamento – Safra 2022/2023, Brasília, maio de 2023. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 09/06/2023.

BONFIM-SILVA, E. M.; MARTINEZ-SANTOS, T.; SILVA, T. J.; ALVES, R. D. D. S.; PINHEIRO, E. A.; DUARTE, T. F. Wood ash as a vegetative-growth promoter in soils with subsurface compaction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.26, p.258-265, 2022.

BONFIM-SILVA, E. M.; SANTOS, T. M.; DOURADO, L. G. A.; SILVA, C. T. R.; FENNER, W.; SILVA, T. J. A. Wood ash as a corrective and fertilizer in safflower crop in Oxisol of Brazilian cerrado. **Journal of Agricultural Science**, v.10, n.9 p.412-422, 2018.

BRASIL. **Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Dispõe da alteração do regulamento da lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, da inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. Brasília, v.48, p.44, 2004.

BUSS, W.; JANSSON, S.; MAŠEK, O. Unexplored potential of novel biochar-ash composites for use as organo-mineral fertilizers. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p.960-967, 2019.

CASTRO, V. R.; SANTOS FURTADO, M. C.; BERMÚDEZ, V. M. S.; SILVA, E. F.; NASCIMENTO, V. L. Avaliação da qualidade oleoquímica das sementes de gergelim

(*Sesamum indicum*) e girassol (*Helianthus annuus*). **Research, Society and Development**, v.10, n.7, p.1-10, 2021.

CORDÃO, M. A.; SOBRINHO, T. G.; BRITO, K. Q. D.; TAVARES, A. J. F.; DO NASCIMENTO, R. Plântulas de gergelim cv. BRS seda sob aplicação de água salinizada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 3, p. 319-324, 2020.

COSTA, F. H. R.; SILVA, G. J. M.; SILVA, A.B.; CANJÁ, J.F.; FREIRE, M.H.C.; SOUSA, G.G. Água salina e formas de adubação na cultura da abobrinha. **Revista brasileira de agricultura irrigada**, v.13, n.6, p. 3757-3764, 2019.

DIAS, A. S.; DE LIMA, G. S.; PINHEIRO, F. W. A.; GHEYI, H. R.; DOS ANJOS SOARES, L. A.; NOBRE, R. G.; OLIVEIRA, S. G. Gas exchanges and growth of sesame (*Sesamum indicum*, L.) cultivated under saline waters and nitrogen-potassium fertilizers. **Australian Journal of Crop Science**, v.13, n.9, p.1526-1532, 2019.

DIAS, A. S.; LIMA, G. S. D.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SANTOS, J. B. D. Emergence, growth and production of sesame under salt stress and proportions of nitrate and ammonium. **Revista Caatinga**, v.30, n.2, p.458-467, 2017.

DIAS, A. S.; LIMA, G. S.D.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. A. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica do gergelim sob estresse salino e adubação com nitrato-amônio. **Irriga**, v.23, n.2, p.220-234, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. BRS SEDA: **Gergelim BRS Seda**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 2009. 2p.

EUBA NETO, M.; PEREIRA, W. E.; SOUTO, J. S.; ARRIEL, N. H. Crescimento e produtividade do gergelim em Neossolo Flúvico em função da adubação orgânica. **Revista Ceres**, v.63, n.4, p.568-575, 2016.

FAHIM, A. H. F.; KADER, M. A.; NAHAR, M. S.; WADUD, M. A.; ISLAM, M. A. Application of Ash for Amelioration of Salinity Effect in Rice. **Bangladesh Agronomy Journal**, v.20, n.1, p.31-36, 2017.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAOSTAT **Production Crops**. [on-line] 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> Acesso em: 09/06/2023.

FAO AND ITPS. Status of the World's Soil Resources – Main Report. **Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils**, Rome, Italy. 2015. 607p.

FAO.; ITPS.; GSBI.; CBD.; EC. **State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities**, Report 2020. Rome, FAO. 2020. 583p.

FERREIRA, E. P. B.; FAGERIA, N. K.; DIDONET, A. D. Chemical properties of an Oxisol under organic management as influenced by application of sugarcane bagasse ash. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.2, p.228-236, 2012.

FREIRE, J. L. O.; DIAS, T. J.; CAVALCANTE, L. F.; FERNANDES, P. D.; NETO, A. J. L. Rendimento quântico e trocas gasosas em maracujazeiro amarelo sob salinidade hídrica, biofertilização e cobertura morta. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, n.1, p.82-91, 2014.

FURTADO, G. F.; SOUZA, A. S.; LACERDA, R. R. A.; CHAVES, L. H. G.; SOUSA JÚNIOR, J. R.; SOUSA, J. R. M. Produção de feijão-caupi e gergelim consorciado com mamoneira no Semiárido paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.12, n.1, p.1-6, 2017.

GANGAIAH, B. **Agronomy-Kharif Crops: Sesame**, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India, 2012.

GOMES, D. P.; CARVALHO, D. F. D.; PINTO, M. F.; VALENÇA, D. D. C.; MEDICI, L. O. Growth and production of tomato fertilized with ash and castor cake and under varying water depths, cultivated in organic potponics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.39, n.2, p. 201-209, 2017.

GONG, H.; YOU, J.; ZHANG, X.; LIU, Y.; ZHAO, F.; CUI, X.; ZHANG, Y. Genome-Wide Identification and Functional Analysis of Long Non-coding RNAs in Sesame Response to Salt Stress. **Journal of Plant Biology**, v.64, n.6, p.555-565, 2021.

GRILO JR, J. A. S.; AZEVEDO, P. D. Crescimento, desenvolvimento e produtividade do gergelim BRS Seda na Agrovila de Canudos, em Ceará Mirim (RN). **Holos**, v.2, p.19-33, 2013.

HATTORI, T.; INANAGA, S.; ARAKI, H.; AN, P.; MORITA, S.; Luxová, M. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. **Physiologia Plantarum, Kobenhavn**, v.123, n.4, p.459-466, 2005.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. **Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana de açúcar e do arroz**. Informações Agronômicas, Piracicaba, v.70, p.1-5, 1995.

LI, D.; DOSSA, K.; ZHANG, Y.; WEI, X.; WANG, L.; ZHANG, Y.; ZHANG, X. GWAS uncovers differential genetic bases for drought and salt tolerances in sesame at the germination stage. **Genes**, v.9, n.2, p.87, 2018.

LIANG, Y.; SUN, W.; ZHU, YG.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental pollution**, v.147, n.2, p. 422-428, 2006.

LIMA, G. S. D.; DIAS, A. S.; SOARES, L. A. D. A.; GHEYI, H. R.; CAMARA, J. P.; OLIVEIRA, L. D. D. Cultivation of CNPA G3 sesame irrigated with saline water and fertilized with nitrate-N and ammonium-N. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.1, p.14-20, 2017.

LIMA, G. S. D.; LACERDA, C. N. D.; SOARES, L. A. D. A.; GHEYI, H. R.; ARAÚJO, R. H. C. R. Production characteristics of sesame genotypes under different strategies of saline water application. **Revista Caatinga**, v.33, n.2, p.490-499, 2020.

LIMA, M.A.; CASTRO, V.F.; VIDAL, J.B. E FILHO, J.E. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.2, p.398-403, 2011.

LIMA, M.S.R.; ROCHA, M. DO S.; MELO, A.S. DE; DUTRA, W.F. Physiological, biochemical and productive changes in sesame genotypes subjected to different rates of water replenishment. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, p.176-182, 2018.

LINS, H. A.; SOUZA, M. D. F.; ALBUQUERQUE, J. R. T. D.; SANTOS, M. G. D.; BARROS, A. P.; SILVA, D. V. Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do gergelim. **Ciência e Agrotecnologia**, v.43, e000819, 2019.

MACHADO, M. S. **Aplicação de silicato de potássio em coentro e cebolinha sobre estresse salino da solução nutritiva**. 74 f. (Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

MAEDA, S.; DA SILVA, H. D.; CARDOSO, C. Resposta de *Pinus taeda* L. à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. **Pesquisa Florestal Brasileira**. n.56, p.43-52, 2008.

MANE, S.V.; KANADE, V.M.; SHENDAGE, G.B.; SARAWALE, P.P.; SHETYE, V.N. Weed management in *Sesamum (Sesamum indicum L.)* grown under coastal region of Maharashtra. **Journal of the Indian Society of Coastal Agricultural Research**, v.35, n.1, p.31-33, 2017.

MELO, A. S. DE; SILVA JÚNIOR, C. D.; FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; SOBRAL, L. F.; SUASSUNA, A. F.; VIÉGAS, P. R. A.; FERRAZ, R. L. S. Teor de clorofila e macronutrientes no tecido foliar de *Musa* sp ‘Prata- Anã’ sob fertirrigação. **African Journal of Agricultural Research**, v.9, n.22, p.1714-1720, 2014.

MELO, R. F.; VOLTOLINI, T. V. **Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido**. Embrapa Semiárido-Livro técnico (INFOTECA-E), 2019. 467p.

MERINO, A.; OMIL, B.; HIDALGO, C.; ETCHEVERS, J. D.; BALBOA, M. A. Characterization of the organic matter in wood ash from biomass power plants in relation to the potential use as amendments in agriculture. **Land Degradation and Development**, v.28, n.7, p.2166- 2175, 2017.

MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA, E. E. M.; SANTOS, K. C. F.; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.484-490, 2011.

NABEELA, F.; MURAD, W.; KHAN, I.; MIAN, I. A.; REHMAN, H.; ADNAN, M.; AZIZULLAH, A. Effect of wood ash application on the morphological, physiological and biochemical parameters of *Brassica napus* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.95, n.3, p.15-25, 2015.

NÓBREGA, J. S.; LOPES, K. P.; SANTOS, J. B. D.; PAIVA, F. J. D. S.; SILVA, J. G. D.; LIMA, G. S. D. Quality of sesame seeds produced under soil salinity levels. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.48, p.280-286, 2018.

OLIVEIRA, W.; MATIAS, S.; SILVA, R.; SILVA, R.; ALIXANDRE, T.; NÓBREGA, J. Crescimento e produção de melancia Crimson Sweet com adubação mineral e orgânica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.8, n.2, p. 12, 2013.

PHAM, T.D.; BUI, T.M.; WERLEMARK, G.; BUI, T.C, MERKER, A.; CARLSSON, A.S. A study of genetic diversity of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Vietnam and Cambodia estimated by RAPD markers. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.56, n.5, p. 679-690, 2009.

PIVA, R.; BOTELHO, R. V.; MÜLLER, M. M. L.; AYUB, R. A.; ROMBOLÀ, A. D. Adubação de manutenção em videiras cv. Bordô utilizando-se cinzas vegetais e esterco bovino em sistema orgânico. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**. v.9, n.2, p.219-224, 2014.

QUEIROGA, V. DE P.; GONDIM, T.M. DE S.; QUEIROGA, D.A.N. Tecnologias sobre operações de semeadura e colheita para a cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.). **Revista Agro@mbiente**, v.3, n.2, p.106-121, 2009.

RIBEIRO, R. M. P.; ALBUQUERQUE, J. R. T. D.; PEREIRA, C. C. A.; PEREIRA, L. A. F.; BARROS JUNIOR, A. P.; SILVEIRA, L. M. D.; GRANGEIRO, L. C. Nutrient uptake in sesame cultivars under cultivation in semiarid conditions. **Bioscience Journal** (Online), v.35, n.1, p.137-147, 2019.

RIBEIRO, R. M. P.; ALBUQUERQUE, J. R. T. D.; SANTOS, M. G. D.; BARROS JÚNIOR, A. P.; GRANGEIRO, L. C.; SILVEIRA, L. M. D. Growth dynamics of sesame cultivars. **Revista Caatinga**, v.31, n.4, p.1062-1068, 2018.

RIZWAN, M.; ALI, S.; IBRAHIM, M.; FARID, M.; ADREES, M.; BHARWANA, S.A.; REHMAN, M.Z.; QAYYUM, M.; ABBAS F. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v.22, p.15416-15431, 2015.

SALES, J. R. D. S.; MAGALHÃES, C. L.; FREITAS, A. G.; GOES, G. F.; SOUSA, H. C. D.; SOUSA, G. G. D. Physiological indices of okra under organomineral fertilization

and irrigated with salt water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.25, n.7, p.466-471, 2021.

SANTIAGO DA COSTA, R.; BARROS, P. P. A. F.; SILVA, C. M. E.; NASCIMENTO, S. J. W.; MIRANDA, P. C.; VIEIRA, A. A. Crescimento e fisiologia de melancia submetida a doses de cinzas de bagaço de cana. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v.12, n.5, 2897-2906, 2018.

SANTOS, L. C.; SILVA, G. A. M.; OLIVEIRA, A. M.; ROCHA, J. L. A.; ARAÚJO, S. S. T.; RIBEIRO, M. D. S.; DE SOUSA, F. Q. O papel do silício nas plantas. **Research, Society and Development**, v.10, n.7, p. 1-19, 2021.

SANTOS, M. G.; RIBEIRO, R. M. P.; DE ALBUQUERQUE, J. R. T.; LINS, H. A.; JÚNIOR, A. P. B.; NETO, F. B.; DE SOUZA, A. R. E. Production performance of sesame cultivars under different nitrogen rates in two crops in the Brazilian semi-arid region. **Industrial Crops and Products**, v. 124, p. 1-8, 2018.

SANTOS, S. C. S.; FERNANDES, P. D.; QUEIROZ, M. F. D.; ARRIEL, N. H.; RIBEIRO, V. H. D. A.; FERNANDES, J. D. Physiology and production of sesame genotypes BRS-Seda and Preto under organomineral fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.12, p.914-918, 2019.

SILVA, A. A. R.; LACERDA, C. N.; LIMA, G. S.; ANJOS SOARES, L. A.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D. Morfofisiologia de genótipos de gergelim submetidos a diferentes estratégias de uso de água salina. **Irriga**, v.1, n.1, p.42-55, 2021.

SILVA, J. C.; FERNANDES, P. D.; BEZERRA, J. R.; ARRIEL, N. H.; CARDOSO, G. D. Crescimento e produção de genótipos de gergelim em função de lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.4, p.408-416, 2014.

SILVA, P. S. S.; DE FREITAS, G. A.; DOS SANTOS, A. C.; DA SILVA, R. R.; DA SILVA CARNEIRO, J. S. Resposta do gergelim à adubação com esterco bovino e doses de fósforo no sul de Tocantins. **Scientia Agraria**, v.17, n.2, p.41-48, 2016.

SILVEIRA, J.A.G; SILVA, S.L.F; SILVA, E.N. Mecanismo biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. *Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados*. 2. ed. Fortaleza. Cap. 13. p.181-197. 2016

SOUSA, G. G.; DE SOUZA, M. V. P.; DA SILVA GUILHERME, J. M.; DA SILVA JUNIOR, F. B.; FREITAS, A. G. S.; DE ARAÚJO VIANA, T. V. Crescimento de morangueiro submetido a níveis de salinidade e adubação orgânica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.14, n.4, p.485-490, 2019.

SOUSA, G. G.; FIUSA, J. N.; LEITE, K. N.; SOARES, S. C.; DA SILVA, G. L. Água salina e biofertilizante de esterco bovino na cultura do gergelim. **Agropecuária Técnica**, v.38, n.3, p.117-124, 2017.

SOUSA, J. T.; SOUSA, G. G. D.; SILVA, E. B. D.; SILVA JUNIOR, F. B. D.; VIANA, T. V. D. A. Physiological responses of peanut crops to irrigation with brackish waters and application of organo-mineral fertilizers. **Revista Caatinga**, v.34, n.3, p.682-691, 2021.

SOUSA, V. F. O. Efeito da adubação silicatada em pimenteira sob estresse salino. **Meio Ambiente (Brasil)**, v.1, n.2, 2020.

SUASSUNA, J. F. **Tolerância de genótipos de gergelim o estresse salino**. 118f. (Tese de doutorado em Engenharia agrícola) Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2013. 126p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017. 888p.

TENYANG, N.; PONKA, R.; TIENCHEU, B.; DJIKENG, F. T.; AZMEERA, T.; KARUNA, M. S.; WOMENI, H. M. Effects of boiling and roasting on proximate composition, lipid oxidation, fatty acid profile and mineral content of two sesame varieties commercialized and consumed in Far-North Region of Cameroon. **Food Chemistry**, v.221, n.1, p.1308-1316, 2017.

TUCHTENHAGEN, I. K.; LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A.; VAHL, L. C.; STUMPF, L. Cinza de casca de arroz como alternativa para melhorar a qualidade estrutural de um Argissolo. **Interciencia**, v.42, n.3, p.163-167, 2017.

TUNA, A.L.; KAYA, C.; HIGGS, D.; MURILLO-AMADOR, B.; AYDEMIR, S.; GIRGIN, A R. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.62, n.1, p.10-16, 2008.

VASSILEV, S. V.; BAXTER, D.; ANDERSEN, L. K.; VASSILEVA, C. G. An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase–mineral and chemical composition and classification. **Fuel**, v.105, p.40-76, 2013.

WANG, L.; HAN, X.; ZHANG, Y.; LI, D.; WEI, X.; DING, X.; ZHANG, X. Deep resequencing reveals allelic variation in *Sesamum indicum*. **BMC Plant Biol.** v.14, p.1-225, 2014.

WEISS, E. A. **Oilseed Crops, Black well Science**, Malden, MA, 2000.

ZENAWI, G.; MIZAN, A. Effect of nitrogen fertilization on the growth and seed yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). **International Journal of Agronomy**, v.1, p.1-7. 2019.

ZHANG, Y.; WEI, M.; LIU, A.; ZHOU, R.; LI, D.; DOSSA, K.; YOU, J. Comparative proteomic analysis of two sesame genotypes with contrasting salinity tolerance in response to salt stress. **Journal of Proteomics**, v.201, n.1, p.73-83, 20

-----CAPÍTULO II-----
**DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE PLANTAS DE GERGELIM SOB
ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO COM CINZA VEGETAL**

CAPÍTULO II - DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE PLANTAS DE GERGELIM SOB ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO COM CINZA VEGETAL

Resumo: Devido à distribuição irregular de chuvas, alta evapotranspiração e geologia da região semiárida, as águas utilizadas para irrigação apresentam altos teores de sais. O gergelim é afetado negativamente pela salinidade do solo e da água, sendo este, uma das restrições ambientais para o seu desenvolvimento. Nesse contexto, a busca por estratégias para minimizar os efeitos do estresse salino sobre as plantas torna-se fundamental e uma das abordagens possíveis é a utilização de cinza vegetal como fertilizante. Dessa forma, objetivou-se investigar possíveis efeitos causados pela irrigação com água salina e a atenuação pela adubação com cinza do bagaço-da-cana-de-açúcar sobre as trocas gasosas, teor de clorofila e potencial hídrico foliar do gergelim. O estudo foi conduzido na Universidade Federal Rural de Pernambuco na Unidade Acadêmica de Serra Talhada. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial ((5 x 2) + 2). Os tratamentos consistiram em cinco doses de cinza da cana-de-açúcar (0, 30, 60, 90 e 120 g planta⁻¹), duas fontes de água (0,5 dS m⁻¹ do abastecimento público e 4,1 dS m⁻¹ de poço artesiano) e duas testemunhas adicionais (T1 = Adubação recomendada + água de 0,5 dS m⁻¹); e (T2 = Adubação recomendada + água de 4,1 dS m⁻¹). Foram avaliados nas trocas gasosas: Taxa de assimilação líquida de CO₂ (*A*), transpiração foliar (*E*), condutância estomática (*gs*), concentração interna de CO₂ (*Ci*), eficiência instantânea no uso da água (*A/E*) e eficiência instantânea de carboxilação (*A/Ci*). Para pigmentos, clorofila *a*, *b*, total e carotenoides e por fim, o potencial hídrico foliar. Nas doses estudadas, as cinzas da cana-de-açúcar não foram eficazes para atenuar os efeitos dos sais nos aspectos fisiológicos do gergelim. Durante o primeiro ciclo, e até os 39 dias após a emergência (DAE) do segundo ciclo, os sais não afetaram negativamente as trocas gasosas. No entanto, aos 59 DAE, a irrigação com água salina reduziu a (*A*), (*E*), (*gs*), e a (*A/Ci*). Os pigmentos fotossintéticos não foram afetados negativamente pela salinidade da água de irrigação até os 42 DAE. Contudo, aos 64 DAE, a irrigação com água salina prejudicou a concentração de carotenoides. A aplicação de 120 g planta⁻¹ da cinza vegetal influenciou positivamente a concentração de clorofila *b* aos 64 DAE das plantas. O potencial hídrico da folha do gergelim não foi afetado pela irrigação com água de 4,1 dS m⁻¹, indicando uma possível capacidade de regulação do balanço hídrico pelo gergelim sob condições de salinidade moderada.

Palavras-chave: *Sesamum Indicum* L, fisiologia, adubação orgânica, *Saccharum officinarum*, estresse abiótico.

PHYSIOLOGICAL PERFORMANCE OF SESAME PLANTS UNDER SALINE STRESS AND VEGETABLE ASH FERTILIZATION

Abstract: Due to the irregular distribution of rainfall, high evapotranspiration and the geology of the semi-arid region, the water used for irrigation has a high salt content. Sesame is negatively affected by soil and water salinity, which is one of the environmental restrictions for its development. In this context, the search for strategies to minimize the effects of saline stress on plants becomes fundamental and one of the possible approaches is the use of plant ash as a fertilizer. Thus, the objective was to investigate possible effects caused by irrigation with saline water and attenuation by fertilization with sugarcane bagasse ash on gas exchange, chlorophyll content and leaf water potential in sesame. The study was conducted at the Federal Rural University of Pernambuco in the Academic Unit of Serra Talhada. A randomized block design in a factorial scheme ((5 x 2) + 2) was used. Treatments consisted of five doses of sugarcane ash (0, 30, 60, 90 and 120 g plant⁻¹), two sources of water (0.5 dS m⁻¹ from the public supply and 4.1 dS m⁻¹ of artesian well) and two additional controls (T1 = Recommended fertilization + 0.5 dS m⁻¹ water); and (T2 = Recommended fertilization + 4.1 dS m⁻¹ water). The following were evaluated in gas exchange: net CO₂ assimilation rate (A), leaf transpiration (E), stomatal conductance (g_s), internal CO₂ concentration (C_i), instantaneous efficiency in water use (A/E) and instantaneous efficiency of carboxylation (A/C_i). For pigments, chlorophyll a, b, total and carotenoids and finally, leaf water potential. At the doses studied, sugarcane ashes were not effective in attenuating the effects of salts on the physiological aspects of sesame. During the first cycle, and up to 39 days after emergence (DAE) of the second cycle, the salts did not negatively affect gas exchange. However, at 59 DAE, irrigation with saline water reduced (A), (E), (g_s), and a (A/C_i). Photosynthetic pigments were not negatively affected by irrigation water salinity up to 42 DAE. However, at 64 DAE, irrigation with saline water impaired the concentration of carotenoids. The application of 120 g plant⁻¹ of plant ash positively influenced the concentration of chlorophyll b at 64 DAE of the plants. The water potential of the sesame leaf was not affected by irrigation with water of 4.1 dS m⁻¹, indicating a possible ability of sesame to regulate the water balance under conditions of moderate salinity.

Keywords: *Sesamum Indicum* L, physiology, organic fertilization, sugarcane, abiotic stress.

1. INTRODUÇÃO

A mudança climática é um fenômeno global que tem impactado significativamente o sistema terrestre e a agricultura. Entre os efeitos observados, destaca-se a redução da disponibilidade de terras agricultáveis e o agravamento de eventos extremos tais como secas severas ou chuvas intensas, temperaturas elevadas, bem como a contaminação dos solos por sais e metais pesados, estresses abióticos que afetam severamente o ciclo produtivo de culturas agrícolas e desencadeiam uma série de alterações morfológicas, bioquímicas e moleculares nas plantas (DOSSA et al., 2019; RAHANA et al., 2023)

A região Nordeste do Brasil, por exemplo, enfrenta sérios problemas em relação aos seus recursos hídricos, devido à ocorrência de chuvas irregulares e insuficientes, que, combinadas com altas taxas de evaporação durante maior parte do ano, aumentam os riscos de salinização do solo, especialmente em condições de drenagem deficiente. Além disso, apresenta elevada quantidade de sais dissolvidos na água de irrigação, tanto devido a características naturais, como por práticas de manejo inadequado na utilização deste recurso (SUASSUNA et al., 2017; DIAS et al., 2019)

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é frequentemente cultivado em regiões áridas e semiáridas devido sua versatilidade aos efeitos de estresses abióticos como o déficit hídrico e pela relevância econômica e agrícola devido às suas múltiplas aplicações na indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética (PALLAVOLU et al., 2023)

No entanto, o gergelim é afetado negativamente pela salinidade do solo e da água, sendo este, uma das restrições ambientais para o seu desenvolvimento, pela inibição da absorção de água e nutrientes, desequilíbrio osmótico, desnaturação proteica, desestabilização de membranas e danos oxidativos, que podem afetar a estrutura e a funcionalidade das membranas celulares, bem como interferir no metabolismo e nas funções fisiológicas das plantas, desencadeando redução no teor de clorofila, fechamento estomático, limitação na assimilação de CO₂ e transpiração com consequente redução da taxa fotossintética (TAIZ et al., 2017; NÓBREGA et al., 2018; SILVA et al., 2022).

Nesse contexto, a busca por estratégias para minimizar os efeitos negativos do estresse salino sobre plantas de gergelim torna-se fundamental. Uma das abordagens possíveis é a utilização de cinza vegetal como fertilizante, que pode contribuir para a melhoria da fertilidade e condicionamento do solo e a resistência de plantas a condições de estresse. A cinza vegetal é um subproduto da queima de biomassa, é rica em nutrientes essenciais, como potássio, cálcio e fósforo, e também pode ajudar na retenção de água no

solo, reduzindo a absorção de sais solúveis pelas raízes das plantas (PIVA et al., 2017; SANTIAGO DA COSTA et al., 2018)

Portanto, o objetivo deste estudo foi investigar possíveis efeitos causados pela irrigação com água salina e a atenuação pela adubação com cinza do bagaço-da-cana-de-açúcar sobre as trocas gasosas, teor de clorofila e potencial hídrico foliar em plantas de gergelim.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido na Universidade Federal Rural de Pernambuco na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST) situada na porção setentrional da microrregião do Vale do Pajeú, distante 407,3 km da capital Recife - Pernambuco (Figura 1).

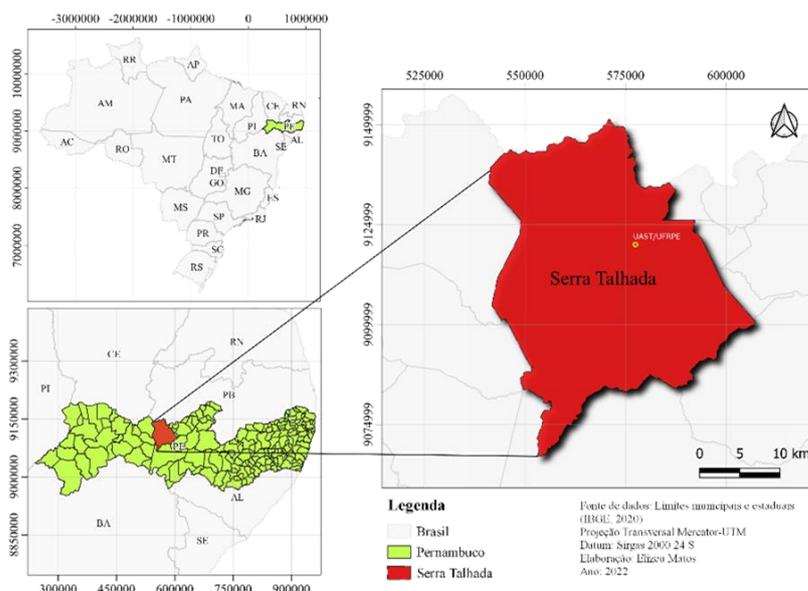


Figura 1 Localização da área experimental na Unidade Acadêmica de Serra Talhada, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAST/UFRPE).

O clima da região é classificado como BSw_h, semiárido, quente e seco, conforme Köppen (1923), com temperatura média do ar de 24,8 °C. Apresenta irregularidade na distribuição espaço-temporal das chuvas, com média de 642,1 mm ano⁻¹, umidade relativa do ar aproximadamente de 62,5% e demanda atmosférica acima de 1.800 mm ano⁻¹ (SILVA et al., 2015).

Os estudos foram realizados em dois ciclos sucessivos. O primeiro ciclo experimental foi conduzido entre fevereiro e maio de 2022, durante o período de maior precipitação na região do sertão pernambucano. Já o segundo ciclo experimental foi

conduzido entre agosto e novembro do mesmo ano, correspondendo à estação de menor precipitação na região. Os dados meteorológicos registrados por uma estação localizada no entorno do local da área experimental estão apresentados na Figura 2.

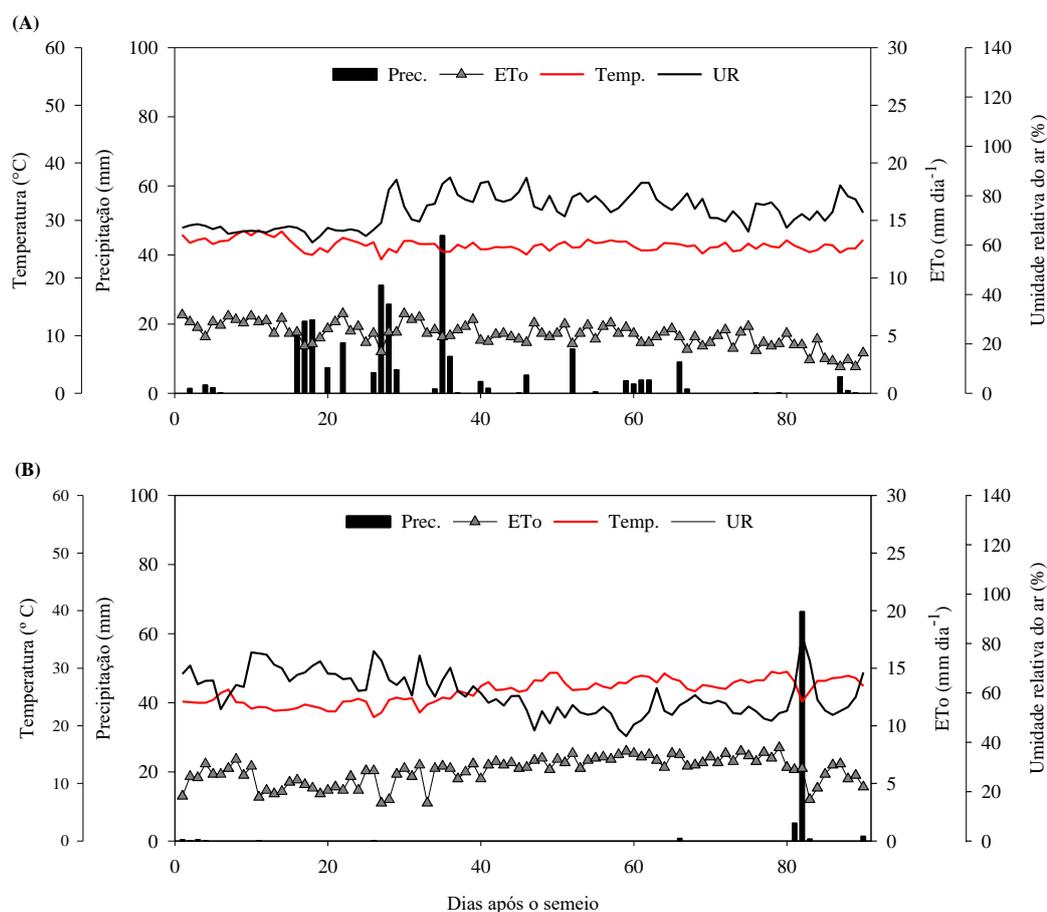


Figura 2. Dados meteorológicos obtidos durante o experimento do primeiro (A) e segundo ciclo (B) do gergelim submetido à diferente condutividade elétrica da água de irrigação e doses de cinza do bagaço da cana-de-açúcar.

2.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial ((5 x 2) + 2), com repetições totalizando 48 unidades experimentais, em uma área de 9 x 11 m. Os tratamentos consistiram em cinco doses de cinzas de bagaço da cana-de-açúcar (0, 30, 60, 90 e 120 g planta⁻¹), duas fontes de água (A1= água do abastecimento local (0,5 dS m⁻¹); A2 = água de poço artesiano (4,1 dS m⁻¹)) e duas testemunhas adicionais (T1 = Adubação recomendada + água do abastecimento público (0,5 dS m⁻¹); e T2 = Adubação recomendada + Água do poço artesiano (4,1 dS m⁻¹)). Cada bloco foi representado por três linhas de plantio, considerando-se apenas para análise a linha do meio. A unidade experimental foi representada por nove plantas, sendo destas avaliadas apenas quatro, enquanto as outras foram utilizadas como bordas entre os tratamentos

2.3. Preparo da área e adubação

O preparo do solo consistiu em aração e gradagens na profundidade de 0,20 a 0,30 m. Posteriormente, foi realizado o plantio no espaçamento 0,8 x 0,1 m entre linhas e entre plantas, respectivamente, semeando-se 4 sementes por cova a dois centímetros de profundidade. Após a emergência das plantas, foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por cova. A cultivar utilizada foi a BRS Seda, desenvolvida pela Embrapa Algodão.

Para os tratamentos testemunhas, adotou-se a adubação mineral recomendada para a cultura, seguindo as diretrizes do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA, 2008) e de acordo com os resultados obtidos na análise química do solo, aplicou-se 50, 40 e 60 kg ha⁻¹ de N – P₂O₅ – K₂O. Quanto aos demais tratamentos foram aplicadas doses crescentes de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, baseando-se em trabalhos da literatura como o de Bonfim-Silva et al. (2020) para a cultura do amendoim.

Considerando a fertilidade atual do solo avaliado por meio de análise química, foi aplicado apenas o nutriente nitrogenado na forma de ureia durante a adubação de base, uma vez que os demais nutrientes presentes no solo já estavam em níveis satisfatórios para o pleno desenvolvimento da cultura, conforme análise química do solo e adubação recomendada.

A cinza do bagaço foi obtida nos fornos do Engenho Santa Luzia, situado no município de Triunfo - PE, onde, o bagaço da cana-de-açúcar é utilizado como combustível para a produção de rapadura. As cinzas foram analisadas quimicamente, avaliando-se os macros e micro nutrientes além do teor de silício. Após passar por beneficiamento por peneira, a cinza foi aplicada no dia da semeadura com abertura e aplicação em sulcos paralelos a linhas de plantio a uma distância média de 10 cm.

As análises químicas do solo antes da instalação dos experimentos mostraram: 6,5 de pH (H₂O), 11,0 g kg⁻¹ de matéria orgânica, 0,36 dS m⁻¹ de condutividade elétrica, 515 mg dm⁻³ P, 0,8 cmolc dm⁻³ K, 0,08 cmolc dm⁻³ Na, 4,4 cmolc dm⁻³ Ca²⁺ e 2,2 cmolc dm⁻³ Mg²⁺, e 0,7, 15, 14, 19 mg dm⁻³ de Cu, Fe, Mn, Zn, respectivamente para o primeiro ciclo de cultivo; e 7,0 de pH (H₂O), 10,3 g kg⁻¹ matéria orgânica, 1,4 dS m⁻¹ condutividade elétrica, 1358,7 mg dm⁻³ P, 0,8 cmolc dm⁻³ K, 0,4 cmolc dm⁻³ Na, 3,1 cmolc dm⁻³ Ca²⁺ e 1,3 cmolc dm⁻³ Mg²⁺ e 1,6, 13,3, 19,7, 3,7 mg dm⁻³ de Cu, Fe, Mn, Zn respectivamente para o segundo ciclo de cultivo.

Já as análises das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar mostraram: pH de 10,3, 298,5 g kg⁻¹ de matéria orgânica, 1,7; 8,8; 39; 13,7, e 6,1 g kg⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg

respectivamente e 100,6, 45, 2105, 931, 46, 380 e 7,5 mg kg⁻¹ de Si, Cu, Fe, Mn, Zn, Na e Cl, respectivamente para o primeiro ciclo de cultivo e 20,2 dS m⁻¹ de condutividade elétrica, 10,4 de pH (H₂O), 212,5 g kg⁻¹ de matéria orgânica, 1,1; 12,8; 60,5; 21,1 e 6 g kg⁻¹ de N, P, K Ca e Mg, respectivamente e 54, 54, 3660, 717, 135, 830 mg kg⁻¹ de Si, Cu, Fe, Mn, Zn, Na, respectivamente para o segundo ciclo de cultivo.

2.4. Manejo da irrigação

Para as irrigações, foram utilizadas duas fontes de água diferentes: água proveniente de um poço artesiano, que apresentava uma condutividade elétrica de 4,1 dS m⁻¹, e água do abastecimento público, com uma condutividade de 0,5 dS m⁻¹. O sistema de irrigação foi montado com gotejadores autocompensantes do tipo PCJ/CNL Netafim™, espaçados a cada 0,3 m, com uma vazão média de 2,0 L h⁻¹. Cada linha de plantio recebeu duas mangueiras, uma conectada à tubulação de água salina e outra à tubulação de água de abastecimento. Essa configuração permitiu diferenciar a qualidade da água dentro da mesma linha de plantio. Nos locais em que o tratamento não correspondia à qualidade da água da linha gotejadora, foram utilizadas mangueiras sem gotejadores.

Durante o experimento, foi realizado o monitoramento da condutividade elétrica da água após cada abastecimento do reservatório. Ao constatar que a salinidade da água proveniente do poço artesiano estava abaixo do valor estipulado pelo presente estudo (4,1 dS m⁻¹), foi realizado um acréscimo de sais à água do poço, a cada vez que o reservatório era abastecido. Essa adição foi feita utilizando NaCl e CaCl₂ na proporção de 1:1 molar (Ca:Na), conforme metodologia proposta por Richards (1954):

$$Q_s = 640 \times CE_a, \text{ quando } CE_a < 5,0 \text{ dS m}^{-1}$$

em que,

Q_s - quantidade de sais (mg L⁻¹); CE_a - valor desejado da condutividade elétrica da água (dS m⁻¹).

Após a conclusão da montagem do sistema de irrigação, foram estimados o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), o coeficiente de distribuição (CUD) e a eficiência do sistema de irrigação. Os resultados obtidos foram de 98,6% para o CUC, 98% para o CUD e 93% para a eficiência do sistema, conforme a metodologia proposta por Keller & Karmeli (1974). Essa metodologia envolve a análise de quatro linhas de cultivo (primeira linha, linha situada a 1/3 da origem, linha situada a 2/3 da origem e última linha) e quatro emissores por linha (primeiro emissor, emissor a 1/3, 2/3 e último

emissor), totalizando 16 emissores. Esses resultados foram obtidos utilizando as equações 1, 2 e 3.

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |xi - \bar{x}|}{\sum_{i=1}^n xi} \right) \quad eq. (1)$$

$$CUC = 100 \left(\frac{x25\%}{x} \right) \quad eq. (2)$$

$$EA = 0,95 * CUD \quad eq. (3)$$

A irrigação foi realizada diariamente com base na evapotranspiração da cultura (ETc) com os dados da ETo, Kc e Kl. Conforme a equação 1.

$$ETC = ETo * Kc * Kl \quad eq. (4)$$

Em que:

ETc - Evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹;

ETo - Evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, mm dia⁻¹;

Kc - Coeficiente de cultivo, adimensional e;

Kl - Coeficiente de localização, adimensional.

A ETo foi calculada por meio do modelo de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) e os coeficientes de cultivo (Kc) tomado para cada fase fenológica da cultura do gergelim (Tabela 1), adaptada conforme as recomendações e adaptadas de Grilo Júnior & Azevedo (2013) e Lourenço et al. (2018). Os dados climáticos foram obtidos da estação agrometeorológica de aquisição automática de dados (HOBO RX Station -RX3000) instalada nas proximidades da área experimental.

$$ETo = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T_2 + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34u_2)} \quad eq. (5)$$

Em que:

ETo - Evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹;

Rn - Radiação líquida na superfície da cultura, MJ m⁻² dia⁻¹;

G - Densidade de fluxo de calor no solo, MJ m⁻² dia⁻¹;

T₂ - Temperatura do ar a 2 m de altura, °C;

u₂ - Velocidade do vento a 2 m de altura, m s⁻¹;

e_s - Pressão de saturação de vapor, KPa;

e_a - Pressão atual de vapor, KPa;

(e_s - e_a) - Déficit de pressão de saturação de vapor, KPa;

Δ - Declividade da curva de pressão, vapor de saturação *versus* temperatura, KPa °C⁻¹;

γ - Constante psicrométrica, KPa °C⁻¹;

Tabela 1. Coeficiente de cultivo (Kc) para o Gergelim.

Estádios de desenvolvimento	Coeficiente de cultivo
I - Germinação ao início do crescimento vegetativo (15 dias)	0,51
II - Crescimento vegetativo até a floração (20 dias)	0,73
III - Floração até a formação das vagens (40 dias)	1,03
V - Maturação dos frutos (15 dias)	0,59

Adaptado de Grilo Júnior & Azevedo (2013) e Lourenço et al. (2018)

Para determinação do KI, foi utilizado estimativas de Keller & Bliesner (1990) (Equação 3)

$$KI = (PAM \text{ ou } PAS) + 0,15 \times (1 - (PAM \text{ ou } PAS)) \quad \text{eq. (6)}$$

Em que:

KI - Coeficiente de localização, adimensional;

PAM ou PAS – Porcentagem de área molhada ou sombreada.

Após determinada a evapotranspiração da cultura foi calculada a irrigação real necessária (IRN), pela subtração da precipitação diária da ETc. Em seguida, estimado o tempo de irrigação, em minutos, conforme a equação 4.

$$Ti = \frac{IRN * E_{LL} * E_g}{q_g * E_a} * 60 \quad \text{eq. (7)}$$

Em que:

Ti – Tempo de irrigação, min;

IRN – Irrigação real necessária, mm;

E_{LL} – Espaçamento entre as linhas laterais;

E_g – Espaçamento entre gotejadores na linha lateral, m;

q_g – Vazão do emissor, L h⁻¹;

E_a – Eficiência do sistema de irrigação, decimal.

2.5. Variáveis analisadas

2.5.1. Trocas gasosas

As respostas fisiológicas das plantas aos tratamentos aplicados, foram analisadas com o auxílio de um analisador de gás infravermelho (IRGA LI-6200) e observadas a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) (μmol m⁻² s⁻¹), condutância estomática (gs) (mol m⁻² s⁻¹), transpiração (E) (mmol m⁻² s⁻¹), concentração interna de CO₂ (Ci) (μmol mol⁻¹), eficiência de carboxilação (A/Ci) [(μmol m⁻² s⁻¹) / (μmol m⁻² s⁻¹)] e eficiência instantânea no uso de água (EUA= A/E) [(μmol m⁻² s⁻¹) / (mmol de H₂O m⁻² s⁻¹)] sendo realizada uma leitura aos 68 dias após a emergência no primeiro ciclo correspondendo ao mês de abril

e duas leituras aos 39 e 59 dias após a emergência no segundo ciclo correspondendo aos estádios de floração e maturação nos meses de setembro e outubro de 2022, respectivamente.

Foram realizadas leituras na quarta folha não sombreada e completamente expandida, contada a partir do ápice em cada planta dos tratamentos, entre as 10 e 12 horas, horário de brilho de sol intenso e elevada demanda evapotranspirométrica, em dia típico sem nebulosidade, para evitar instabilidades causadas por variações rápidas da radiação solar.

2.5.2. Pigmentos fotossintéticos

Para as variáveis de pigmentos fotossintéticos, os discos foliares foram obtidos aos 42 e 64 dias após a emergência, de acordo com proposta de adaptação de Hiscox & Israelstam (1979) e Santos et al. (2007). Dessa forma, com o auxílio de um perfurador vazado, foram coletadas cinco discos foliares com cinco mm de diâmetro, retirados da quarta folha contada do ápice para a base sem ataque aparente de herbívoros.

Conforme metodologia de Santos et al. (2007), para o preparo da solução de extração, procedeu-se com a adição de carbonato de cálcio (CaCO_3) na proporção de 5 g L^{-1} de sulfóxido de dimetilo (DMSO), sob agitação constante em agitador magnético por quatro horas. Logo após filtrou-se o reagente seis vezes em duas camadas de papel filtro em um funil de Buchner com auxílio de bomba de vácuo até ficar cristalizado.

Os discos foliares foram transferidas para tubos de ensaio com 5,0 mL (CaCO_3) saturado com sulfóxido de dimetilo (DMSO), revestido com papel alumínio e logo depois colocados em material de poliestireno expandido para evitar a radiação solar e não ocorra desnaturação de enzimas e proteínas, mantidos sob temperatura ambiente por 48 horas. Logo após a retirada encubou-se as amostras em banho-maria a 65°C por aproximadamente 30 min.

Procedeu-se com a passagem do sobrenadante a cubetas de quartzo em alíquotas de 3,0 mL do material para leitura em espectrofotômetro modelo Biochrom Libra UV-Visível. Para expressar o conteúdo de clorofila a, b, clorofila total (a + b) e de carotenoides em $\mu\text{g/g}$, nos comprimentos de onda de 665, 649 e 480 nm respectivamente, utilizaram-se as seguintes equações baseadas no método descrito por Wellburn (1994). Logo após, os dados foram convertidos em $\mu\text{g cm}^2$, levando em consideração a área dos discos foliares.

$$\text{Clorofila a (Chl } a) = (12,47A_{665} - 3,62A_{649}) \quad \text{eq. (8)}$$

$$\text{Clorofila b (Chl } b) = (25,06A_{649} - 6,50A_{665}) \quad \text{eq. (9)}$$

$$\text{Clorofila total } (a + b) = (7,15A_{665} + 18,71A_{649}) \quad \text{eq. (10)}$$

$$\text{Carotenoides} = (1000A_{480} - 1,29 \text{ Chl } a - 53,78 \text{ Chl } b) / 220 \quad \text{eq. (11)}$$

Vale ressaltar que a avaliação de pigmentos fotossintéticos foi realizada apenas no segundo ciclo do gergelim, feitos aos 42 e 64 dias após a emergência das plântulas.

2.5.3. Potencial hídrico foliar

Os dados de potencial hídrico da folha do gergelim foram obtidos com o auxílio de uma câmara de pressão de Scholander modelo 1505D-EXP, aos 43 e 63 dias após a emergência.

Esta avaliação foi realizada em uma planta vigorosa por parcela em cada tratamento, feita a leitura de uma folha por planta. As folhas utilizadas para a medição estavam totalmente expandidas e localizadas no terço superior das plantas. O potencial de cada folha foi avaliado imediatamente após a folha ser destacada da planta, com leituras antes do nascer do sol.

2.6. Análise estatística

Os dados foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade de variâncias, além de uma análise de variância (ANOVA) utilizando o teste F ($p \leq 0,05$).

Quando houve efeito significativo do fator salinidade e entre as testemunhas utilizou-se o teste de médias de Tukey ($p \leq 0,05$). Além disso, a relação entre as testemunhas e o fator qualidade da água foi analisada utilizando o teste de Dunnett. Essas análises foram realizadas com o auxílio do Software R, versão 4.2.1 (R Core Team, 2022). Para as doses de cinzas, foi realizada uma análise de regressão polinomial, escolhendo o modelo de regressão com base no maior valor do coeficiente de determinação, significância dos parâmetros das equações, efeito não significativo do desvio de regressão e explicação biológica para os fenômenos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Trocas gasosas

De acordo com a análise de variância (Tabela 2), durante o primeiro ciclo não foram verificados efeitos da interação entre os fatores estudados e nem efeito isolado dos mesmos sobre as trocas gasosas da cultura. Pode-se inferir que tal fato tenha ocorrido pela dissolução dos sais solúveis devido às intensas chuvas durante o primeiro ciclo de produção, conforme evidenciado por meio da Figura 2. A, no qual é possível observar um acumulado de aproximadamente 267 mm. Essa situação é considerada levando-se em

conta as características do solo na área experimental, classificado como franco arenoso. Essa circunstância pode ter contribuído para a ausência de respostas adversas nos parâmetros fisiológicos da cultura, as quais são frequentemente observadas em plantas submetidas a estresses salinos.

Nunes et al. (2023) estudando o efeito da irrigação com água de baixa e alta salinidade no incremento de sais no solo em maracujá azedo, também constataram a lixiviação dos sais para camadas mais profundas promovidas pelas chuvas, somadas pelas características físicas do solo, o qual apresenta textura arenosa, boa em drenagem e permeabilidade, chegando a lixiviar em até metade dos sais acumulados nos solos pela irrigação.

Para a leitura realizada aos 39 dias após a emergência do segundo ciclo (Tabela 3) verificou-se diferenças significativas apenas entre as testemunhas para *A*-Taxa de assimilação líquida de CO₂, *E* - Transpiração foliar, *g_s* - condutância estomática e *C_i* - Concentração interna de CO₂, em que onde o tratamento T2 (adubação recomendada para a cultura + irrigação com água de 4,1 dS m⁻¹), quando comparada com a testemunha 1, proporcionou maiores resultados para estas variáveis. Esse comportamento pode ser decorrente do efeito do micronutriente cloreto presente nos sais adicionados a água de irrigação (NaCl e CaCl₂) em que os íons Cl⁻ nessa fase inicial até a leitura aos 39 DAE se encontravam em quantidades ainda adequadas, não apresentando níveis tóxicos.

Segundo Taiz et al. (2017) e Fernandes; Souza; Santos, (2018) o cloro (Cl⁻) é requerido para a reação de clivagem da água na fotossíntese pela qual o oxigênio é produzido e se configura como um dos principais íons inorgânicos em células vegetais essenciais para a liberação de O₂. Também é importante para ativação de enzimas e atua como um contra íon para o K⁺, uma vez que a abertura e fechamentos dos estômatos são mediados por fluxos de K⁺ acompanhados de ânions tais como Cl⁻ e malato.

Os efeitos da salinidade nas plantas ocorrem por um processo de duas fases: uma resposta rápida à elevada pressão osmótica na interface raiz-solo e uma resposta mais lenta causada pela acumulação de Na⁺ e Cl⁻ nas folhas, visto que na maioria das espécies o Na⁺ atinge concentrações tóxicas antes do Cl⁻ (TAIZ et al., 2017). No presente trabalho, o balanço adequado de íons Cl⁻ dentro das células até os 39 DAE, pode ter contribuído para a eficiência das trocas gasosas até a fase de floração, no entanto, com a intensidade e duração desses íons no meio de cultivo, pode ter causado fitotoxicidade nas plantas de gergelim.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para trocas gasosas no 1º e 2º ciclo para A-Taxa de assimilação líquida de CO₂ (µmol CO₂ m⁻² s⁻¹); E - Transpiração foliar (mmol H₂O m⁻² s⁻¹); g_s - condutância estomática (mol H₂O m⁻² s⁻¹); C_i - Concentração interna de CO₂ (µmol CO₂ mol⁻¹); A/E - Eficiência instantânea no uso da água (µmol CO₂. mmol H₂O⁻¹); A/C_i - Eficiência instantânea de carboxilação (mol. m⁻² s⁻¹) de gergelim irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar.

FV	QUADRADO MÉDIO						
	68 ^{DAE}						
	C ₁						
GL	A	E	g _s	C _i	A/E	A/C _i	
Água (A)	1	21,03 ^{ns}	3,8 ^{ns}	0,004 ^{ns}	81,2 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,0004 ^{ns}
Doses (D)	4	15,4 ^{ns}	3,1 ^{ns}	0,005 ^{ns}	471,9 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,0003 ^{ns}
A x D	4	6,3 ^{ns}	3,6 ^{ns}	0,001 ^{ns}	436,7 ^{ns}	0,04 ^{ns}	2e-04 ^{ns}
Teste (T)	1	1,4 ^{ns}	1,1 ^{ns}	0,004 ^{ns}	18 ^{ns}	0,1 ^{ns}	4e-05 ^{ns}
T x (A+D)	1	30,3 ^{ns}	7,8 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1505,0 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
Bloco	3	30,7 ^{ns}	2,5 ^{ns}	0,01 ^{ns}	360,2 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,0003 ^{ns}
Resíduo	33	15,7	3,9	0,005	475,4	0,1	0,0004
CV (%)	-	31,4	27,2	37,9	9,3	20,5	36,8

* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1%; ns – não significativo; DAE- Dias após a emergência; FV-Fontes de variação; GL- Grau de liberdade; CV- Coeficiente de variação; C₁ = Ciclo 1.

FV	QUADRADO MÉDIO													
	39 ^{DAE}							59 ^{DAE}						
	C ₂							C ₂						
GL	A	E	g _s	C _i	A/E	A/C _i	A	E	g _s	C _i	A/E	A/C _i		
Água (A)	1	0,7 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,01 ^{ns}	328,7 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,00 ^{ns}	139,9*	16,6*	0,04*	48,7 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,003*	
Doses (D)	4	15,7 ^{ns}	2,7 ^{ns}	0,01 ^{ns}	177,8 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	2,0 ^{ns}	1,1 ^{ns}	0,003 ^{ns}	736,9 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	
A x D	4	5,2 ^{ns}	4,4 ^{ns}	0,008 ^{ns}	647,6 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	10,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	0,003 ^{ns}	150,3 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	
Teste (T)	1	147,3*	22,1*	0,2*	1242,9*	0,02 ^{ns}	0,001 ^{ns}	9,6 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	210,1 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	
T x (A+D)	1	52,0 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,02 ^{ns}	164,4 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,001 ^{ns}	7,49 ^{ns}	8,5 ^{ns}	0,02 ^{ns}	6493,9**	0,7**	0,003**	
Bloco	3	45,0 ^{ns}	32,6**	0,04 ^{ns}	243,6 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	29,7 ^{ns}	17,8**	0,01 ^{ns}	1953,4**	1,0**	0,001 ^{ns}	
Resíduo	33	30,2 ^{ns}	4,7	0,04	269,8	0,09	0,0005	24,8	3,5	0,01	368,9	0,05	0,0006	
CV	%	19,9	17,3	36,2	6,8	13,9	20,1	21,3	17,3	31,6	9,1	11,3	23,1	

* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1%; ns – não significativo; DAE- Dias após a emergência; FV-Fontes de variação; GL- Grau de liberdade; CV- Coeficiente de variação; C₂ = Ciclo 2.

Tabela 3. Valores médios de A-Taxa de assimilação líquida de CO₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); *E* - Transpiração foliar ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); *g_s* - condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); *C_i* - Concentração interna de CO₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$); *A/E* - Eficiência instantânea no uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$); *A/C_i* - Eficiência instantânea de carboxilação ($\text{mol. m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) aos 39 e 59 DAE nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si.

FV	39 _{DAE}				59 _{DAE}					
	C ₂				C ₂					
	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>g_s</i>	<i>C_i</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>g_s</i>	<i>C_i</i>	<i>A/E</i>	<i>A/C_i</i>
A1	26,9a	12,4a	0,57a	243,9a	25,1a	11,7a	0,37a	216,5a ^{*+}	2,1a [*]	0,11a
A2	27,2a	12,5a	0,54a	238,2a	21,3b	10,4b	0,30b	214,3a ^{*+}	2,0a ^{*+}	0,09b [*]
T1	25,5B	11,0B	0,43B	223,6B	25,4A	10,1A	0,29A	179,0A	2,4A	0,14A
T2	34,1A	14,3A	0,80A	248,5A	23,2A	9,7A	0,27A	189,3A	2,3A	0,12A

Médias seguidas da mesma letra minúscula, para o fator água (A1 e A2), e maiúscula, para as testemunhas (T1 e T2), não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Médias seguidas de * e/ou + se diferenciam da testemunha 1 (T1) e testemunha 2 (T2), respectivamente, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). DAE- Dias após a emergência. FV – Fator de variação. A1 - Água com 0,5 dS m⁻¹; A2 - Água com 4,1 dS m⁻¹; T1 - Adubação recomendada + água com 0,5 dS m⁻¹; T2 - Adubação recomendada + água com 4,1 dS m⁻¹, C2 = Ciclo 2.

Aos 59 DAE, não foi observado interação entre os fatores, mas, diferenças significativas isoladas da água de irrigação (Tabela 2) para Taxa de assimilação líquida de CO₂ (*A*), transpiração (*E*) Condutância estomática (*g_s*) e Eficiência de carboxilação (*A/C_i*), constatados efeitos deletérios dos sais, com redução de 15,1% para Taxa de assimilação líquida de CO₂ (*A*), 11,1% na transpiração (*E*), 18,9% em Condutância estomática (*g_s*) e 18,1% na Eficiência de carboxilação (*A/C_i*), quando irrigados com água de 4,1 dS m⁻¹ (Tabela 3).

Segundo Dias et al. (2018) essa redução das trocas gasosas, é causada pelo aumento da CEa devido à limitação da abertura estomática. Isso se destaca como estratégia da planta para minimizar a desidratação excessiva ou consequência do desequilíbrio hídrico na epiderme foliar, pois a transpiração está intimamente relacionada à abertura estomática. Quando a condutância estomática diminui devido ao estresse causado pela salinidade, conforme observado neste estudo, ocorre um aumento na resistência à difusão de água do interior da folha para a atmosfera. Esses mesmos autores constataram que a utilização de água salina mesmo em baixa condutividade elétrica promove redução nas trocas gasosas de gergelim cv. CNPA G3 e cv. BR G4.

Conforme mencionado anteriormente, esses efeitos negativos podem ter sido pelo acúmulo excessivo de íons de cloreto (Cl⁻), e íons de sódio (Na⁺) com o passar do tempo. Segundo Ashour; Heider; Soliman (2023), o Cl⁻ nas folhas pode resultar em efeitos tóxicos que contribuem para a redução da capacidade fotossintética, possivelmente

causada pelos efeitos estruturais resultantes das altas concentrações no fotossistema II. Além disso, a elevada presença de íons de sódio (Na^+) interfere na absorção de nutrientes essenciais como potássio (K^+) e cálcio (Ca^{2+}) e prejudica a regulação estomática eficiente, resultando em uma diminuição na fotossíntese.

Nesse caso, não foram constatadas diferenças significativas entre as testemunhas, no entanto, foi observada diferença significativa entre as testemunhas adicionais e os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação na concentração interna de CO_2 sendo maior nos tratamentos comuns, aqueles sem a adubação recomendada (Tabela 3). Quanto à eficiência instantânea no uso da água e à eficiência instantânea de carboxilação, os tratamentos comuns apresentaram médias inferiores às testemunhas, especialmente em comparação com a Testemunha 1.

Evidencia-se que os resultados positivos nas testemunhas foram alcançados graças ao efeito da adubação nitrogenada, uma vez que esse nutriente está presente em baixas quantidades nas cinzas da cana-de-açúcar, com apenas 1,7 e 1,1 g kg^{-1} de nitrogênio no primeiro e segundo ciclo, respectivamente. O nitrogênio desempenha papel importante na síntese de compostos para as plantas, como proteínas e enzimas envolvidas no processo de fotossíntese, que podem desempenhar um papel fundamental na proteção das estruturas celulares e suas funções (BADSHAH et al., 2017; NÓBREGA et al., 2023).

3.2. Pigmentos fotossintéticos

De acordo com a análise de variância (Tabela 4) do segundo ciclo para pigmentos fotossintéticos, não houve efeitos da interação e nem isolados referente a leitura aos 42 dias após a emergência (DAE), apenas diferenças significativas entre as testemunhas, e testemunhas adicionais e o fator água de irrigação. Aos 64 DAE houve efeito isolado para as doses de cinza para clorofila b e efeito da água de irrigação sob a concentração de carotenoides. Além, disso, foi observada diferenças entre as testemunhas, e entre testemunhas e qualidade da água de irrigação.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para as medidas de pigmentos fotossintéticos do segundo ciclo em $\mu\text{g cm}^2$, para clorofila a (Chl *a*), clorofila b (Chl *b*), carotenoides (Car) e clorofila total (Chl *t*) em gergelim irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar.

QUADRADO MÉDIO									
		42 DAE				64 DAE			
FV	GL	-----C ₂ -----							
		Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Car	Chl <i>t</i>	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Car	Chl <i>t</i>
Água (A)	1	11,3 ^{ns}	3,0 ^{ns}	0,2 ^{ns}	33,5 ^{ns}	17,1 ^{ns}	0,01 ^{ns}	10,0*	10,9 ^{ns}
Doses (D)	4	6,1 ^{ns}	1,9 ^{ns}	0,7 ^{ns}	3,4 ^{ns}	28,6 ^{ns}	0,01*	1,7 ^{ns}	42,9 ^{ns}
A x D	4	16,2 ^{ns}	3,2 ^{ns}	1,1 ^{ns}	29,1 ^{ns}	45,5 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,0 ^{ns}	57,0 ^{ns}
Teste (T)	1	2,8 ^{ns}	15,6*	0,02 ^{ns}	34,2 ^{ns}	272,5**	0,00 ^{ns}	23,4**	303,8**
T x (A+D)	1	249,2**	3,0 ^{ns}	10,4 ^{ns}	349,4**	496,4**	0,0 ^{ns}	26,6**	567,1**
Bloco	3	20,7 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,8 ^{ns}	34,0 ^{ns}	5,1 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,8 ^{ns}	6,6 ^{ns}
Resíduo	33	17,1	2,3	1,4	25,3	28,9	0,005	1,5	36,4
CV	%	16,8	26,5	17,0	16,3	21,2	7,3	17,5	19,9

* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1%; ns – não significativo; DAE- Dias após a emergência; FV-Fontes de variação; GL- Grau de liberdade; CV- Coeficiente de variação; C₂ = Ciclo 2.

Na Figura 3, observa-se uma tendência quadrática para o efeito isolado das doses de cinzas na concentração de clorofila b. Notavelmente, foi verificada uma redução inicial com o aumento das doses de cinzas, seguida por um aumento, com concentração máxima em torno de $5,0 \mu\text{g cm}^2$, quando utilizada a dose de $120 \text{ g planta}^{-1}$.

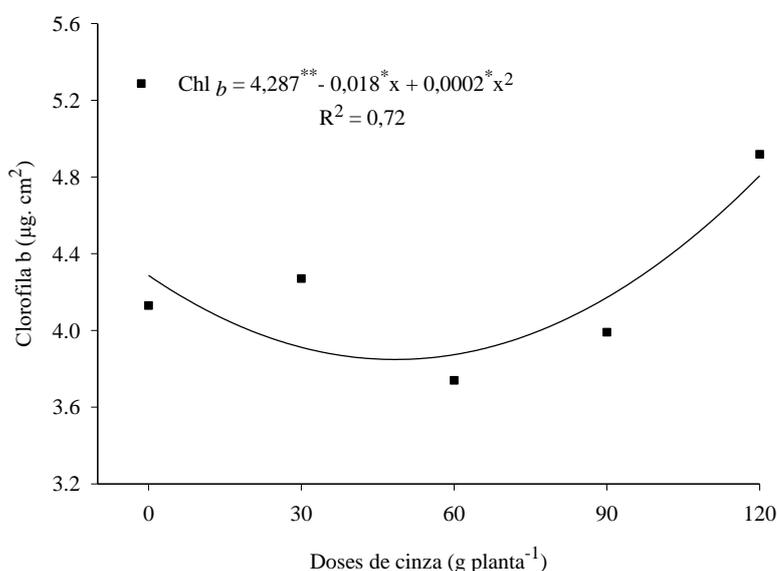


Figura 3. Efeito das doses de cinzas da cana-de-açúcar sob a clorofila b aos 64 dias após a emergência em plantas de gergelim.

Esse resultado pode ser decorrente da maior oferta de magnésio na dose máxima de cinzas, uma vez que esse nutriente é componente central da molécula de clorofila.

No estudo realizado por Bonfim-Silva et al. (2013), também foi observado um efeito das doses de cinzas no teor de clorofila do capim-marandaru. No entanto, ao contrário do presente estudo, o efeito foi constatado de forma exponencial crescente.

Bonfim-Silva et al. (2020) utilizando doses crescentes de cinza no amendoim, constataram um acréscimo de 36,7% em clorofila, em comparação ao tratamento testemunha.

A concentração de carotenoides aos 64 DAE foi afetada pela utilização da água de irrigação com água salina, com média estatisticamente superior e acréscimo de 15,8% quando utilizado água de 0,5 dS m⁻¹ (Tabela 5), quando comparada a irrigação com água de 4,1 dS m⁻¹. Esse resultado está de acordo com Tatagiba et al. (2014) em que constatou reduções significativas e mais expressivas de 41% na concentração de carotenoides em plantas de tomateiro submetido ao estresse salino.

Tabela 5. Valores médios em µg cm² de Clorofila a (Chl *a*), clorofila b (Chl *b*) Clorofila total (Chl *t*) aos 42 DAE e para Clorofila a (Chl *a*), carotenoides (*Car*) e Clorofila total (Chl *t*) aos 64 DAE em plantas de gergelim nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si.

FV	42 DAE			64 DAE		
	-----C ₂ (µg cm ²) -----					
	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl <i>t</i>	Chl <i>a</i>	Car	Chl <i>t</i>
A1	23,0a ^{*+}	5,37 ^{*a}	28,6a ⁺	24,5a [*]	7,3a [*]	29,2a [*]
A2	24,0a ⁺	5,92a	30,4a ⁺	23,1a [*]	6,3b [*]	28,1a [*]
T1	29,0A	4,9B	34,7A	38,3A	10,5A	44,0A
T2	30,2A	7,7A	38,8A	26,6B	7,1B	31,7B

Médias seguidas da mesma letra minúscula, para o fator água (A1 e A2), e maiúscula, para as testemunhas (T1 e T2), não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Médias seguidas de * e/ou + se diferenciam da testemunha 1 (T1) e testemunha 2 (T2), respectivamente, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). DAE- Dias após a emergência. FV – Fator de variação. A1 - Água com 0,5 dS m⁻¹; A2 - Água com 4,1 dS m⁻¹; T1 - Adubação recomendada + água com 0,5 dS m⁻¹; T2 - Adubação recomendada + água com 4,1 dS m⁻¹, C₂ = Ciclo 2.

De acordo com Taibi et al. (2016), os carotenoides desempenham múltiplas funções nas plantas. Eles funcionam como pigmentos responsáveis pela captação de energia luminosa para a fotossíntese e estão envolvidos em mecanismos de defesa e desintoxicação contra os efeitos das espécies reativas de oxigênio (ERO). Além disso, os carotenoides estão envolvidos na dissipação do excesso de energia por meio do ciclo da xantofila e podem atuar na estabilização das membranas dos cloroplastos.

Essas alterações na concentração de carotenoides podem ser indicativas de desequilíbrio metabólico e bioquímico, promovidas pelo teor de sais no solo, principalmente pelos íons tóxicos Na⁺ e Cl⁻, que reduz a produção de pigmentos fotossintéticos e causa a degradação do β-caroteno. Isso resulta em uma diminuição no teor de carotenoides, que são componentes integrados dos tilacoides com a função de absorver e transferir luz para a clorofila durante a fotossíntese (SHARMA e HALL, 1991; GOMES et al., 2011).

Aos 64 DAE, as testemunhas apresentaram diferenças entre si, sendo que, a T1 obteve média significativamente superior para clorofila a, carotenoides e clorofila total (Tabela 5). Esses resultados permitem interpretar que, embora a T2 (adubação recomendada + água de 4,1 dS m⁻¹) tenha sido superior aos 42 DAE para clorofila b, a partir desse período o efeito da salinidade sobre o gergelim intensificou-se devido ao acúmulo e duração dos sais no solo, resultando em maiores concentrações de pigmentos fotossintéticos na Testemunha 1 (adubação recomendada + água de 0,5 dS m⁻¹) ao longo do tempo.

Ainda, a diferença entre o tratamento T1 e os demais pode ser explicada pelo manejo adequado, incluindo irrigação com água de qualidade e fertilização com nitrogênio. Em contraste, os tratamentos comuns foram fertilizados com cinza de cana-de-açúcar, embora seja rica em nutrientes como potássio e fósforo, é deficiente em N (1,1 a 1,7 g kg⁻¹). Essa diferença na disponibilidade especialmente de nitrogênio nos tratamentos com cinza de cana-de-açúcar e a irrigação com água salina no tratamento T2, pode ter influenciado na menor concentração de pigmentos fotossintéticos.

Estudos conduzidos por Oliveira Galdino et al. (2023) com tomateiro e Silva et al. (2023) com a cultura do feijão, corroboram os resultados obtidos neste trabalho, uma vez que ambos demonstraram um aumento na concentração de clorofila em resposta à aplicação de nitrogênio, fato visualizado na testemunha 1 desta pesquisa.

Isso pode ser justificado pelo fato de que, de acordo com Gao et al. (2020) e Peng et al. (2021), a estrutura da clorofila é altamente dependente do nitrogênio, ao qual atua como constituinte chave. Quando ocorre deficiência desse nutriente, observa-se uma diminuição no teor de clorofila, resultando em uma redução na eficiência fotossintética, na síntese de pigmentos fotossintéticos e no bloqueio da síntese de carboidratos. Isso ocorre por que a clorofila desempenha um papel crucial na captação de luz e no transporte de elétrons nos centros de reação das plantas superiores

3.3. Potencial hídrico foliar

De acordo com a análise de variância realizada para o potencial hídrico foliar (Tabela 6), não foram observados efeitos significativos dos tratamentos. Isso se aplica tanto para os tratamentos de forma isolada, quanto para as testemunhas entre si e em relação ao fator qualidade da água de irrigação.

Segundo Correia, (2014) o potencial hídrico é uma medida do potencial químico da água, que representa a energia livre associada às moléculas de água. Em movimentos de curta distância, a água tende a se deslocar de regiões com maior potencial para regiões

com menor potencial. Para Aragão et al. (2023) o potencial hídrico foliar é um bom indicador do estado hídrico da folha e é particularmente importante indicar as variações e os níveis de estresse das plantas sob irrigação deficiente ou diferentes manejos do solo (por exemplo, irrigação salina), como mostrado neste estudo.

Os achados da presente pesquisa, demonstram que, mesmo sob a irrigação com água salina de 4,1 dS m⁻¹ as plantas de gergelim não se encontravam sob restrições hídricas, mantendo sob turgidez e bom estado hídrico nas folhas.

Em um estudo conduzido por Lima et al. (2023) em plantas de maracujá, observou-se um efeito significativo na redução do potencial hídrico foliar quando as plantas foram irrigadas com água salobra. Esses resultados contrastam com os achados no presente estudo. Segundo os autores, a diminuição do potencial hídrico em plantas cultivadas em água salina pode ser atribuída ao acúmulo de íons nas células do tecido e resulta na perda de turgor, levando ao fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, à redução da transpiração na cultura.

Tabela 6. Resumo da análise de variância para as medidas de potencial hídrico foliar (Ψ_w em MPa) aos 43 e 63 DAE do segundo ciclo do gergelim irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO	
		43 DAE	63 DAE
		Ψ_w	Ψ_w
Água (A)	1	0,2 ^{ns}	1,6 ^{ns}
Doses (D)	4	0,3 ^{ns}	0,06 ^{ns}
A x D	4	0,1 ^{ns}	0,3 ^{ns}
Teste (T)	1	0,02 ^{ns}	0,05 ^{ns}
T x (A+D)	1	0,005 ^{ns}	1,6 ^{ns}
Bloco	3	1,4*	1,2 ^{ns}
Resíduo	33	0,3	0,4
CV	%	20,4	22,2

* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1%; ns – não significativo; DAE- Dias após a emergência; FV-Fontes de variação; GL- Grau de liberdade; CV- Coeficiente de variação; C₂ = Ciclo 2.

4. CONCLUSÕES

Nas doses estudadas, as cinzas da cana-de-açúcar não foram eficazes para atenuar os efeitos dos sais sobre os aspectos fisiológicos do gergelim.

Durante o primeiro ciclo e até os 39 DAE do segundo ciclo, os sais não afetaram negativamente as trocas gasosas. No entanto, aos 59 dias após a emergência das plantas, a irrigação com água salina reduziu a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), a transpiração foliar (E), a condutância estomática (gs), e a eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci).

Os pigmentos fotossintéticos não foram afetados negativamente pela salinidade da água de irrigação até os 42 dias após a emergência. Contudo, aos 64 dias após a emergência, a irrigação com água salina prejudicou a concentração de carotenoides.

A aplicação de 120 g planta⁻¹ da cinza vegetal influenciou positivamente a concentração de clorofila b aos 64 dias após a emergência das plantas.

O potencial hídrico da folha do gergelim não foi afetado pela irrigação com água de 4,1 dS m⁻¹, indicando uma possível capacidade de regulação do balanço hídrico pelo gergelim sob condições de salinidade moderada.

5. REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements - FAO **Irrigation and drainage paper** 56. FAO, Rome, 1998. 300p.

ARAGÃO, M. F.; PINHEIRO NETO, L. G.; VIANA, T. V. D. A.; MANZANO-JUAREZ, J.; LACERDA, C. F.; COSTA, J. D. N.; AZEVEDO, B. M. Evaluation of crop water status of melon plants in tropical semi-arid climate using thermal imaging. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.27, n.6, p.447-456, 2023.

ASHOUR, H.A; HEIDER, S. M; SOLIMAN, M. M. Morphological and physiological responses of *Calliandra haematocephala* to water salinity stress and vermicompost. **Ornamental Horticulture**, v.29, n.2, p.150-162, 2023.

BADSHAH, S.; KHALIL, S. K.; JALAL, F.; BASEER, A.; SULEMAN, M.; KHAN, H.; ZAHEER, S. Influence of nitrogen and row spacing on Sesame (*Sesamum indicum* L.) growth and yield attributes. **Pure and Applied Biology (PAB)**, v.6, n.1, p.116-124, 2017.

BONFIM-SILVA, E. M.; CABRAL, C. E. A.; SILVA, T. D.; MOREIRA, J. C. F.; CARVALHO, J. D. Cinza vegetal: características produtivas e teor de clorofila do capim-marandu. **Bioscience Journal**, v.29, n.5, p.1215-1225, 2013.

BONFIM-SILVA, E. M.; TAKENAKA, P. Y.; NONATO, J. J.; GUIMARAES, S. L.; DA SILVA, T. J. A. Productive characteristics of peanut cultivars fertilized with wood ash. **Australian Journal of Crop Science**, v.14, n.4, p.691-696, 2020.

CORREIA, S. Potencial Hídrico. **Revista de Ciência Elementar**, v.2, n.1, p. 1-3, 2014.

DIAS, A. S.; DE LIMA, G. S.; PINHEIRO, F. W. A.; GHEYI, H. R.; DOS ANJOS SOARES, L. A.; NOBRE, R. G.; DE OLIVEIRA, S. G. Gas exchanges and growth of sesame (*Sesamum indicum*, L.) cultivated under saline waters and nitrogen-potassium fertilizers. **Australian Journal of Crop Science**, v.13, n.9, p.1526-1532, 2019.

DIAS, A. S.; LIMA, G. S.D.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. A. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica do gergelim sob estresse salino e adubação com nitrato-amônio. **Irriga**, v.23, n.2, p.220-234, 2018.

DOSSA, K.; MMADI, M. A.; ZHOU, R.; ZHANG, T.; SU, R.; ZHANG, Y.; ZHANG, X. Depicting the core transcriptome modulating multiple abiotic stresses responses in sesame (*Sesamum indicum* L.). **International journal of molecular sciences**, v.20, n.16, p.3930, 2019.

FERNANDES, M. S.; SOUZA, S.R.; SANTOS, L.A. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa - Minas Gerais. 2018. 670p.

GAO, T. M.; WEI, S. L.; CHEN, J.; WU, Y.; LI, F.; WEI, L. B.; ZHANG, H. Y. Cytological, genetic, and proteomic analysis of a sesame (*Sesamum indicum* L.) mutant Siyl-1 with yellow-green leaf color. **Genes & genomics**, v.42, p.25-39, 2020.

GOMES, M. A. D. C.; SUZUKI, M. S.; CUNHA, M. D.; TULLII, C. F. Effect of salt stress on nutrient concentration, photosynthetic pigments, proline and foliar morphology of *Salvinia auriculata* Aubl. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v.23, p.164-176, 2011.

GRILO JR, J. A. S.; AZEVEDO, P. D. Crescimento, desenvolvimento e produtividade do gergelim BRS Seda na Agroviola de Canudos, em Ceará Mirim (RN). **Holos**, v.2, p.19-33, 2013.

HISCOX, J. D.; ISRAELSTAM, G. F. **A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration**. Canadian. Journal of Botany, v.57, n.12, p.1332-1334, 1979.

IPA - INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3.ed. Revisada. Recife: IPA, 2008. 212p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649p.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design parameters**. Transactions of the ASAE, v.17, p.678-684, 1974.

KÖPPEN, W. P. **Die klimate der erde: Grundriss der klimakunde**. Walter de Gruyter & Co. Berlin. 1923. 369p.

LIMA, G. S. D.; PINHEIRO, F. W.; DE SOUZA, W. B.; SOARES, L. A. D. A.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D. Physiological indices of sour passion fruit under brackish water irrigation strategies and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.27, n.5, p.383-392, 2023.

LOURENÇO, E.; DE AZEVEDO, P. V.; PEREIRA, A.; BEZERRA, J.; SABOYA, L.; ZONTA, J. Necessidades hídricas da cultura do gergelim na região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.11, n.04, p.1275-1289, 2018.

NÓBREGA, J. S.; LOPES, K. P.; SANTOS, J. B. D.; PAIVA, F. J. D. S.; SILVA, J. G. D.; LIMA, G. S. D. Quality of sesame seeds produced under soil salinity levels. **Pesquisa agropecuária tropical**, v.48, n.3, p.280-286, 2018.

NÓBREGA, J. S.; SILVA, T. I. D.; LOPES, A. S.; COSTA, R. N.; RIBEIRO, J. E. D.; SILVA, E. C. D.; DIAS, T. J. Foliar nitrogen fertilization attenuating harmful effects of salt stress on purple basil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.27, n.6, p.472-479, 2023.

NUNES, J. C.; LIMA NETO, A. J. D.; CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S. D.; NUNES, J. A. D. S. Leaching of salts and production of sour passion fruit irrigated with low-and high-salinity water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.27, n.5, p.393-399, 2023.

OLIVEIRA GALDINO, W.; DE BARROS, R. P.; DE SOUZA SANTOS, D.; DE LIMA MENDES, G.; DAS NEVES, J. D. S. Índice de Clorofila e características biológicas do Tomate Santa Clara (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) em doses de nitrogênio. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, v.16, n.6, p.3169-3180, 2023.

PALLAVOLU, L. A.; PASALA, R.; KULASEKARAN, R.; PANDEY, B. B.; VIRUPAKSHAM, U.; PERIKA, S. Analysing the SPAD dynamics of water-stressed vs.

well-watered sesame (*Sesamum indicum* L.) accessions and establishing their relationship with seed yield. **PeerJ**, v.11, p.e14711, 2023.

PENG, J.; FENG, Y.; WANG, X.; LI, J.; XU, G.; PHONENASAY, S.; LU, W. Effects of nitrogen application rate on the photosynthetic pigment, leaf fluorescence characteristics, and yield of indica hybrid rice and their interrelations. **Scientific Reports**, v.11, n.1, p.7485, 2021.

PIVA, J. T.; BESEN, M. R.; RIBEIRO, R. H.; BASTOS, A. C. M.; RONSANI, S. C.; PIVA, C. A. G. Viabilidade técnica de fontes alternativas de adubação para o alho (*Allium sativum* L.) vernalizado no planalto Catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 3, p. 239-246, 2017.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2022.

RAHANA, P. I.; SHAHANA, P.; JISHA, K. C. Seed priming: An efficient method for enhancing growth and yield of *Sesamum indicum* L. under drought stress. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v.19, n.2, p. 114-123, 2023.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USDA, 1954. 60 p. Handbook, 60.

SANTIAGO DA COSTA, R.; DE BARROS, P. P. A. F.; DA SILVA, C. M. E.; NASCIMENTO, S. J. W.; DE MIRANDA, P. C.; VIEIRA, A. A. Crescimento e fisiologia de melancia submetida a doses de cinzas de bagaço de cana. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v.12, n.5, p. 2897 – 2906, 2018.

SANTOS, R. P.; DA CRUZ, A. C. F.; IAREMA, L.; FERNANDES, K. R. G.; KUKI, K. N.; OTONI, W. C. Avaliação da eficiência do dimetilsulfóxido na extração de pigmentos foliares de *Vitis vinifera* x *V. rotundifolia* e *V. riparia* propagadas in vitro. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, n.2, p. 888-890, 2007.

SHARMA, P.K.; HALL, D.O. Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in barley and sorghum. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v.138, n.5, p.614-619, 1991.

SILVA, A. A. R.; CAPITULINO, J. D.; LIMA, G. S.; AZEVEDO, C. A. V.; ARRUDA, T. F. L.; SOUZA, A. R.; SOARES, L. A. A. Peróxido de hidrogênio na atenuação do estresse salino nos indicadores fisiológicos e crescimento da gravioleira. **Brazilian Journal of Biology**. v.84, e261211, 2022.

SILVA, A. P.; PAULINO, M. A. R.; MOLINA, L. S.; AGUILERA, J. G.; ZUFFO, A. M.; STEINER, F. Índice relativo de clorofila para a otimização da adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro em diferentes sistemas de produção. **Revista Cultivando o Saber**, v.16, p.39-55, 2023.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; MOURA, M. S. B.; SILVA, S. M. S.; MORAIS, J. E. F.; PEREIRA, P. C.; SOUZA, C. A. A. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.50, n.7, p.515-525, 2015.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; ARRIEL, N. H. C.; DE MELO, A. S.; & FERNANDES, J. D. Tolerance to salinity of sesame genotypes in different phenological stages. **American Journal of Plant Sciences**, v.8, n.8, p.1904-1920, 2017.

TAIBI, K.; TAIBI, F.; ABDERRAHIM, L. A.; ENNAJAH, A.; BELKHODJA, M.; MULET, J. M. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. **South African Journal of Botany**, v.105, p.306-312, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017. 888p.

TATAGIBA, S.; D.; MORAES, G.; A. B. K.; NASCIMENTO, K. J. T.; PELOSO, A. F. Limitações fotossintéticas em folhas de plantas de tomateiro submetidas a crescentes concentrações salinas. **Engenharia na Agricultura**, v.22 n.2, p.138-149, 2014.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of plant physiology**, v.144, n.3, p.307-313, 1994.

-----CAPÍTULO III-----
**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO GERGELIM SUBMETIDO A DIFERENTES
QUALIDADES DE ÁGUA DA IRRIGAÇÃO E DOSES DE CINZA DA CANA-
DE-AÇÚCAR**

CAPÍTULO III - EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO GERGELIM SUBMETIDO A DIFERENTES QUALIDADES DE ÁGUA DA IRRIGAÇÃO E DOSES DE CINZA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Resumo: No semiárido brasileiro, a produção de gergelim para atingir seu máximo potencial produtivo depende da irrigação, devido à escassez de água durante parte do ano nessa região. Entretanto, a utilização de água de fonte salina na irrigação pode atender parcialmente a demanda de água pelas plantas e manter certo nível de produtividade de algumas culturas, favorecido ainda pela adubação com cinzas vegetais. Dessa forma, objetivou-se avaliar os parâmetros agronômicos de crescimento, rendimento, extração e exportação de nutrientes e sódio em plantas de gergelim, sob diferentes doses de cinzas e qualidades da água de irrigação. O estudo foi realizado em dois ciclos sucessivos, na Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco. O delineamento foi em blocos casualizados, em esquema fatorial ((5 x 2) + 2). Os tratamentos consistiram em cinco doses de cinzas da cana-de-açúcar (0, 30, 60, 90 e 120 g planta⁻¹), duas fontes de água: de abastecimento (0,5 dS m⁻¹ e 4,1 dS m⁻¹ de poço artesiano) e duas testemunhas adicionais (T1 = Adubação recomendada + água de 0,5 dS m⁻¹); e (T2 = Adubação recomendada + Água de 4,1 dS m⁻¹). Foi avaliado a cada 15 dias, altura de plantas, diâmetro do caule, número de folhas e número de frutos. Ao final, foram estimados a matéria fresca e seca, a produtividade e o teor de óleo. Também foram feitas análises para quantificação da extração e exportação de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, Cl e Na. As doses de cinzas aplicadas nesse estudo mostraram-se insuficientes para atenuar os efeitos dos sais nos aspectos agronômicos do gergelim. A água salina afetou negativamente o índice de área foliar ao final do ciclo, a altura das plantas no início do primeiro ciclo, contudo, promoveu aumento em certos estágios no DC, N_{Fo} e N_{Fo} no segundo ciclo. A cinza teve efeito positivo na extração de S e redução na extração Ca. Promoveu aumentos nas exportações de íons cloreto e de Ca até a dose de 73,2 g planta⁻¹, e aumentou linearmente a exportação de sódio no primeiro ciclo. A água salina afetou negativamente a extração de Mg e S no primeiro ciclo, e de N, S, Fe e Mn no segundo ciclo e promoveu em maiores acúmulos de Cl nos dois ciclos e de Na no primeiro ciclo. As exportações de Mg e de S, no primeiro ciclo, e de Ca no segundo ciclo, foram reduzidas com a utilização da irrigação com águas salinas. No entanto, as exportações de Cl, Na e K, em ambos os ciclos e cobre no segundo ciclo foram incrementadas.

Palavras-chave: *Sesamum Indicum* L., acúmulo e exportação de nutrientes, nutrição de plantas, salinidade.

AGRONOMIC EFFICIENCY OF SESAME SUBJECTED TO DIFFERENT IRRIGATION WATER QUALITIES AND SUGARCANE ASH RATES

Abstract: In the Brazilian semi-arid region, sesame production depends on irrigation to reach its maximum productive potential, due to the scarcity of water during part of the year in this region. However, the use of saline water in irrigation can partially meet the demand for water by plants and maintain a certain level of productivity of some crops, further favored by fertilization with vegetable ash. Thus, the objective was to evaluate the agronomic parameters of growth, yield, extraction and export of nutrients and sodium in sesame plants, under different ash doses and irrigation water qualities. The study was carried out in two successive cycles, at the Academic Unit of Serra Talhada of the Federal Rural University of Pernambuco. The design was in randomized blocks, in a factorial scheme ((5 x 2) + 2). The treatments consisted of five doses of sugarcane ash (0, 30, 60, 90 and 120 g plant⁻¹), two sources of water: supply (0.5 dS m⁻¹ and 4.1 dS m⁻¹ of artesian well) and two additional controls (T1 = Recommended fertilization + 0.5 dS m⁻¹ water); and (T2 = Recommended fertilization + 4.1 dS m⁻¹ water). Plant height, stem diameter, number of leaves and number of fruits were evaluated every 15 days. At the end, fresh and dry matter, productivity and oil content were estimated. Analyzes were also performed to quantify the extraction and export of N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, Cl and Na. The doses of ash applied in this study proved to be insufficient to attenuate the effects of salts on the agronomic aspects of sesame. Saline water negatively affected the leaf area index at the end of the cycle, plant height at the beginning of the first cycle, however, promoted an increase in certain stages of DC, N_{Fo} and N_{Fo} in the second cycle. Ash had a positive effect on S extraction and reduced Ca extraction. It promoted increases in chloride and Ca ion exports up to a dose of 72.2 g plant⁻¹, and linearly increased sodium export in the first cycle. Saline water negatively affected the extraction of Mg and S in the first cycle, and of N, S, Fe and Mn in the second cycle and promoted greater accumulations of Cl in both cycles and Na in the first cycle. The exports of Mg and S, in the first cycle, and of Ca in the second cycle, were reduced with the use of irrigation with saline waters. However, exports of Cl, Na and K in both cycles and copper in the second cycle increased.

Keywords: *Sesamum Indicum* L., nutrient accumulation, plant nutrition, salinity.

1. INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.), conhecido como "rainha das oleaginosas", é uma planta anual pertencente à família Pedaliacea (MORRIS et al., 2021). Cultivado principalmente em regiões semiáridas, possui um valor significativo na alimentação humana e animal devido às suas propriedades terapêuticas e nutricionais (GHOLINEZHAD & DARVISHZADEH, 2021).

Suas sementes são reconhecidas por conterem altos teores de óleo, característico por ser inodoro, comestível, estável e resistente à deterioração oxidativa, variando entre 40% e 60%, sendo maior parte usada para fins culinários, e com valores de proteína em torno de 17% a 29% (AHMED et al., 2023)

No Brasil, a produção de gergelim concentra-se principalmente nos estados de Mato Grosso, Pará e Tocantins, com a área de produção estimada segundo a CONAB para a safra de 2022/2023 de 164,5 mil megagramas (Mg) em uma área de 307,3 mil hectares e rendimento médio em torno de 535 kg por ha.

No semiárido brasileiro, a produção de gergelim para atingir seu máximo potencial produtivo depende da irrigação para garantir o suprimento adequado de água, devido às condições climáticas desfavoráveis, como altas temperaturas, intensa evaporação, baixa precipitação e distribuição irregular das chuvas. Apesar dessas adversidades climáticas, o cultivo de gergelim apresenta características favoráveis, como tolerância à seca e facilidade de cultivo nessa região (DIAS et al., 2019).

Outro desafio enfrentado na região é a qualidade das águas subterrâneas, que são fortemente afetadas pela composição química das rochas nas unidades aquíferas. É comum que essas águas estejam salinizadas, o que impacta seu potencial uso na irrigação (CARVALHO et al., 2022).

O estresse salino afeta negativamente as plantas devido a restrições tanto osmóticas quanto por toxicidade iônica. Segundo o estudo realizado por Wan et al. (2017), o componente osmótico do estresse salino é causado principalmente pela alta concentração de Na^+ e Cl^- . Esses íons limitam a absorção de água e de nutrientes pelas plantas, resultando em reduções no conteúdo relativo de água e pressão de turgescência. Esses efeitos adversos afetam o equilíbrio nutricional, crescimento e o rendimento das culturas agrícolas, não sendo diferente com a cultura do gergelim.

Há divergências quanto a adaptação do gergelim ao estresse salino. A esse respeito, Arriel; Beltrão; Firmino, (2009) e Maas (1986) categorizaram a cultura como extremamente sensível. Contudo, trabalhos mais recentes como o de Zhang et al. (2019)

e Abbasdokht et al. (2012) classificam a cultura como moderadamente sensível e moderadamente tolerante, respectivamente. Contudo, sabe-se que essa resposta é decorrente das condições do ambiente, cultivar, estágio de desenvolvimento e outros fatores inerentes.

Dessa forma, pela escassez e/ou má distribuição de água de qualidade nessa região, a utilização de água salina na irrigação pode ter o potencial de atender parcialmente a demanda de água das plantas e manter certo nível de produtividade das culturas, somados ainda a estratégias de cultivo que minimizem os efeitos deletérios do excesso de sais sobre as plantas e o solo (SILVA et al., 2022).

Desse modo, a utilização de fertilizantes orgânicos como a cinza vegetal, fonte de nutrientes como cálcio, magnésio, fósforo, potássio e micronutrientes podem beneficiar no desenvolvimento e rendimento das plantas, além de melhorar as características físico-químicas e capacidade de retenção de água do solo (BONFIM-SILVA et al., 2019). Por essas, características pode ser um material com potencial para utilização na redução dos efeitos deletérios do estresse salino.

Portanto, objetivou-se avaliar os parâmetros agrônômicos de crescimento, rendimento, extração e exportação de nutrientes e sódio em plantas de gergelim, sob diferentes doses de cinzas e qualidades da água de irrigação

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi realizado na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada na parte norte da microrregião do Vale do Pajeú, a uma distância de 407,3 km da cidade de Recife, em Pernambuco.

A área experimental está localizada na latitude sul de 07° 59' 3" e longitude oeste de 38° 17' 54", com uma altitude média de 435 metros. O clima da região é categorizado como BSwH conforme a classificação de Köppen, (1923), caracterizado como semiárido, quente e seco.

A temperatura média do ar na região é de 24,8°C. A distribuição das chuvas apresenta irregularidades tanto em termos espaciais quanto temporais, com uma média anual de precipitação de 642,1 mm. A umidade relativa do ar é aproximadamente 62,5%, e a demanda atmosférica ultrapassa 1.800 mm por ano, de acordo com a pesquisa de Silva et al. (2015).

2.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em um esquema fatorial $((5 \times 2) + 2)$, com um total de 48 unidades experimentais distribuídas em 4 repetições, em uma área de 9 x 11 metros. Os tratamentos consistiram em cinco diferentes doses de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (0, 30, 60, 90 e 120 g planta⁻¹), duas fontes de água (A1 = água do abastecimento local com condutividade elétrica de 0,5 dS m⁻¹; A2 = água de poço artesiano com condutividade elétrica de 4,1 dS m⁻¹), e mais duas testemunhas adicionais (T1 = adubação recomendada + água do abastecimento público com condutividade elétrica de 0,5 dS m⁻¹; T2 = adubação recomendada + água do poço artesiano com condutividade elétrica de 4,1 dS m⁻¹).

Cada bloco experimental foi composto por três linhas de plantio, sendo considerada apenas a linha do meio para fins de análise, enquanto as demais linhas foram designadas como bordaduras. Cada unidade experimental foi representada por nove plantas, sendo apenas quatro delas utilizadas para avaliação, enquanto as plantas restantes foram utilizadas como bordas entre os tratamentos.

Este estudo foi replicado em duas épocas distintas. O primeiro ciclo do experimento ocorreu entre os meses de fevereiro e maio de 2022, que corresponde ao período de maior incidência de chuvas na região do sertão pernambucano. Já o segundo ciclo foi realizado entre os meses de agosto e novembro do mesmo ano, caracterizado como a estação de pluviosidade mínima.

2.3. Preparo da área e adubação

O preparo do solo consistiu em aração e duas gradagens realizadas a uma profundidade de 0,20 a 0,30 m. Em seguida, foi efetuado o plantio, com espaçamento de 0,8 x 0,1 m entre linhas e entre plantas, respectivamente, o que compreende a um total de 125.000 plantas por hectare. Foram semeadas 4 sementes por cova, a uma profundidade de dois centímetros. Após a emergência das plantas, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por cova. A cultivar utilizada foi a BRS Seda, desenvolvida pela Embrapa Algodão.

Para os tratamentos testemunhas, adotou-se a adubação mineral recomendada para a cultura, seguindo as diretrizes do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA, 2008) e de acordo com os resultados obtidos na análise química do solo, aplicou-se 50, 40 e 60 kg ha⁻¹ de N – P₂O₅ – K₂O. Quanto aos demais tratamentos foram aplicadas doses

crescentes de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, baseando-se em trabalhos da literatura como o de Bonfim-Silva et al. (2020) para a cultura do amendoim.

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar foi obtida nos fornos do Engenho Santa Luzia, localizado no município de Triunfo - PE, onde o bagaço é utilizado como combustível para a produção de rapadura. Após passarem por um simples processo de beneficiamento por peneiramento, as cinzas foram aplicadas logo na semeadura, com abertura de sulcos paralelos às linhas de plantio, a uma distância média de 10 cm.

Antes de cada experimento, também foram coletadas amostras de solo, cinza e água e enviado ao laboratório, para análise dos atributos químicos, observados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Análise química do solo, cinzas do bagaço da cana-de-açúcar e da água do poço artesiano utilizadas no primeiro e segundo ciclo de produção do gergelim.

Solo																
M.O	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H ⁺ Al ³⁺	P	Cu	Fe	Mn	Zn	PST	V	CE	pH		
g Kg ⁻¹	cmolc	dm ³	dm ³	dm ³	dm ³	dm ³	mg dm ³	mg dm ³	mg dm ³	mg dm ³	%	dS m ⁻¹	H ₂ O			
C ₁	11,0	0,8	4,4	2,2	0,08	2,4	515,4	0,7	15	14,0	1,9	8,0	76	0,36	6,7	
C ₂	10,3	0,8	3,1	1,3	0,4	1,2	1358,7	1,6	13,3	19,7	3,7	6,0	82	1,4	7,0	
Cinzas da cana de açúcar																
M.O	K	Ca	Mg	N	P	S	Si	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	Cl	CE	pH	
g Kg ⁻¹	g Kg ⁻¹	g Kg ⁻¹	g Kg ⁻¹	g Kg ⁻¹	g Kg ⁻¹	g Kg ⁻¹	g Kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	dS m ⁻¹	H ₂ O						
C ₁	298,5	39,0	13,7	6,1	1,7	8,8	3,0	100,6	45,0	2105	931	46	380	7,5	-	10,3
C ₂	212,5	60,5	21,1	6,0	1,1	12,8	-	54,0	54,0	3660	717	135	830	-	20,2	10,4
Água																
K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ₃	SO ₃ ²⁺	Cl	Cu	Fe	Mn	Zn	RAS	CE	pH			
mmol L ⁻¹	mmol L ⁻¹	mmol L ⁻¹	mmol L ⁻¹	mmol L ⁻¹	mmol L ⁻¹	mmol L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	dS m ⁻¹	H ₂ O			
C ₁	0,3	5,8	11,8	2,9	1,8	0,37	16,0	0,01	0,1	0,23	0,03	0,6	4,0	7,0		
C ₂	0,3	7,2	8,2	3,1	3,6	0,49	16,7	0,01	0,01	0,03	0,01	0,7	1,8	6,6		

C₁ = Ciclo 1; C₂ = Ciclo 2; MO = Matéria Orgânica; V% = Saturação por Bases; PST = Porcentagem de sódio Trocável; CE = Condutividade elétrica; pH = Potencial Hidrogeniônico.

2.4. Manejo da irrigação

A irrigação dos experimentos foi realizada utilizando-se duas fontes de água distintas. O poço artesiano forneceu água com uma condutividade elétrica de 4,1 dS m⁻¹, enquanto a água proveniente do abastecimento público apresentava uma condutividade de 0,5 dS m⁻¹. O sistema de irrigação foi configurado com gotejadores autocompensantes do tipo PCJ/CNL Netafim™, distribuídos a cada 0,3 m e com uma vazão média de 2,1 L h⁻¹.

Durante a condução do experimento, foi realizado o monitoramento da condutividade elétrica da água. Ao constatar que a salinidade da água proveniente do poço artesiano estava abaixo do valor estabelecido no presente estudo (4,1 dS m⁻¹), procedeu-se à adição de sais à água do poço a cada vez que o reservatório era abastecido, utilizando-se NaCl e CaCl₂ numa proporção de 1:1 molar, conforme a metodologia

proposta por Richards (1954). Quanto à água proveniente do abastecimento, sua condutividade elétrica manteve-se próxima ao valor determinado no trabalho (0,5 dS m⁻¹).

Cada linha de plantio foi equipada com duas mangueiras, sendo uma conectada à tubulação de água salina e a outra à tubulação de água de abastecimento. Essa disposição permitiu a diferenciação da qualidade da água dentro da mesma linha de plantio. Nas áreas em que o tratamento não correspondia à qualidade da água da linha gotejadora, foram utilizadas mangueiras sem gotejadores, possibilitando uma irrigação específica para cada caso.

Após a conclusão da instalação do sistema de irrigação, foram realizados testes para determinar o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), o coeficiente de distribuição (CUD) e a eficiência do sistema de irrigação. Seguindo a metodologia proposta por Keller & Karmeli (1974), foram analisadas as quatro linhas de cultivo: a primeira linha, a linha localizada a 1/3 da origem, a linha situada a 2/3 da origem e a última linha. Além disso, foram selecionados quatro emissores por linha: o primeiro emissor, o emissor a 1/3 da linha, o emissor a 2/3 da linha e o último emissor. No total, foram avaliados 16 emissores.

Com base nesses testes, foram obtidos os seguintes resultados: o coeficiente de uniformidade de Christiansen foi de 98,6%, o coeficiente de distribuição alcançou 98% e a eficiência do sistema de irrigação foi de 93%.

A irrigação foi realizada diariamente com base na evapotranspiração da cultura (ETc) com os dados da ETo, Kc e Kl. Conforme a equação 1.

$$ETC = ETo * Kc * Kl \quad \text{eq. (1)}$$

Em que:

ETc - Evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹;

ETo - Evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, mm dia⁻¹;

Kc - Coeficiente de cultivo, adimensional e;

Kl. - Coeficiente de localização, adimensional.

Para calcular a evapotranspiração de referência (ETo), utilizou-se o modelo de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Os dados climáticos necessários foram obtidos a partir de uma estação agrometeorológica de aquisição automática de dados (HOBO RX Station - RX3000), instalada nas proximidades da área experimental.

$$ETo = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T_2 + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34u_2)} \quad \text{eq. (2)}$$

Em que:

ET_0 – Evapotranspiração de referência, mm dia^{-1} ;
 R_n – Radiação líquida na superfície da cultura, $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$;
 G – Densidade de fluxo de calor no solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$;
 T_2 – Temperatura do ar a 2 m de altura, $^{\circ}\text{C}$;
 u_2 – Velocidade do vento a 2 m de altura, m s^{-1} ;
 e_s – Pressão de saturação de vapor, KPa ;
 e_a – Pressão atual de vapor, KPa ;
 $(e_s - e_a)$ – Déficit de pressão de saturação de vapor, KPa ;
 Δ – Declividade da curva de pressão, vapor de saturação *versus* temperatura, $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$;
 γ – Constante psicrométrica, $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$;

O coeficiente de cultivo da cultura (K_c) foi adaptado a partir dos trabalhos de Grilo Júnior & Azevedo (2013) e Lourenço et al. (2018), divididos em quatro estágios de desenvolvimento, correspondendo a germinação ao início do crescimento vegetativo por um período de 15 dias, apresentando um coeficiente de cultivo de 0,51. Crescimento vegetativo até a floração (20 dias) e K_c de 0,73. Da floração até a formação das vagens (40 dias), com 1,03 e finalizando com a maturação dos frutos (15 dias) com K_c de 0,59.

Para determinação do K_l , foi utilizado estimativas de Keller & Bliesner (1990) (Equação 3)

$$K_l = (\text{PAM ou PAS}) + 0,15 \times (1 - (\text{PAM ou PAS})) \quad \text{eq. (3)}$$

Em que:

K_l - Coeficiente de localização, adimensional;

PAM ou PAS – Porcentagem de área molhada ou sombreada.

Após obter a evapotranspiração da cultura, procedeu-se ao cálculo da irrigação real necessária (IRN), subtraindo a precipitação diária da ET_c . Em seguida, estimou-se o tempo de irrigação, em minutos, utilizando a equação 4.

$$T_i = \frac{IRN * E_{LL} * E_g}{q_g * E_a} * 60 \quad \text{eq. (4)}$$

Em que:

T_i – Tempo de irrigação, min;

IRN – Irrigação real necessária, mm;

E_{LL} – Espaçamento entre as linhas laterais;

E_g – Espaçamento entre gotejadores na linha lateral, m;

q_g – Vazão do emissor, L h^{-1} ;

E_a – Eficiência do sistema de irrigação, decimal.

2.5. Variáveis analisadas

2.5.1. Crescimento e índice de área foliar das plantas

Para avaliar o efeito dos tratamentos no crescimento vegetativo aos 15; 30; 45; 60 e 75 dias após a emergência, foram coletados dados biométricos como altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NFo), e número de frutos (NFr). A altura da planta foi obtida utilizando-se uma trena graduada em cm, medindo-se do solo até a região apical. Para determinar o diâmetro do caule foi utilizado um paquímetro, medindo-se o caule da planta a 5,0 cm acima do solo, enquanto número de folhas e frutos a foi obtido a partir de contagem direta.

O índice de área foliar foi obtido com auxílio de ceptômetro (Accupar® (AccuPAR LP-80, Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA) que mede a radiação fotossinteticamente ativa sob e acima do dossel para determinação do IAF. As leituras foram feitas em frequência de 15 dias espaçados até o final do segundo ciclo do gergelim, a partir de 12:00 pm., em condições atmosféricas locais de céu claro, sem nuvens, para evitar interferências nos resultados das leituras.

2.5.2. Análise nutricional (extração e exportação de macronutrientes, micronutrientes e sódio)

Ao final do ciclo foram mensuradas a massa fresca (MF) da parte aérea e logo após separadas em parte vegetativa e fruto e acondicionadas em estufa de ar de circulação forçada a 65 °C até obter peso constante visando-se a obtenção da massa seca (MS), mensurada com o auxílio de uma balança analítica de 0,0001 g de precisão.

A partir disso, as amostras foram processadas em moinho do tipo Willey com peneira de 2 mm, acondicionadas em recipientes fechados para quantificação dos teores dos macronutrientes nitrogênio total (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e dos micronutrientes cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cloreto (Cl), e sódio (Na). A extração dos nutrientes do tecido vegetal (exceto N) foi realizada por meio da digestão via úmida (ácido nítrico) em extrator de amostras (tipo batch - refluxo), via micro-ondas, conforme metodologia proposta por Silva (2009).

A extração do N foi realizada por digestão sulfúrica em bloco digestor, segundo metodologia de Bezerra Neto & Barreto (2011).

A determinação de nitrogênio foi feita pelo método do destilador de Kjeldahl e titulação. Os teores de potássio e sódio foram determinados pela técnica de fotometria de chama. O teor de fósforo foi determinado pelo método Colorimétrico do Molibdato-

vanadato, no espectrofotômetro UV (420 nm). O Enxofre pelo método turbidimétrico do sulfato de bário em espectrofotômetro UV (470 nm). O cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês por espectrofotometria de absorção atômica e cloreto por titulação pelo método de Mohr. Todas as análises foram realizadas de acordo com metodologia de Bezerra Neto & Barreto (2011).

A quantidade dos nutrientes extraídos pela planta foi quantificada, através do produto entre o total da matéria seca produzida e o teor do nutriente encontrado no respectivo compartimento, e estimado em kg ha⁻¹ considerando um total de 125.000 planta ha⁻¹. A quantidade total extraída de nutrientes foi obtida pela soma das quantidades acumuladas nos três compartimentos (caule + folha + fruto), ou seja, extração total de nutrientes do solo. A quantidade de nutrientes acumulada nos frutos é considerada exportação, ou seja, a parte que foi removida do solo, como produto final e comercial.

2.5.3. Produtividade, biomassa e teor de óleo.

A colheita foi realizada aos 90 dias após o semeio, quando a planta se encontrara em maturidade fisiológica, conforme estágios fenológicos propostos por Grilo Júnior & Azevedo (2013). As quatro plantas de cada parcela experimental foram divididas em caule + folhas e em frutos e pesados em balança semi-analítica para a obtenção da matéria fresca e massa seca das plantas.

Para avaliar o efeito dos tratamentos em relação à produtividade do gergelim, foi realizada a pesagem dos grãos após secagem secos em balança analítica. Os valores iniciais foram registrados em e posteriormente estimada a produtividade em quilogramas por hectare, ao qual foi considerado um estande de 125.000 plantas por hectare.

O teor de óleo foi determinado pelo método de Soxhlet por solvente n-hexano, conforme metodologia descrita por Bezerra Neto & Barreto (2011). As sementes foram secas até atingirem peso constante e, em seguida, foram trituradas utilizando um almofariz e pistilo. Em um papel de filtro, foi colocado 5 g da amostra, envolvendo-a no próprio papel de filtro, e colocada em um cartucho extrator.

Tarou-se um balão de fundo chato previamente seco em estufa, transferiu-se o conjunto para um extrator de Soxhlet, adaptou-o ao balão e, em seguida, adicionou-se o solvente hexano em quantidade suficiente para sifonar uma vez e mais a metade da capacidade do extrator (250 mL). Conectou-se o conjunto extrator ao condensador e em seguida colocou-se em contato a uma manta de aquecimento;

A chapa foi aquecida a uma temperatura constante, conforme temperatura de ebulição do solvente (60 a 70°C), e a extração foi realizada por um período de 8 horas.

Após a extração, o cartucho com a amostra foi removido e o balão coletor foi submetido a um retroevaporador para recuperar parte do solvente. Em seguida, o balão foi transferido para uma estufa regulada a 100°C e mantido por 3 horas para a separação total. O balão coletor contendo o óleo foi transferido para um dessecador e deixado por aproximadamente 30 minutos.

Em seguida, o peso foi medido e a porcentagem de óleo na amostra foi calculada usando a fórmula $100 \times N/P = \text{lipídios ou extrato etéreo por cento m/m}$, onde N representa o número de gramas de lipídios obtidos pela diferença entre o peso do balão seco e o peso do balão com óleo, e P representa o número de gramas da amostra (aproximadamente 5,0 g).

2.6. Análise estatística

Os dados foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade de variâncias, além de serem realizadas análises de variância (ANOVA) utilizando o teste F ($p \leq 0,05$). Para atender aos pressupostos de normalidade, e quando necessário, os dados foram submetidos a transformação Box-Cox (Box; Cox, 1964).

Posteriormente, os efeitos significativos do fator salinidade e entre as testemunhas foram comparados pelo teste de médias de Tukey ($p \leq 0,05$). Além disso, a relação entre as testemunhas e o fator qualidade da água foi analisada por meio do teste de Dunnett, utilizando o Software R versão 4.2.1 (R Core Team (2022)).

As doses de cinzas foram analisadas por meio de regressão polinomial, selecionando o modelo de regressão com base no maior valor do coeficiente de determinação, significância dos parâmetros das equações, efeito não significativo do desvio de regressão e explicação biológica para os fenômenos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise de crescimento

De acordo com a análise de variância (Tabela 2), houve interação entre os fatores água de irrigação *versus* doses de cinza, apenas para o número de folhas aos 45 dias após a emergência (DAE) no primeiro ciclo e para altura de plantas aos 75 DAE no segundo ciclo. Observou-se efeito isolado para a qualidade da água de irrigação em altura de plantas aos 15 DAE no primeiro ciclo. E aos 15 DAE para o diâmetro do caule no segundo ciclo. O número de folhas obteve-se diferenças significativas para a qualidade da água de irrigação aos 30, 45 e 60 DAE, e para número de frutos aos 45 e 60 DAE, ambos apenas no segundo ciclo.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as medidas biométricas do primeiro e segundo ciclo do gergelim para Altura de Planta (AP), Diâmetro do Caule (DC) Número de Folhas (NFO) e Número de Frutos (NFR) aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após a emergência, irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar.

QUADRADO MÉDIO											
ALTURA DE PLANTAS											
FV	GL	15 DAE		30 DAE		45 DAE		60 DAE		75 DAE	
		C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
Água (A)	1	8,5*	0,31 ^{ns}	160,7 ^{ns}	2,2 ^{ns}	329,3 ^{ns}	104,6 ^{ns}	211,7 ^{ns}	87,0 ^{ns}	198 ^{ns}	247,9 ^{ns}
Doses (D)	4	1,6 ^{ns}	0,20 ^{ns}	131,1 ^{ns}	5,9 ^{ns}	267,8 ^{ns}	107,2 ^{ns}	386,3 ^{ns}	139,7 ^{ns}	618,6 ^{ns}	32,7 ^{ns}
A x D	4	3,0 ^{ns}	0,01 ^{ns}	21,7 ^{ns}	1,4 ^{ns}	84,1 ^{ns}	23,3 ^{ns}	55,5 ^{ns}	113,0 ^{ns}	224,5 ^{ns}	37 8,3*
Teste (T)	1	4,0 ^{ns}	0,48 ^{ns}	49,4 ^{ns}	66,7**	501,6 ^{ns}	147,2 ^{ns}	124,4 ^{ns}	96,2 ^{ns}	218,5 ^{ns}	44,5 ^{ns}
T x (A+D)	1	2,4 ^{ns}	0,21 ^{ns}	430,4*	38,4*	1087,0**	324,0 ^{ns}	561,3 ^{ns}	286,5 ^{ns}	1096,1 ^{ns}	24,1 ^{ns}
Bloco	3	2,5 ^{ns}	1,22**	7,9 ^{ns}	22,7*	29,1 ^{ns}	137,6 ^{ns}	199,3 ^{ns}	124,7 ^{ns}	726,9 ^{ns}	167,3 ^{ns}
Resíduo	33	1,3	0,15	72,7	5,8	142,9	88,6	283,7	86,7	345,7	121,8
CV	%	13,3	15,0	15,2	20,8	8,9	15,2	9,2	8,7	9,2	9,0
DIÂMETRO DO CAULE											
FV		C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
Água (A)	1	0,01 ^{ns}	0,2**	0,5 ^{ns}	0,4 ^{ns}	2,3 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	7,0 ^{ns}	1,4 ^{ns}	5,8 ^{ns}	3,1 ^{ns}
Doses (D)	4	0,05 ^{ns}	0,005 ^{ns}	3,7 ^{ns}	0,7 ^{ns}	1,7 ^{ns}	1,4 ^{ns}	2,6 ^{ns}	0,89 ^{ns}	1,9 ^{ns}	0,4 ^{ns}
A x D	4	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,0 ^{ns}	0,4 ^{ns}	3,1 ^{ns}	0,2 ^{ns}	1,5 ^{ns}	0,96 ^{ns}	2,7 ^{ns}	0,2 ^{ns}
Teste (T)	1	0,0009 ^{ns}	0,07 ^{ns}	2,0 ^{ns}	5,6**	0,07 ^{ns}	9,7**	0,6 ^{ns}	9,0*	0,2 ^{ns}	0,4 ^{ns}
T x (A+D)	1	0,05 ^{ns}	0,3**	60,0**	4,5**	120,2**	18,6**	117,9**	16,4**	59,1**	7,7 ^{ns}
Bloco	3	0,04 ^{ns}	0,03 ^{ns}	7,9*	1,8*	11,0*	1,7 ^{ns}	7,5 ^{ns}	2,2 ^{ns}	9,8**	3,2 ^{ns}
Resíduo	33	0,10	0,02	1,8	0,6	2,8	1,0	3,7	1,2	1,9	2,4
CV	%	10,1	10,7	12,6	14,5	12,8	10,6	14,2	11,0	10,3	14,4
NÚMERO DE FOLHAS											
FV		C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
Água (A)	1	0,2 ^{ns}	0,02 ^{ns}	3,2 ^{ns}	2,2*	129,7 ^{ns}	58,8**	32,7 ^{ns}	975,1**	302,3 ^{ns}	801,0 ^{ns}
Doses (D)	4	0,5 ^{ns}	0,009 ^{ns}	9,5 ^{ns}	0,2 ^{ns}	112,9 ^{ns}	10,8	80,4 ^{ns}	46,1 ^{ns}	178,0 ^{ns}	204,1 ^{ns}
A x D	4	0,3 ^{ns}	0,009 ^{ns}	7,3 ^{ns}	0,5 ^{ns}	160,6*	9,1	120,2 ^{ns}	105,5 ^{ns}	209,6 ^{ns}	275,0 ^{ns}
Teste (T)	1	0,002 ^{ns}	0,03 ^{ns}	3,8 ^{ns}	5,6**	12,6 ^{ns}	105,1**	34,2 ^{ns}	87,7 ^{ns}	495,6 ^{ns}	457,5 ^{ns}
T x (A+D)	1	1,9*	0,009 ^{ns}	188,6**	4,8**	2323,0**	306,0**	7498,7**	436,0**	966,4 ^{ns}	5217,3**
Bloco	3	0,4 ^{ns}	0,04*	39,3*	0,5 ^{ns}	676,2*	27,2*	203,6 ^{ns}	44,0 ^{ns}	918,9*	684,6*
Resíduo	33	0,2	0,01	11,2	0,5	53,4	7,7	191,6	52,2	260,8	219,7
CV	%	11,1	5,5	22,8	10,3	21,8	15,7	29,2	17,2	35,8	27,4

FV		NÚMERO DE FRUTOS									
		C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
Água (A)	1	-	-	-	-	2,0 ^{ns}	17,8 ^{**}	295,0 ^{ns}	835,3 ^{**}	538,4 ^{ns}	292,9 ^{ns}
Doses (D)	4	-	-	-	-	1,4 ^{ns}	0,5 ^{ns}	232,9 ^{ns}	64,1 ^{ns}	105,7 ^{ns}	206,3 ^{ns}
A x D	4	-	-	-	-	1,2 ^{ns}	0,4 ^{ns}	90,5 ^{ns}	36,6 ^{ns}	756,8 ^{ns}	211,8 ^{ns}
Teste (T)	1	-	-	-	-	0,02 ^{ns}	2,5 ^{ns}	244,9 ^{ns}	0,7 ^{ns}	184,1 ^{ns}	178,1 ^{ns}
T x (A+D)	1	-	-	-	-	28,6 ^{**}	0,002 ^{ns}	3185,3 ^{**}	228,0 ^{ns}	3451,0 ^{**}	2263,2 ^{**}
Bloco	3	-	-	-	-	1,9 ^{ns}	0,6 ^{ns}	400,8 [*]	5,7 ^{ns}	2078,4 ^{**}	339,6 ^{ns}
Resíduo	33	-	-	-	-	1,4	0,7	134,2	63,2	335,4	179,9
CV	%	-	-	-	-	59,0	90,8	31,7	36,0	28,6	31,4

* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1%; ns – não significativo; DAE- Dias após a emergência; FV-Fontes de variação; GL- Grau de liberdade; CV- Coeficiente de variação; C₁ = Ciclo 1; C₂ = Ciclo 2.

Na interação entre doses de cinza e fonte de água de irrigação (Figura 1A), é possível observar um efeito linear para altura de plantas. Quando utilizada a água de 0,5 dS m⁻¹, a aplicação da dose de 120 g planta⁻¹ obteve melhores resultados para altura de plantas aos 75 DAE do segundo ciclo com cerca de 127,3 cm. No entanto, quando se utilizou a água salina na irrigação, o aumento nas doses de cinzas teve um impacto negativo sobre as plantas, resultando em redução linear nessa variável.

Aos 45 DAE do primeiro ciclo (Figura 1B) foi detectado efeito significativo da interação dos fatores doses de cinza *versus* qualidade da água de irrigação para o número de folhas. A utilização de água de 0,5 dS m⁻¹, teve uma tendência quadrática com ponto máximo de 36,6 no número de folhas até a dose de 59,4 g planta⁻¹, a partir disso, houve decréscimo de 9,8 folhas nesse intervalo em relação à dose máxima. Com a utilização da água salina, o aumento das doses teve um efeito prejudicial sobre o número de folhas.

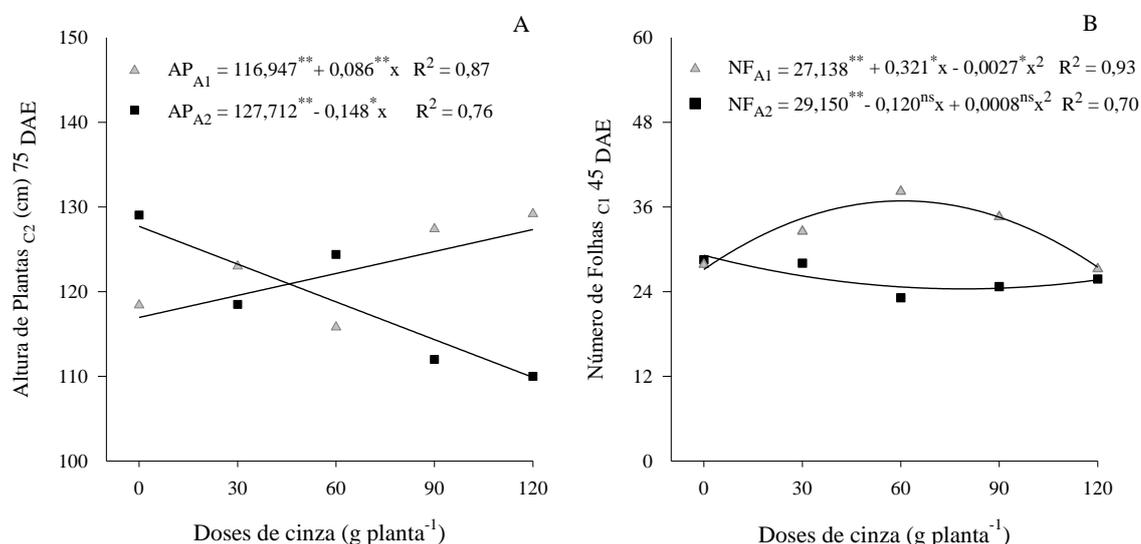


Figura 1. Altura de plantas (A) aos 75 dias após a emergência (DAE) do segundo ciclo e número de folhas (B) aos 45 DAE do primeiro ciclo de gergelim sob irrigação com águas de diferentes condutividades elétricas e doses de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar. A1 = água de 0,5 ds m⁻¹ e A2 = água de 4,1 dS m⁻¹.

De acordo com a análise química da cinza da cana-de-açúcar utilizada, a condutividade elétrica foi de 20,2 dS m⁻¹, o que pode ser considerada como elevada. Portanto, conforme resultados mostrados na Figura 1, isso pode estar relacionada ao efeito das cinzas no aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo com maior intensidade no final do ciclo, que pode ter causado a redução do crescimento da planta.

Como pode-se observar nas Tabelas 3 e 4, no primeiro e segundo ciclo os efeitos da água salina foram suaves sob a altura das plantas e diâmetro do caule de gergelim,

onde houve significância apenas para o efeito isolado aos 15 DAE para altura de planta no primeiro ciclo e aos 15 DAE do segundo ciclo para diâmetro do caule. O efeito da água salina para ambas variáveis tiveram efeito inverso. A irrigação com água salina no início de cultivo teve efeito redutor para altura de plantas, enquanto o diâmetro teve um acréscimo.

Segundo Flowers & Yeo (1989), o aumento do diâmetro do caule em resposta à água salina pode ser explicado pela regulação da concentração de íons na parte aérea por meio do crescimento das plantas. Considerando um limite máximo aceitável para as concentrações de íons nas células, um aumento desses íons pode ser acomodado por um aumento no tamanho das células (suculência) ou por um aumento no número de células, resultando em taxas de crescimento mais elevadas.

Corroborando o presente trabalho, Suassuna et al. (2017) também observaram pequena influência na altura de plantas e diâmetro do caule de gergelim irrigadas com CEa de até 4,6 dS m⁻¹.

Nas Tabelas 5 e 6, é possível fazer comparações entre as fontes de água de irrigação e as testemunhas em relação ao fator água da irrigação para N_{Fo} (número de folhas) e N_{Fr} (número de frutos), com variações durante o ciclo de cultivo.

Aos 30 dias após a emergência do segundo ciclo, foi constatado que a água de irrigação com condutividade elétrica de 0,5 dS m⁻¹ induziu a obtenção de médias mais altas para o número de folhas. Contudo, aos 45 e 60 DAE, o uso de água salina proporcionou um resultado superior nesse aspecto tanto para o número de folhas como número de frutos, com incrementos de 2,4 e 9,9 para N_{Fo} e 1,2 e 9,1 para N_{Fr}, respectivamente. Porém, ressalta-se que aos 75 DAE, a irrigação com água de 0,5 dS⁻¹ e 4,1 dS m⁻¹ não apresentaram diferença significativas entre si, tanto para N_{Fo} como para N_{Fr}.

Embora seja mais comum encontrar resultados de pesquisas que mostram efeitos redutivos no número de folhas e frutos sob condições de salinidade, existem estudos que relatam efeitos contrários. Silva et al. (2012) constataram um aumento no número de frutos de tomate em resposta ao incremento da salinidade da água de irrigação, seguindo uma relação linear crescente.

Zhang; Senge e Dai (2016) também comentam efeitos positivos em tomate em CEa até 3,0 dS m⁻¹. Essa resposta positiva foi atribuída ao aumento de nutrientes na solução, no entanto, o tomate mostrou sinais do estresse salino quando submetido a uma CEa entre 3 e 5 dS m⁻¹. Marinho et al. (2005) também observaram um aumento no número de frutos de *Cocos nucifera* L, com aumento da salinidade.

Isso pode estar relacionado a dois aspectos. O primeiro é que até os 60 DAE o acúmulo de sais no solo ainda não eram suficientes para causar efeitos negativos sobre as plantas, o que pode ter ocorrido uma redistribuição de íons nas plantas, modulando seu transporte e evitando acúmulos tóxicos em certos tecidos. No entanto, a partir desse período, com a duração e intensidade de exposição aos sais, as plantas começaram a sentir os efeitos da salinidade, tal como pelo aparecimento de clorose, queimaduras e necroses nas folhas, além da senescência, principalmente das folhas mais velhas.

Outro aspecto a ser considerado é que, quando submetidas a situações de estresse, as plantas desenvolvem mecanismos para promover uma dispersão mais rápida da espécie, o que foi visualizado nos tratamentos salinos.

Tabela 3. Valores médios para altura de plantas (AP) de gergelim nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, aos 15; 30; 45 dias após a emergência do primeiro e segundo ciclo de cultivo.

ALTURA DE PLANTAS (cm)						
FV	C ₁			C ₂		
	15 _{DAE}	30 _{DAE}	45 _{DAE}	15 _{DAE}	30 _{DAE}	45 _{DAE}
A1	9,01a	56,4a	134,5a*	2,4a*	10,9a*	62,3a
A2	8,09b*	52,4a*	128,8a*	2,6a	11,3a*	59,1a*
T1	9,8A	64,9A	152,3A	2,9A	16,4A	71,9A
T2	8,4A	59,9A	136,5A	2,4A	10,6B	63,4A

Médias seguidas da mesma letra minúscula, para o fator água (A1 e A2), e maiúscula, para as testemunhas (T1 e T2), não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Médias seguidas de * e/ou + se diferenciam da testemunha 1 (T1) e testemunha 2 (T2), respectivamente, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). DAE- Dias após a emergência. FV – Fator de variação. A1 - Água com 0,5 dS m⁻¹; A2 - Água com 4,1 dS m⁻¹; T1 - Adubação recomendada + água com 0,5 dS m⁻¹; T2 - Adubação recomendada + água com 4,1 dS m⁻¹, C₂ = Ciclo 2.

Tabela 4. Valores médios para diâmetro do caule (DC) de gergelim nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após a emergência do primeiro e aos 15, 30, 45, e 60 DAE no segundo ciclo de cultivo.

DIÂMETRO DO CAULE (mm)									
FV	C ₁					C ₂			
	15 _{DAE}	30 _{DAE}	45 _{DAE}	60 _{DAE}	75 _{DAE}	15 _{DAE}	30 _{DAE}	45 _{DAE}	60 _{DAE}
A1	1,35a	10,4a*+	12,5a*+	13,2a*+	13,3a*+	1,3b*+	5,2a	9,3a*	9,6a*
A2	1,32a	10,1a*+	12,1a*+	12,4a*+	12,5a*+	1,5a*	5,0a*	9,3a*	10,0a*
T1	1,42A	13,8A	16,6A	17,3A	16,0A	1,7A	6,8A	12,1A	12,5A
T2	1,44A	12,8A	16,4A	16,8A	15,7A	1,5A	5,1B	9,8B	10,3B

Médias seguidas da mesma letra minúscula, para o fator água (A1 e A2), e maiúscula, para as testemunhas (T1 e T2), não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Médias seguidas de * e/ou + se diferenciam da testemunha 1 (T1) e testemunha 2 (T2), respectivamente, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). DAE- Dias após a emergência. FV – Fator de variação. A1 - Água com 0,5 dS m⁻¹; A2 - Água com 4,1 dS m⁻¹; T1 - Adubação recomendada + água com 0,5 dS m⁻¹; T2 - Adubação recomendada + água com 4,1 dS m⁻¹, C₂ = Ciclo 2.

Tabela 5. Valores médios para número de folhas de gergelim nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, aos 30; 45; 60 e 75 dias após a emergência do primeiro e aos 30; 45; 60, e 70 DAE no segundo ciclo de cultivo.

FV	NÚMERO DE FOLHAS							
	-----C ₁ -----				-----C ₂ -----			
	30 _{DAE}	45 _{DAE}	60 _{DAE}	75 _{DAE}	30 _{DAE}	45 _{DAE}	60 _{DAE}	75 _{DAE}
A1	13,5a ⁺	32,0a ⁺	42,5a ⁺	45,7a	6,9a [*]	15,3b ⁺	35,5b ⁺	53,8a [*]
A2	14,0a ⁺	28,4a ⁺	40,7a ⁺	40,2a ⁺	6,5b [*]	17,7a [*]	45,4a	44,9a ⁺
T1	19,8A	50,2A	73,1A	47,1A	8,4A	26,9A	51,8A	84,9A
T2	18,4A	47,6A	77,2A	62,9A	6,7B	19,6B	45,2A	69,8A

Médias seguidas da mesma letra minúscula, para o fator água (A1 e A2), e maiúscula, para as testemunhas (T1 e T2), não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Médias seguidas de * e/ou + se diferenciam da testemunha 1 (T1) e testemunha 2 (T2), respectivamente, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). DAE- Dias após a emergência. FV – Fator de variação. A1 - Água com 0,5 dS m⁻¹; A2 - Água com 4,1 dS m⁻¹; T1 - Adubação recomendada + água com 0,5 dS m⁻¹; T2 - Adubação recomendada + água com 4,1 dS m⁻¹, C₂ = Ciclo 2.

Tabela 6. Número de frutos de gergelim nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, aos 45, 60 e 75 dias após a emergência do primeiro e segundo ciclo de cultivo.

FV	NÚMERO DE FRUTOS					
	-----C ₁ -----			-----C ₂ -----		
	45 _{DAE}	60 _{DAE}	75 _{DAE}	45 _{DAE}	60 _{DAE}	75 _{DAE}
A1	4,8a ⁺	36,5a ⁺	63,7a ⁺	0,4b	16,5b ⁺	36,9a [*]
A2	3,4a ⁺	31,1a ⁺	56,4a ⁺	1,6a	25,6a	43,3a [*]
T1	10,5A	61,2A	78,0A	1,5A	27,2A	62,7A
T2	11,2A	54,3A	87,6A	0,3A	26,6A	53,3A

Médias seguidas da mesma letra minúscula, para o fator água (A1 e A2), e maiúscula, para as testemunhas (T1 e T2), não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Médias seguidas de * e/ou + se diferenciam da testemunha 1 (T1) e testemunha 2 (T2), respectivamente, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). DAE- Dias após a emergência. FV – Fator de variação. A1 - Água com 0,5 dS m⁻¹; A2 - Água com 4,1 dS m⁻¹; T1 - Adubação recomendada + água com 0,5 dS m⁻¹; T2 - Adubação recomendada + água com 4,1 dS m⁻¹, C₂ = Ciclo 2.

Suassuna et al. (2017) também observaram pequena influência da salinidade na altura de plantas. No entanto, não observaram influência para o número de folhas, utilizando água de CE crescente até a 4,6 dS m⁻¹. Entretanto, vale ressaltar que, no estudo citado, a irrigação com água salina foi iniciada aos 29 dias após a semeadura, quando as plantas já estavam estabelecidas.

Entre as testemunhas, observou-se diferenças aos 30 DAE para altura de plantas, aos 30, 45 e 60 DAE para diâmetro do caule, e aos 30 e 45 para número de folhas, todas observações feitas para o segundo ciclo, em que a testemunha 1 irrigada com água de 0,5 dS m⁻¹ sob adubação recomendada, obteve as maiores médias em comparação com testemunha 2.

Entre as testemunhas e os tratamentos comuns que não receberam adubação mineral, aqueles que receberam adubação recomendada, apresentaram, de forma geral, resultados superiores. Essa superioridade pode ser atribuída à aplicação de adubação nitrogenada nesses tratamentos, uma vez que o nitrogênio desempenha várias funções fundamentais no metabolismo e na regulação do crescimento vegetal.

A princípio considerava-se que no primeiro ciclo a quase ausência de efeitos negativos dos sais sobre as plantas poderia ter sido decorrente das elevadas precipitações que ocorreram durante o experimento, auxiliando na lixiviação dos sais para longe das raízes, no entanto, no segundo ciclo os resultados foram semelhantes. Isso demonstra que o gergelim BRS Seda manteve moderada tolerância ao estresse dos sais, conforme as condições aplicadas no presente experimento.

Para o índice de área foliar (Tabela 7) foram observadas diferenças apenas para o fator qualidade da água de irrigação isoladamente, aos 75 e 90 dias após a semeadura. Esse resultado se deve a senescência e perda das folhas das plantas sob estresse, visualizada mais aparente no final do ciclo.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para Índice de área foliar (IAF) aos 35, 50, 65, 75 e 90 dias após a semeadura do segundo ciclo do gergelim irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar.

FV	QUADRADO MÉDIO					
	GL	IAF				
		35 _{DAE}	50 _{DAE}	65 _{DAE}	75 _{DAE}	90 _{DAE}
Água (A)	1	2,00 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,01 ^{ns}	13,53 ^{**}	23,68 ^{**}
Doses (D)	4	0,48 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,42 ^{ns}	1,28 ^{ns}	0,58 ^{ns}
A x D	4	0,005 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Teste (T)	1	3,57 [*]	0,30 ^{ns}	0,15 ^{ns}	1,77 ^{ns}	5,5 ^{**}
T x (A+D)	1	6,55 ^{**}	13,5 ^{**}	4,78 ^{ns}	7,05 ^{**}	12,79 ^{**}
Bloco	3	0,92 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,90 ^{**}	0,75 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Resíduo	33	0,59	0,41	0,37	0,86	0,71
CV	%	23,3	12,7	15,4	25,5	33,7

* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1%; ns – não significativo; DAE- Dias após a emergência; FV-Fontes de variação; GL- Grau de liberdade; CV- Coeficiente de variação.

Trabalhando em condições de casa de vegetação e em vasos, Sousa et al. (2017) também constataram que o aumento do conteúdo salino da água de irrigação reduziu a área foliar das plantas, no entanto, esses efeitos foram observados, aos 50 dias após a semeadura.

Como destacado por Bazrafshan & Ehsanzadeh (2014), a redução da área foliar é uma das primeiras características das plantas afetadas pela salinidade. Para esses autores, essa redução devido ao estresse salino tem sido considerada um mecanismo de prevenção para reduzir a perda de água por transpiração e destaca que em plantas sensíveis ao sal,

este pode acumula-se em concentrações tóxicas, particularmente nas folhas que transpiram há mais tempo, levando-as a senescências de folhas mais velhas.

Tabela 8. Valores médios do Índice de Área foliar (IAF) nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, aos 35, 50, 65 e 75 e 90 dias após a emergência (DAE) do segundo ciclo de cultivo.

FV	IAF (m ² /m ²)				
	C ₂				
	35 _{DAE}	50 _{DAE}	65 _{DAE}	75 _{DAE}	90 _{DAE}
A1	3,34a*	4,89a* ⁺	3,83a ⁺	4,05a	3,04a*
A2	2,86a*	4,71a* ⁺	3,79a ⁺	2,89b*	1,5b* ⁺
T1	4,78A	6,03A	4,52A	4,97A	4,49A
T2	3,44B	6,42A	4,80A	4,03A	2,83B

Médias seguidas da mesma letra minúscula, para o fator água (A1 e A2), e maiúscula, para as testemunhas (T1 e T2), não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Médias seguidas de * e/ou + se diferenciam da testemunha 1 (T1) e testemunha 2 (T2), respectivamente, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). DAE- Dias após a emergência. FV – Fator de variação. A1 - Água com 0,5 dS m⁻¹; A2 - Água com 4,1 dS m⁻¹; T1 - Adubação recomendada + água com 0,5 dS m⁻¹; T2 - Adubação recomendada + água com 4,1 dS m⁻¹, C₂ = Ciclo 2.

Entre as testemunhas, foi observada diferenças aos 35 DAE e ao final do ciclo aos 90 DAE, pelo mesmo motivo da senescência das folhas que foram antecipadas com a irrigação com água salina (Tabela 8). Entre testemunhas adicionais em relação à água de irrigação, foi visualizado diferenças tanto para T1 como T2, sendo mais evidente em relação à testemunha com adubação recomendada e irrigada com água de 0,5 dS m⁻¹.

3.2. Extração e exportação de nutrientes e sódio

Nas Tabelas 9 e 11 encontram-se apresentados os resumos de Análises de Variância para a extração (caule + folha + fruto) e exportação de nutrientes (fruto) e sódio (Na) em plantas de gergelim sob irrigação com diferentes qualidades de água e doses de cinza.

As diferenças significativas entre as qualidades de água irrigação para extração e exportação de nutrientes estão nas Tabelas 10 e 12, assim, como diferenças entre testemunhas e testemunhas adicionais e qualidades da água.

O efeito isolado para as doses de cinzas e interação entre os fatores foram representados por meio de gráfico de regressão, com ajuste de acordo com o coeficiente de determinação R².

Com relação à extração dos macronutrientes, houve interação entre os fatores apenas para cálcio no primeiro ciclo e efeito isolado das doses de cinzas para enxofre no segundo ciclo. Efeito isolado da água de irrigação, para magnésio e enxofre no primeiro

ciclo e para N e S no segundo ciclo. As demais diferenças observadas foram entre testemunhas e testemunhas adicionais em relação à qualidade da água de irrigação (Tabela 9).

No caso dos micronutrientes e do elemento sódio, não foi observado um efeito de interação entre os fatores, mas observados efeitos significativos para o fator qualidade da água de irrigação, especialmente para o cloreto e o sódio no primeiro ciclo, e para ferro, manganês e cloreto no segundo ciclo. Além disso, foram identificadas diferenças entre as testemunhas e as testemunhas adicionais em relação à qualidade da água de irrigação (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise de variância para extração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), cloreto (Cl) e sódio (Na) em gergelim irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar.

QUADRADO MÉDIO														
FV	GL	N		P		K		Ca		Mg		S		
		C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	
Água (A)	1	130,6 ^{ns}	4717,3*	2,4 ^{ns}	70,4 ^{ns}	4100,3 ^{ns}	3797,0	193,8 ^{ns}	172,9 ^{ns}	702,2**	90,2 ^{ns}	72,1**	189,4**	
Doses (D)	4	728,7 ^{ns}	1468,6 ^{ns}	82,3 ^{ns}	35,3 ^{ns}	2265,5 ^{ns}	2331,9 ^{ns}	2909,0**	329,6 ^{ns}	11,0 ^{ns}	102,2 ^{ns}	7,4 ^{ns}	78,7**	
A x D	4	1122,9 ^{ns}	1126,7 ^{ns}	25,6 ^{ns}	10,1 ^{ns}	2013,8 ^{ns}	1493,9 ^{ns}	1719,1*	739,3 ^{ns}	6,5 ^{ns}	77,67 ^{ns}	5,7 ^{ns}	43,0 ^{ns}	
Teste (T)	1	1128,1 ^{ns}	23539,0**	8,5 ^{ns}	522,1**	540,1 ^{ns}	17525,2**	25,6 ^{ns}	2618,3*	8,3 ^{ns}	0,05 ^{ns}	24,2 ^{ns}	270,7**	
T x (A+D)	1	40044,2**	46462,7**	408,5*	587,6**	8369,7 ^{ns}	22780,8**	407,6 ^{ns}	29313,6**	531,1**	1284,1**	82,7**	60,8*	
Bloco	3	4610,7*	948,1 ^{ns}	109,2 ^{ns}	22,3 ^{ns}	3641,1*	1839,2 ^{ns}	186,8 ^{ns}	854,3 ^{ns}	115,8 ^{ns}	55,51 ^{ns}	10,8 ^{ns}	37,7 ^{ns}	
Resíduo	33	1267,5	872,3	67,9	30,0	1266,8	1287,3	533,6	423,4	46,0	41,61	6,0	19,8	
CV	%	24,4	32,0	17,2	20,8	18,5	27,6	20,1	25,20	20,8	23,64	23,9	35,1	
FV	GL	Cu		Fe		Mn		Zn		Cl		Na		
		C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	
Água (A)	1	8e-05 ^{ns}	5e-04 ^{ns}	2e-05 ^{ns}	3e-03*	3e-04 ^{ns}	0,01**	4e-03 ^{ns}	0,006 ^{ns}	6115,97*	12273,8*	1267,2*	72,4 ^{ns}	
Doses (D)	4	8e-04 ^{ns}	4e-04 ^{ns}	1e-04 ^{ns}	3e-04 ^{ns}	7e-04 ^{ns}	0,002 ^{ns}	1e-03 ^{ns}	0,006 ^{ns}	230,5 ^{ns}	134,0 ^{ns}	312,0 ^{ns}	158,1 ^{ns}	
A x D	4	7e-04 ^{ns}	2e-04 ^{ns}	1e-04 ^{ns}	1e-03 ^{ns}	5e-04 ^{ns}	0,001 ^{ns}	4e-03 ^{ns}	0,003 ^{ns}	118,6 ^{ns}	30,1 ^{ns}	297,0 ^{ns}	189,9 ^{ns}	
Teste (T)	1	1e-05 ^{ns}	5e-04**	1e-05 ^{ns}	2e-04 ^{ns}	0,05**	0,01**	8e-05 ^{ns}	0,02**	1420,7**	3242,9**	4,8 ^{ns}	456,5*	
T x (A+D)	1	1e-05 ^{ns}	3e-03**	0,01**	0,02**	0,36**	0,1*	0,06*	0,01*	0,49 ^{ns}	1845,4**	1981,1*	1704,8*	
Bloco	3	6e-04 ^{ns}	6e-04 ^{ns}	9e-04 ^{ns}	9e-04 ^{ns}	0,003 ^{ns}	4e-04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,009*	466,7*	83,6 ^{ns}	512,7 ^{ns}	155,9 ^{ns}	
Resíduo	33	1e-03	2e-04	4e-04	4e-04	0,001	0,001	9e-03	0,003	106,2	57,7	292,5	88,0	
CV	%	31,0	30,0	24,4	23,8	20,9	29,5	27,6	27,2	35,2	23,8	21,0	19,7	

* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1%; ns – não significativo; DAE- Dias após a emergência; FV-Fontes de variação; GL- Grau de liberdade; CV- Coeficiente de variação; C₁ = Ciclo 1; C₂ = Ciclo 2.

Na interação entre os fatores para o Ca (Figura 2A) é possível observar um efeito quadrático para ambas fontes de água. Ao utilizar a água de 0,5 dS m⁻¹, observa-se um ponto máximo de extração com cerca de 132,4 kg ha⁻¹ de cálcio na dose de 75 g planta⁻¹, seguido por uma redução significativa. Quando empregada a água de 4,1 dS m⁻¹, constata-se um efeito redutivo mais pronunciado na dose de 120 g planta⁻¹, com dose de melhor desempenho de 52,5 g planta⁻¹, correspondendo a uma extração de 139,2 kg ha⁻¹ de cálcio.

Esse comportamento na absorção para o Ca pode estar relacionado a um desequilíbrio nutricional causado tanto pela água de irrigação como na dose mais elevada de cinzas, que fez com que houvesse uma competição nos mesmos sítios de absorção entre Ca²⁺, Na⁺ e K⁺, visto que o potássio foi o elemento mais extraído, com destaque também para o sódio.

Na Figura 2B, pode-se constatar que as doses de cinzas também proporcionaram um efeito quadrático, no entanto, havendo uma redução na extração total de enxofre com o incremento das doses de cinzas, e posteriormente atingindo um ponto máximo de extração na dose de 120 g planta⁻¹, alcançado um valor de 16,9 kg ha⁻¹ de S.

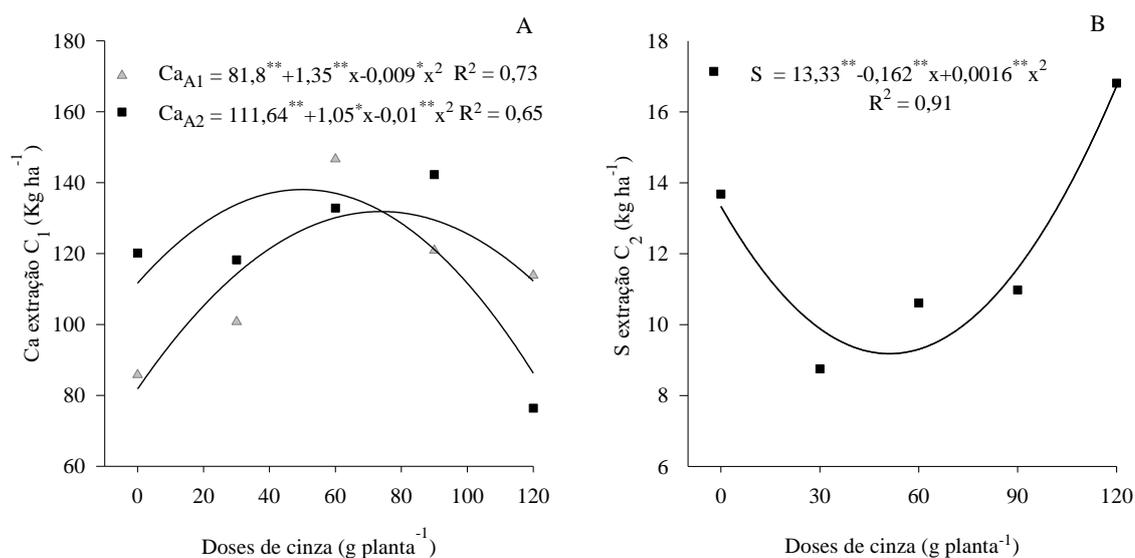


Figura 2. Interação entre a qualidade de água de irrigação e as doses de cinzas da cana-de-açúcar na extração de cálcio no primeiro ciclo (Ca) (A) e efeito das diferentes doses de cinzas na extração de enxofre (S) (B) no segundo ciclo de cultivo do gergelim. A1 = água de 0,5 ds m⁻¹ e A2 = água de 4,1 dS m⁻¹.

Observa-se na Tabela 10, que o nitrogênio obteve médias superiores quando irrigado com água de 0,5 dS m⁻¹, com um acréscimo na extração de 21,6 kg ha⁻¹, quando comparado com os tratamentos irrigados com água de 4,1 dS m⁻¹ (Tabela 10) no segundo ciclo. Nayek et al. (2014) relataram que o gergelim pode extrair 59 – 116 kg N ha⁻¹

dependendo das práticas de manejo do fertilizante. Dias et al. (2018) também, obtiveram resultados semelhantes ao presente trabalho para o gergelim irrigado com CEa crescente.

Segundo Lucena et al. (2012), a redução no teor de N, em condições de estresse salino, conforme observado no presente estudo, está possivelmente associada ao antagonismo e mecanismos competitivos desencadeados pelo excesso de absorção e translocação do íon Cl^- para as folhas.

A mesma tendência aconteceu ao enxofre no primeiro e segundo ciclo, e magnésio no primeiro ciclo, indicando um desbalanço causado pela utilização da água salina sob a extração desses elementos pela planta (Tabela 10).

Entre as testemunhas foram verificadas diferenças para N, P, K, Ca e S apenas no segundo ciclo, em que se observa que a T1 foi superior a T2 para estes macronutrientes. Já entre as testemunhas adicionais e qualidade da água de irrigação, as diferenças foram mais variadas, no entanto, mais pronunciado em relação à testemunha 1. Dessa forma, infere-se que houve um efeito da água salina no acúmulo de macronutrientes, causando um distúrbio na absorção e desequilíbrio quando comparado ao tratamento controle (Tabela 10).

Observaram-se diferenças significativas nos micronutrientes, com destaque para o Cl^- , com um incremento de 24,7 e 35,1 kg ha^{-1} no primeiro e segundo ciclo, respectivamente e para Na^+ de 11,3 kg ha^{-1} no primeiro ciclo, quando irrigado com água de 4,1 dS m^{-1} em comparação aos tratamentos irrigados com água não salina (Tabela 10).

Em contrapartida, Fe e Mn, no segundo ciclo, tiveram reduções em extração quando irrigados com água salina (Tabela 10). Essas diferenças são atribuídas à elevada concentração de sódio presente na água salina utilizada para irrigação. A água subterrânea utilizada apresentava naturalmente altos teores desse elemento, além da adição de sais à água, bem como pelas características das cinzas.

Conforme mencionado por Coelho et al. (2017) decréscimos no acúmulo de nutrientes nas diversas partes da planta têm sido justificados pelo efeito do excesso de NaCl no meio, que competem pelos sítios de absorção nas raízes, constatado resultados semelhantes em plantas de sorgo.

Segundo Ashour, Heider; Soliman (2023) a acumulação de íons de sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) nas folhas pode resultar em efeitos tóxicos que contribuem para a redução das características vegetativas e da floração, capacidade fotossintética e interferência na absorção de nutrientes essenciais, como foi observado em pesquisa com *Caliandra haemacephala*.

Tabela 10. Valores médios para extração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), cloreto (Cl) e sódio (Na) nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, do primeiro e segundo ciclo de cultivo do gergelim.

FV	N		P		K		Ca		Mg		S	
	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
	-----Macronutrientes (kg ha ⁻¹)-----											
A1	134,7a ^{*+}	89a [*]	46,3a	26,1a [*]	175,9a [*]	129,8a [*]	113,5a	68,5a ^{*+}	35,2a	23,4a ^{*+}	11,0a [*]	14,3a [*]
A2	131,1a ^{*+}	67,4b ^{*+}	46,8a	23,4a [*]	196,2a	110,3a [*]	117,9a	72,6a ^{*+}	26,8b ^{*+}	26,4a ^{*+}	8,3b [*]	9,9b [*]
T1	222,3A	216,0A	53,3A	42,2A	229,7A	225,3A	106,1A	154,9A	41,0A	38,9A	14,9A	21,0A
T2	198,5A	107,5B	55,4A	26,0B	213,3A	131,7B	109,7A	118,8B	38,9A	38,7A	11,4A	9,3B
FV	Cu		Fe		Mn		Zn		Cl		Na	
	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
	-----Micronutrientes (kg ha ⁻¹)-----											
A1	0,10a	0,05a [*]	0,08a ^{*+}	0,08a ^{*+}	0,13a ^{*+}	0,13a ^{*+}	0,36a	0,20a [*]	16,8b [*]	11,57b ^{*+}	72,7b ^{*+}	43,5a [*]
A2	0,10a	0,04a [*]	0,08a ^{*+}	0,07b ^{*+}	0,12a ^{*+}	0,09b ^{*+}	0,38a	0,18a [*]	41,5a ⁺	46,6a ^{*+}	84,0a	46,2a [*]
T1	0,10A	0,09A	0,12A	0,14A	0,28B	0,30A	0,27A	0,30A	16,1A	25,6A	94,8A	68,4A
T2	0,10A	0,04A	0,12A	0,13A	0,44A	0,22B	0,27A	0,18B	42,8B	65,8B	96,4A	53,2B

Médias seguidas da mesma letra minúscula, para o fator água (A1 e A2), e maiúscula, para as testemunhas (T1 e T2), não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Médias seguidas de * e/ou + se diferenciam da testemunha 1 (T1) e testemunha 2 (T2), respectivamente, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). DAE- Dias após a emergência. FV – Fator de variação. A1 - Água com 0,5 dS m⁻¹; A2 - Água com 4,1 dS m⁻¹; T1 - Adubação recomendada + água com 0,5 dS m⁻¹; T2 - Adubação recomendada + água com 4,1 dS m⁻¹, C₂ = Ciclo 2.

Para os elementos estudados na exportação, foi observado efeito de interação significativa entre os fatores apenas para o cálcio. Além disso, foram constatados efeitos significativos para o fator qualidade da água de irrigação para cloreto e sódio no primeiro e segundo ciclo e para cobre também no segundo ciclo. Em relação às doses de cinza, foram observados efeitos isolados significativos para cálcio, cloreto e sódio no primeiro ciclo. As demais diferenças observadas ocorreram entre as testemunhas e as testemunhas adicionais, bem como em relação à qualidade da água de irrigação (Tabela 11).

Na exportação de cálcio e cloreto durante o primeiro ciclo de cultivo, observou-se um efeito quadrático, conforme ilustrado nas Figuras 3A e 3C. Foi constatado que houve um aumento na exportação de cálcio e cloreto para os frutos com o aumento das doses de cinzas, até atingir um ponto máximo de 59,2 kg ha⁻¹ e 27,3 kg ha⁻¹ na dose de 73,2 g e 59,5 g planta⁻¹, respectivamente.

Quando analisada a interação entre os fatores no segundo ciclo, representada na Figura 3D, observou-se um padrão diferenciado. Utilizando água com condutividade elétrica de 4,1 dS m⁻¹, verificou-se que as doses de cinzas aumentaram a concentração de cálcio nos frutos, possivelmente em decorrência da introdução do cloreto de cálcio à água de irrigação. Por outro lado, ao utilizar água com condutividade elétrica de 0,5 dS m⁻¹, o aumento das doses de cinzas resultou em uma diminuição na exportação de cálcio para os frutos em comparação a utilização da água de menor salinidade.

É importante ressaltar que apenas o sódio apresentou um efeito linear (Figura 3B), ou seja, houve um acréscimo total de 67,8% na exportação desse elemento para os frutos conforme as doses de cinzas foram aumentadas, o que é compreensível dado os valores mostrados na análise química do material, ao qual se observa que a cinza apresenta valores elevados desse elemento.

Em concordância, Silva et al. (2022) também constataram efeitos das cinzas para maiores concentrações de Na⁺ em plantas de amendoim. No entanto, ao contrário do presente estudo, conjuntamente a aplicação de água com alta condutividade elétrica (5,0 dS⁻¹) também contribuiu para o aumento dos teores desse elemento na cultura estudada.

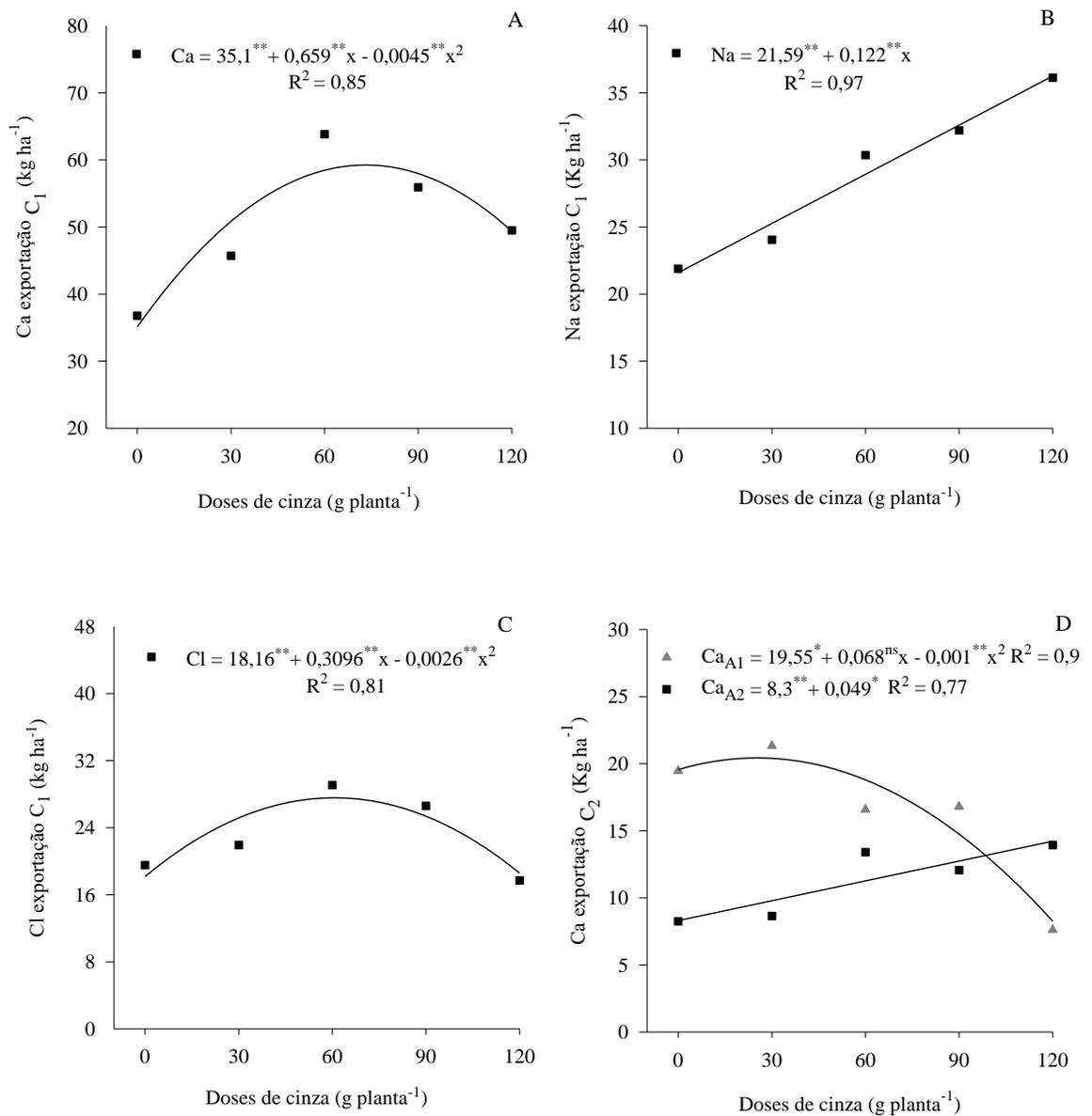


Figura 3. Efeito das diferentes doses de cinzas da cana-de-açúcar na exportação de cálcio (Ca), sódio (Na) e cloreto (Cl) durante o primeiro ciclo e interação entre a qualidade de água de irrigação e as doses de cinzas na exportação de cálcio no segundo ciclo.

Tabela 11. Resumo da análise de variância para exportação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), cloreto (Cl) e sódio (Na) em gergelim irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar.

QUADRADO MÉDIO													
FV	GL	N		P		K		Ca		Mg		S	
		C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
Água (A)	1	64,2 ^{ns}	12,2 ^{ns}	9,2 ^{ns}	6,7 ^{ns}	4323,6 ^{**}	352,5 [*]	13,0 ^{ns}	258,8 ^{**}	78,3 [*]	12,6 ^{ns}	2,3 [*]	0,4 ^{ns}
Doses (D)	4	508,0 ^{ns}	238,5 ^{ns}	26,4 ^{ns}	3,1 ^{ns}	354,1 ^{ns}	39,1 ^{ns}	837,5 [*]	24,7 ^{ns}	29,5 ^{ns}	2,3 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,1 ^{ns}
A x D	4	1285,6 ^{ns}	262,9 ^{ns}	9,6 ^{ns}	4,2 ^{ns}	249,8 ^{ns}	53,3 ^{ns}	456,3 ^{ns}	114,5 ^{**}	1,0 ^{ns}	8,4 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,33 ^{ns}
Teste (T)	1	30,9 ^{ns}	684,6 ^{ns}	4,4 ^{ns}	13,3 ^{ns}	9,9 ^{ns}	294,6 [*]	29,1 ^{ns}	49,3 ^{ns}	5,2 ^{ns}	5,0 ^{ns}	0,2 ^{ns}	3,21 ^{**}
T x (A+D)	1	6916,5 ^{**}	4242,5 ^{ns}	45,6 ^{ns}	91,9 ^{**}	1475,9 ^{ns}	1327,6 ^{**}	59,5 ^{ns}	294,1 [*]	87,6 [*]	60,7 ^{**}	1,0 ^{ns}	18,01 ^{**}
Bloco	3	1908,5 ^{ns}	163,8 ^{ns}	36,1 ^{ns}	4,1 ^{ns}	705,3 [*]	21,6 ^{ns}	143,2 ^{ns}	4,4 ^{ns}	14,7 ^{ns}	5,9 ^{ns}	1,9 ^{**}	0,26
Resíduo	33	698,4	219,6	31,8	8,1	261,4	62,0	230,7	16,2	17,4	3,8	0,3	0,14
CV	%	28,7	33,3	24,7	27,9	28,6	23,0	30,4	27,0	28,2	21,3	22,5	29,3
FV	GL	Cu		Fe		Mn		Zn		Cl		Na	
		C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
Água (A)	1	1e-04 ^{ns}	3e-04 [*]	2e-04 ^{ns}	2e-05 ^{ns}	5e-04 ^{ns}	4e-0 ^{ns}	3e-03 ^{ns}	1e-04 ^{ns}	4142,4 ^{**}	4353,8 ^{**}	2222,4 ^{**}	64,7 [*]
Doses (D)	4	1e-04 ^{ns}	1e-04 ^{ns}	5e-05 ^{ns}	2e-05 ^{ns}	5e-04 ^{ns}	4e-05 ^{ns}	3e-03 ^{ns}	7e-04 ^{ns}	203,3 ^{**}	72,4 ^{ns}	275,8 [*]	6,9 ^{ns}
A x D	4	3e-04 ^{ns}	5e-05 ^{ns}	4e-05 ^{ns}	8e-05 ^{ns}	2e-05 ^{ns}	2e-05 ^{ns}	3e-03 ^{ns}	3e-04 ^{ns}	128,3 ^{ns}	32,4 ^{ns}	151,2 ^{ns}	9,5 ^{ns}
Teste (T)	1	9e-05 ^{ns}	4e-04 ^{**}	5e-05 ^{ns}	2e-04 ^{**}	2e-04 ^{ns}	4e-04 [*]	1e-04 ^{ns}	2e-03 [*]	651,0 ^{**}	1017,6 ^{**}	1,3 ^{ns}	17,7 ^{ns}
T x (A+D)	1	2e-05 ^{ns}	9e-04 ^{**}	4e-04 [*]	7e-04 ^{**}	8e-03 ^{**}	3e-03 ^{**}	9e-03 [*]	3e-03 ^{**}	0,15 ^{ns}	778,7 ^{**}	319,0 ^{ns}	246,3 ^{**}
Bloco	3	5e-04 ^{ns}	5e-05 ^{ns}	2e-04 ^{ns}	7e-05 ^{ns}	1e-03 ^{**}	2e-05 ^{ns}	4e-03 ^{ns}	4e-04 ^{ns}	176,7 [*]	12,4 ^{ns}	377,4 [*]	6,6 ^{ns}
Resíduo	33	4e-04	5e-05	1e-04	3e-05	2e-04	8e-05	3e-03	4e-04	51,2	38,0	100,6	11,7
CV	%	30,8	23,6	26,1	31,5	27,3	23,6	25,8	24,3	31,9	29,8	33,3	23,1

* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1%; ns – não significativo; DAE- Dias após a emergência; FV-Fontes de variação; GL- Grau de liberdade; CV- Coeficiente de variação; C₁ = Ciclo 1; C₂ = Ciclo 2.

Com relação ao efeito isolado dos tratamentos, foram observadas diferenças significativas para a exportação dos macronutrientes K, Mg e S no primeiro ciclo e para K e Ca no segundo ciclo (Tabela 12). Sendo Mg, S e Ca mais exportado ao fruto quando irrigado com água de 0,5 dS m⁻¹.

A exportação de K foi maior quando as plantas foram irrigadas com água de 4,1 dS m⁻¹, tanto no primeiro como no segundo ciclo. Há muitos trabalhos que citam uma relação negativa entre Na⁺ e K⁺ em situação de estresse salino na parte vegetativa das culturas agrícola, como em Dias et al. (2018) em gergelim na cultivar CNPA G3 e por Coelho et al. (2017) em *Sorghum bicolor* L.

Contudo, isso não é evidente na presente pesquisa, nem para a extração, nem tão pouco para exportação de K para os frutos de gergelim. Dessa forma, como destacado por Dias et al. (2018), pode-se considerar o aumento da relação Na⁺/K⁺ no fruto do gergelim, quando submetido à irrigação com água de até 4,1 dS m⁻¹, como um mecanismo de tolerância ao estresse salino em que ambos elementos podem ter sido translocados em maior quantidade para a parte reprodutiva da cultura, evitando efeitos negativos do sódio nas folhas.

Em contraposição ao presente trabalho, Ashour; Heider; Soliman et al. (2023), verificaram redução significativa para potássio em resposta ao aumento dos níveis de salinidade em folhas de *Calliandra haematocephala*.

A exportação de cloreto e sódio foram superiores quando irrigados com água de 4,1 dS m⁻¹ nos dois ciclos de cultivo (Tabela 12). Isso pode ser decorrente da riqueza desses elementos na água de irrigação e, sua maior concentração no extrato de saturação do solo, os quais foram essenciais para a maior exportação. No entanto, a exportação de cobre foi menor quando irrigado com água de 0,5 dS m⁻¹.

Ao comparar as testemunhas com o fator água de irrigação, observaram-se consistentemente maiores valores de exportação dos elementos químicos nas testemunhas, especialmente na Testemunha 1. Entre as testemunhas, mesmo que não tenham ocorrido diferenças significativas, a Testemunha 1 apresentou um desempenho superior em termos de exportação. As diferenças estatísticas foram mais pronunciadas para os micronutrientes, com variações significativas para cobre e cloreto no primeiro ciclo, e para ferro, manganês, zinco e cloreto no segundo ciclo.

Tabela 12. Valores médios para exportação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), cloreto (Cl) e sódio (Na) nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, do primeiro e segundo ciclo de cultivo do gergelim.

FV	N		P		K		Ca		Mg		S	
	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
	-----Macronutrientes (kg ha ⁻¹)-----											
A1	87,8a	40,8a*	21,8a	9,2a*	43,5b ⁺	28,8b ⁺	50,9a	16,3a*	15,6a	8,1a ⁺	2,96a	1,12a ⁺
A2	85,3a*	39,7a*	22,8a	10,0a*	64,3a	34,8a*	49,7a	11,2b ⁺	12,8b ⁺	9,2a*	2,48b	0,90a ⁺
T1	120,7A	74,7A	25,7A	14,6A	69,9A	52,0A	45,4A	22,9A	17,0A	12,5A	3,28A	3,29A
T2	116,8A	56,2A	24,2A	12,0A	67,6A	39,9B	49,2A	17,9B	18,6A	10,9A	2,96A	2,02B
FV	Cu		Fe		Mn		Zn		Cl		Na	
	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
	-----Micronutrientes (kg ha ⁻¹)-----											
A1	0,06a	0,023b*	0,03a	0,016a*	0,04a ⁺	0,03a ⁺	0,20a	0,08a*	12,2b ⁺	8,4b ⁺	21,4b ⁺	12,5b ⁺
A2	0,07a	0,029a*	0,03a ⁺	0,017a*	0,05a ⁺	0,03a ⁺	0,22a	0,08a*	32,6a*	29,2a ⁺	36,3a	15,0a*
T1	0,06A	0,045A	0,04A	0,033A	0,08A	0,06A	0,17A	0,12A	13,2B	18,3B	35,4A	21,3A
T2	0,07A	0,031B	0,04A	0,021B	0,09A	0,05B	0,18A	0,09B	31,3A	40,9A/	36,2A	18,3A

Médias seguidas da mesma letra minúscula, para o fator água (A1 e A2), e maiúscula, para as testemunhas (T1 e T2), não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Médias seguidas de * e/ou + se diferenciam da testemunha 1 (T1) e testemunha 2 (T2), respectivamente, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). DAE- Dias após a emergência. FV – Fator de variação. A1 - Água com 0,5 dS m⁻¹; A2 - Água com 4,1 dS m⁻¹; T1 - Adubação recomendada + água com 0,5 dS m⁻¹; T2 - Adubação recomendada + água com 4,1 dS m⁻¹, C₂ = Ciclo 2.

Em relação à absorção total de nutrientes, foi observado que os níveis de extração e exportação foram maiores no primeiro ciclo ao comparar as diferentes épocas de cultivo. A ordem decrescente de extração e exportação de nutrientes variou ligeiramente de acordo com a época de cultivo, no entanto, o potássio foi o nutriente mais acumulado, enquanto o nitrogênio foi o mais exportado, independentemente dos tratamentos aplicados (Tabela 13).

Tabela 13. Extração e exportação decrescente de macronutrientes, micronutrientes e sódio na cultura do gergelim, sob irrigação salina e tratamentos controle.

EXTRAÇÃO								EXPORTAÇÃO							
---A1---		---A2---		---T1---		---T2---		---A1---		---A2---		---T1---		---T2---	
C ₁	C ₂														
K	K	K	K	K	K	K	K	N	N	N	N	N	N	N	N
N	N	N	Ca	N	N	N	Ca	Ca	K	K	K	K	K	K	K
Ca	Ca	Ca	N	Ca	Ca	Ca	N	K	Ca	Ca	Cl	Ca	Ca	Ca	Cl
Na	Na	Na	Cl	Na	Na	Na	Cl	P	Na						
P	P	P	Na	P	P	P	Na	Mg	P	Cl	Ca	P	Cl	Cl	Ca
Mg	Mg	Cl	Mg	Mg	Mg	Cl	Mg	Na	Cl	P	P	Mg	P	P	P
Cl	S	Mg	P	Cl	Cl	Mg	P	Cl	Mg	Mg	Mg	Cl	Mg	Mg	Mg
S	Cl	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Zn	Zn	Zn	Zn	Mn	Mn	Mn	Mn	Zn							
Mn	Mn	Mn	Mn	Zn	Zn	Zn	Zn	Cu	Mn	Cu	Mn	Mn	Mn	Mn	Mn
Cu	Fe	Cu	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Mn	Cu	Mn	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu
Fe	Cu	Fe	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Fe							

A1 - Água com 0,5 dS m⁻¹; A2 - Água com 4,1 dS m⁻¹; T1 - Adubação recomendada + água com 0,5 dS m⁻¹; T2 - Adubação recomendada + água com 4,1 dS m⁻¹; C₁ = Ciclo 1; C₂ = Ciclo 2.

É importante destacar que o cloreto e o sódio, especialmente nos tratamentos em que as plantas irrigadas com água salina, ganharam maior relevância em termos de extração e exportação, principalmente durante o segundo ciclo. Isso sugere que, devido ao teor desses sais presentes na água, as plantas acumularam esses elementos substâncias em seus tecidos, especialmente nos frutos.

3.3. Rendimento de sementes, biomassa e teor de óleo

De acordo com análise de variância (Tabela 14), não houve interações entre os fatores, tendo efeito isolado apenas para matéria fresca do segundo ciclo, em que plantas irrigadas com água de 0,5 dS m⁻¹, obtiveram médias superiores.

Tabela 14. Resumo da análise de variância para Massa Fresca (MF), Massa Seca (MS), Produtividade (PROD) e Teor de óleo (TO) do gergelim no primeiro e segundo ciclo de cultivo irrigado com diferentes qualidades da água de irrigação e doses de cinzas da cana-de-açúcar.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO							
		MF		MS		PROD		TO	
		C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
Água (A)	1	611,0 ^{ns}	9855,5 ^{**}	377,1 ^{ns}	163,2 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,1 ^{ns}	8,7 ^{ns}	76,2 ^{ns}
Doses (D)	4	361,0 ^{ns}	1447,4 ^{ns}	62,8 ^{ns}	171,1 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,06 ^{ns}	9,0 ^{ns}	51,9 ^{ns}
A x D	4	719,4 ^{ns}	3198,0 ^{ns}	158,2 ^{ns}	130,6 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}	29,2 ^{ns}	50,3 ^{ns}
Teste (T)	1	4650,8 ^{ns}	11439,0 ^{**}	1,07 ^{ns}	2330,7 ^{**}	0,1 ^{ns}	0,009 ^{ns}	41,7 ^{ns}	15,2 ^{ns}
T x (A+D)	1	13831,1 ^{**}	53798,2 ^{**}	1257,4 ^{**}	4867,3 ^{**}	0,6 [*]	0,4 ^{**}	47,1 ^{ns}	7,5 ^{ns}
Bloco	3	2521,5 [*]	2040,3 ^{ns}	269,8 ^{ns}	168,6	0,2 ^{ns}	0,08 ^{ns}	78,0 [*]	30,3 ^{ns}
Resíduo	33	594,5	1316,4	154,0	91,7	0,1	0,03	21,3	25,2
CV	%	12,3	27,2	16,8	24,5	27,7	27,0	12,6	11,4

* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1%; ns – não significativo; DAE - Dias após a emergência; FV-Fontes de variação; GL- Grau de liberdade; CV- Coeficiente de variação; C₁ = Ciclo 1; C₂ = Ciclo 2.

Na mesma variável de matéria fresca e para a massa seca do segundo ciclo, foram observadas diferenças significativas entre as testemunhas, bem como em relação à qualidade da água de irrigação (Tabela 14). A testemunha 1, que recebeu água de melhor qualidade e adubação recomendada, apresentou valores mais elevados de massa fresca e seca para a parte aérea das plantas de gergelim ao final do ciclo (Tabela 15). Esses resultados indicam que as plantas de gergelim irrigadas com água de qualidade mantiveram-se hidratadas e com turgidez até o final do ciclo. Por outro lado, as plantas irrigadas com água de 4,1 dS m⁻¹ apresentaram um processo de senescência antecipada devido aos efeitos dos sais, visualizados principalmente no final do ciclo.

De acordo com Parihar et al. (2015) a causa da senescência é provavelmente a carga de sal que excede a capacidade das células de compartimentalizar os sais no vacúolo.

A ausência de efeitos observados das cinzas nas variáveis analisadas neste estudo pode ser atribuída ao efeito residual dos fertilizantes orgânicos. Os fertilizantes orgânicos necessitam de um processo de decomposição e mineralização no solo antes que seus nutrientes se tornem disponíveis para as plantas. A taxa de disponibilização dos nutrientes está sujeita a variações, dependendo do tipo de composto orgânico utilizado, temperatura e umidade, das condições de manejo do solo e atividade microbiana, como relatado por Lanna et al. (2018).

Assim, a falta de efeitos das cinzas, pode ser explicada pela possibilidade de que os nutrientes presentes nesse fertilizante resultante da queima de material orgânico, não tenham sido completamente disponibilizados dentro do período abrangido pelo estudo.

Para produtividade não houve efeitos dos fatores estudados, embora, tenham tido rendimento satisfatório em torno de um megagrama por hectare, bem acima da média nacional, principalmente no primeiro ciclo. As testemunhas não diferiram entre si, porém é observado que a T1 obteve superioridade e diferido dos tratamentos irrigado com água salina no primeiro ciclo com um acréscimo de até 0,5 Mg por hectare (Tabela 15).

No segundo ciclo, a produtividade foi reduzida em comparação ciclo anterior. No entanto, as testemunhas mantiveram a produtividade satisfatória para as condições estabelecidas, enquanto a T1 diferiu somente dos tratamentos utilizando água de 0,5 dS m⁻¹.

Um estudo conduzido por Suassuna et al. (2017) apresentou resultados diferentes em relação ao presente estudo, mostrando efeitos negativos na produção de genótipos de gergelim, incluindo o cultivar BRS Seda, quando irrigado com água salina. É importante ressaltar que o nível mais baixo de salinidade utilizado nesse estudo foi de 1,6 dS m⁻¹, no qual a cultivar apresentou uma produtividade em torno de 726 kg ha⁻¹. Além disso, vale mencionar que o estudo foi realizado em vasos, um ambiente limitado no qual os efeitos dos sais sobre as plantas tendem a ser mais pronunciados.

Esses resultados destacam uma certa tolerância do genótipo de gergelim BRS Seda em relação aos aspectos salinos da água de irrigação. É importante considerar que diferentes genótipos de plantas podem variar em sua sensibilidade à salinidade, e os efeitos podem ser influenciados pelo ambiente de cultivo.

Tabela 15. Massa fresca (MF), massa seca (MS) em g planta⁻¹, produtividade (PROD) em Mg ha⁻¹ e teor de óleo (TO) em g planta⁻¹ de gergelim nas diferentes qualidades de água de irrigação, relação com as testemunhas adicionais e diferenças entre si, no primeiro e segundo ciclo de cultivo.

FV	MF		MS		PROD		TO	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
	----- (g planta ⁻¹) -----		-----		----- (Mg ha ⁻¹) -----		----- % -----	
A1	193,8a ⁺	134,1a [*]	83,1a	36,5a [*]	1,1a	0,62a ^{*+}	36,4a	45,1a
A2	186,0a ⁺	102,7b ^{*+}	71,5a ⁺	32,4a [*]	1,0a [*]	0,77a	37,3a	42,3a
T1	211,3A	246,0A	90,6A	78,6A	1,5A	0,97A	36,5A	46,2A
T2	225,6A	170,4B	102,7A	44,5B	1,2A	0,90A	31,8A	43,4A

Médias seguidas da mesma letra minúscula, para o fator água (A1 e A2), e maiúscula, para as testemunhas (T1 e T2), não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Médias seguidas de * e/ou + se diferenciam da testemunha 1 (T1) e testemunha 2 (T2), respectivamente, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). DAE- Dias após a emergência. FV – Fator de variação. A1 - Água com 0,5 dS m⁻¹; A2 - Água com 4,1 dS m⁻¹; T1 - Adubação recomendada + água com 0,5 dS m⁻¹; T2 - Adubação recomendada + água com 4,1 dS m⁻¹, C₂ = Ciclo 2.

Com base nos resultados obtidos nas condições do presente trabalho, destaca-se que a testemunha 2 se mostra como uma alternativa viável para utilização da água com

salinidade de $4,1 \text{ dS m}^{-1}$, considerando a elevada produtividade alcançada por esse tratamento. No entanto, é importante ressaltar que o manejo adequado em relação à drenagem e à conservação do solo é fundamental para o sucesso dessa abordagem.

A superioridade das testemunhas observada pode ser atribuída ao efeito da aplicação de nitrogênio às plantas. Estudos anteriores, como os realizados por Santos et al. (2018) e Saudy et al. (2018), também relataram o efeito positivo do nitrogênio no rendimento e nas características agrônômicas do gergelim.

De acordo com Santos et al. (2018) e Ribeiro et al. (2019), o nitrogênio é o nutriente de maior limitação para a produção vegetal, desempenhando diversas funções essenciais no metabolismo das plantas. A cultura do é conhecido por extrair quantidades elevadas desse nutriente do solo, o que a caracteriza como cultura esgotadora de nutrientes. A deficiência de nitrogênio causa distúrbios nutricionais e reduz a produtividade e teor de óleo das plantas de gergelim.

De acordo com Santos et al. (2018) o estado nutricional em folha diagnóstico encontrado pelos autores para a cultura do gergelim foi em média 50 kg por hectares, embora os valores máximos para produtividade foram de 120 kg ha^{-1} de N.

Apesar das cinzas apresentarem teores adequados de fósforo e potássio, a quantidade de nitrogênio fornecida, mesmo na dose mais alta de $120 \text{ g planta}^{-1}$ equivalente a $25,5$ e $16,5 \text{ kg}$ de N por hectare, em C_1 e C_2 , respectivamente, não foi suficiente para suprir a demanda da cultura por esse nutriente. Essa insuficiência pode ser a razão pela qual os tratamentos comuns apresentaram resultados inferiores em comparação com as testemunhas.

De acordo com a Lei do Mínimo de Liebig, é estabelecido que o crescimento e a produção de uma planta são determinados pelo nutriente essencial presente em menor quantidade em relação às suas necessidades. Isso significa que, mesmo que os demais nutrientes estejam disponíveis em quantidades adequadas, a planta não conseguirá atingir seu pleno desenvolvimento caso haja escassez de um nutriente essencial. Essa limitação nutricional afeta não apenas o crescimento da planta, mas também a absorção e utilização de outros nutrientes que não são limitantes (PRADO, 2008)

Na presente pesquisa o teor de óleo não sofreu efeitos significativos dos tratamentos aplicados, embora, no segundo ciclo, foi superior em quantidade ao primeiro ciclo, semelhante a estudo de Bakal & Arıođlu, (2020), que constataram proporção de óleo variando entre $44,2\%$ e $50,9\%$.

Segundo Izgi & Bulut, (2023) constataram que diferentes épocas de semeadura têm efeito significativo sobre a cultura do gergelim, como pode ser observado no teor de

óleo, número de cápsulas e produtividade. A causa das mudanças no teor de óleo é provavelmente devido a variações nas condições ambientais que afetam a composição da semente (WERE et al., 2006), bem como ao manejo adotado.

4. CONCLUSÕES

As doses de cinzas da cana-de-açúcar aplicadas nesse estudo mostraram-se insuficientes para atenuar os efeitos dos sais nos aspectos agronômicos do gergelim.

A água salina afetou negativamente o índice de área foliar ao final do ciclo, a altura das plantas no início do primeiro ciclo, contudo, promoveu aumento em certos estágios no diâmetro do caule, número de folhas e frutos no segundo ciclo.

A cinza teve efeito positivo na extração de S e redução na extração Ca. Promoveu aumentos nas exportações de íons cloreto e de Ca até a dose de 73,2 g planta⁻¹, e aumentou linearmente a exportação de sódio no primeiro ciclo.

A água salina afetou negativamente a extração de magnésio e enxofre no primeiro ciclo, e de nitrogênio, enxofre, ferro e manganês no segundo ciclo e promoveu em maiores acúmulos de cloreto nos dois ciclos e de sódio no primeiro ciclo.

As exportações de magnésio e de enxofre, no primeiro ciclo, e de cálcio no segundo ciclo, foram reduzidas com a utilização da irrigação com águas salinas. No entanto, as exportações de cloreto, sódio e potássio, em ambos os ciclos e cobre no segundo ciclo foram incrementadas.

O potássio foi o nutriente mais extraído e o nitrogênio mais exportado pelas plantas de gergelim.

5. REFERÊNCIAS

ABBASDOKHT, H.; ASHRAFI, E.; TAHERI, S. Effects of different salt levels on germination and seedling growth of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. **Technical Journal of Engineering and Applied Sciences**, Montreal, v.2, n.10, p.309-313, 2012.

AHMED, J.; QADIR, G.; ANSAR, M.; WATTOO, F. M.; JAVED, T.; ALI, B.; RAHIMI, M. Shattering and yield expression of sesame (*Sesamum indicum* L) genotypes influenced by paclobutrazol concentration under rainfed conditions of Pothwar. **BMC Plant Biology**, v.23, n.1, p.1-13, 2023.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO **Irrigation and drainage paper** 56. FAO, Rome,1998. 300p.

ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. D. M.; FIRMINO, P. D. T. **Gergelim: O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. 209p.

ASHOUR, H.A; HEIDER, S. M; SOLIMAN, M. M. Morphological and physiological responses of *Calliandra haematocephala* to water salinity stress and vermicompost. **Ornamental Horticulture**, v.29, n.2, p.150-162, 2023.

BAKAL, H.; ARIOĞLU, H. Determination of some important agronomic and quality characteristics of registered sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties grown as a main crop in Mediterranean region (Turkey). **Journal of the Faculty of Agriculture**. (Edição especial), p.218-225, 2020.

BAZRAFSHAN, A. H.; EHSANZADEH, P. Growth, photosynthesis and ion balance of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in response to NaCl concentration in hydroponic solutions. **Photosynthetica**, v.52, p.134-147, 2014.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife: UFRPE, Editora Universitária da UFRPE, 2011. 267p.

BOLETIM DA SAFRA DE GRÃO: GRÃOS. 8º levantamento – Safra 2022/2023, Brasília, maio de 2023. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 09/06/2023.

BONFIM-SILVA, E. M.; BEZERRA, M. D. L.; SILVA, T. J. A. D.; FENNER, W; DAMASCENO, A. P. A. B. Wood ash and water availability in the production of Paiaguás-grass. **Revista Ambiente & Água**.v.14, n. 6, e2424, 2019.

BONFIM-SILVA, E. M.; TAKENAKA, P. Y.; NONATO, J. J.; GUIMARAES, S. L.; DA SILVA, T. J. A. Productive characteristics of peanut cultivars fertilized with wood ash. **Australian Journal of Crop Science**, v.14, n.4, p.691-696, 2020.

BOX, GEORGE EP; COX, DAVID R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology**, v.26, n.2, p.211-243, 1964.

CARVALHO, A. K. N.; SOUZA, R. F.; OLIVEIRA, S. D. S. QUALIDADE de águas superficiais e subterrâneas para irrigação em um município do semiárido do estado do Rio Grande do Norte. **Pesquisas em Geociências**, v.49, n.2, p.e119720-e119720, 2022.

COELHO, D. S.; SIMÕES, W. L.; SALVIANO, A. M.; DE SOUZA, M. A.; DE SANTOS, J. E. Acúmulo e distribuição de nutrientes em genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n.2, p.178-192, 2017.

DIAS, A. S.; DE LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SOUZA, L. D. P.; SOARES, L. D. A.; PINHEIRO, F. W. A. NPK and sodium content in sesame under salt stress and nitrate/ammonium fertilization. **Bioscience Journal**, v.34, n.5, p.1264-1273, 2018.

DIAS, A. S.; DE LIMA, G. S.; PINHEIRO, F. W. A.; GHEYI, H. R.; DOS ANJOS SOARES, L. A.; NOBRE, R. G.; DE OLIVEIRA, S. G. Gas exchanges and growth of sesame (*Sesamum indicum*, L.) cultivated under saline waters and nitrogen-potassium fertilizers. **Australian Journal of Crop Science**, v.13, n.9, p.1526-1532, 2019.

FLOWERS, T. S.; YEO, A. R. Effects of salinity on plant growth and crop yields. In: Environmental Stress in Plants: Biochemical and Physiological Mechanisms. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1989. p.101-119.

GHOLINEZHAD, E; DARVISHZADEH, R. Influence of arbuscular mycorrhiza fungi and drought stress on fatty acids profile of sesame (*Sesamum indicum* L.). **Field Crops Research**, v.262, p.108035, 2021.

GRILO JR, J. A. S.; AZEVEDO, P. D. Crescimento, desenvolvimento e produtividade do gergelim BRS Seda na Agrovila de Canudos, em Ceará Mirim (RN). **Holos**, v.2, p.19-33, 2013.

IPA - INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3.ed. Revisada. Recife: IPA, 2008. 212p.**

IZGI, M. N.; BULUT, B. Agronomic characteristics and yield values of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars at various sowing dates. **Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi**, v.10, n.1, p.109-120, 2023.

- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649p.
- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design parameters**. Transactions of the ASAE, v.17, n.4, p.678-684, 1974.
- KÖPPEN, W.P. **Die klimate der erde: Grundriss der klimakunde**. Walter de Gruyter & Co. Berlin. 1923. 369p.
- LANNA, N. B.; SILVA, P. N. L.; COLOMBARI, L. F.; CORRÊA, C. V.; CARDOSO, A. I. I. Residual effect of organic fertilization on radish production. **Horticultura Brasileira**, v.36, n.1, p.47-53, 2018.
- LOURENÇO, E.; DE AZEVEDO, P. V.; PEREIRA, A.; BEZERRA, J.; SABOYA, L.; ZONTA, J. Necessidades hídricas da cultura do gergelim na região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.11, n.4, p.1275-1289, 2018.
- LUCENA, C. C.; SIQUEIRA, D. L.; MARTINEZ, H. E. P.; CECON, P. R. Efeito do estresse salino na absorção de nutrientes em mangueira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.34, n.1, p.297-30.2012.
- MAAS, E. V. **Salt tolerance of plants**. **Applied Agriculture Research**, v.1, p.12-26, 1986.
- MARINHO, F. J. L.; FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; VIANA, S. B. A. M. Uso de água salina na irrigação do coqueiro (*Cocus nucifera* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.359-364, 2005.
- MORRIS, J. B.; WANG, M. L.; TONNIS, B. D. Variability for oil, protein, lignan, tocopherol, and fatty acid concentrations in eight sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. **Industrial Crops and Products**, v.164, p.113355, 2021.
- NAYEK, S. S.; BRAHMACHARI, K.; CHOWDHURY, M. D. R. Integrated approach in nutrient management of sesame with special reference to its yield, quality and nutrient uptake. **The Bioscan**, v.9, n.1, p.101-105, 2014.

PARIHAR, P.; SINGH, S.; SINGH, R.; SINGH, V. P.; PRASAD, S. M. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. **Environmental science and pollution research**, v.22, p.4056-4075, 2015.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Unesp, 2008. 407p.

R CORE TEAM (2022). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RIBEIRO, R. M. P.; ALBUQUERQUE, J. R. T. D.; PEREIRA, C. C. A.; PEREIRA, L. A. F.; BARROS JUNIOR, A. P.; SILVEIRA, L. M. D.; GRANGEIRO, L. C. Nutrient uptake in sesame cultivars under cultivation in semiarid conditions. **Bioscience. Journal**, v.35, n.1, p.137-147, 2019.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USDA, 1954. 60 p. Handbook, 60.

SANTOS, M. G.; RIBEIRO, R. M. P.; DE ALBUQUERQUE, J. R. T.; LINS, H. A.; JÚNIOR, A. P. B.; NETO, F. B.; DE SOUZA, A. R. E. Production performance of sesame cultivars under different nitrogen rates in two crops in the Brazilian semi-arid region. **Industrial Crops and Products**, v.124, p.1-8, 2018.

SAUDY, H. S.; ABD EL-MOMEN, W. R.; & EL KHOULY, N. S. Diversified nitrogen rates influence nitrogen agronomic efficiency and seed yield response index of sesame (*Sesamum indicum*, L.) cultivars. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.49, n.19, p. 2387-2395, 2018.

SILVA, E. B. D.; VIANA, T. V. D. A.; SOUSA, G. G. D.; SOUSA, J.; SANTOS, M. F. D.; AZEVEDO, B. M. D. Growth and nutrition of peanut crop subjected to saline stress and organomineral fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.26, p.495-501, 2022.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. rev. ampli. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SILVA, P. F.; DA SILVA, A. C. C.; TAVARES, K. N.; DOS SANTOS, D. P.; BARROS, A. C. Produção e teor de brix^o do tomate cereja irrigado com águas de diferentes

concentrações salinas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.7, n.4, p.18, 2012.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; MOURA, M. S. B.; SILVA, S. M. S.; MORAIS, J. E. F.; PEREIRA, P. C.; SOUZA, C. A. A. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.7, p.515-525, 2015.

SOUSA, G. G.; FIUSA, J. N.; LEITE, K. N.; SOARES, S. C.; DA SILVA, G. L. Água salina e biofertilizante de esterco bovino na cultura do gergelim. **Agropecuária Técnica**, v.38, n.3, p.117-124, 2017.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; ARRIEL, N. H. C.; MELO, A. S.; FERNANDES, J. D. Tolerance to salinity of sesame genotypes in different phenological stages. **American Journal of Plant Sciences**, v.8, n.8, p.1904-1920, 2017.

WAN, Q.; HONGBO, S.; ZHAOLONG, X.; J. I. A, L.; DAYONG, Z.; YIHONG, H. Salinity tolerance mechanism of osmotin and osmotin-like proteins: a promising candidate for enhancing plant salt tolerance. **Current genomics**, v.18, n.6, p.553-556, 2017.

WERE, B.A.; ONKWARE, A.O.; GUDU, S.; WELANDER, M.; CARLSSON, A.S. Seed oil content and fatty acid composition in East African sesame (*Sesamum indicum* L.) accessions evaluated over 3 years. **Field Crops Research**, v.97, n.2-3, p.254-260, 2006.

ZHANG, P; SENGE, M; DAI, Y. Effects of salinity stress on growth, yield, fruit quality and water use efficiency of tomato under hydroponics system. **Reviews in Agricultural Science**, v.4, p.46-55, 2016.

ZHANG, Y.; WEI, M.; LIU, A.; ZHOU, R.; LI, D.; DOSSA, K.; YOU, J. Comparative proteomic analysis of two sesame genotypes with contrasting salinity tolerance in response to salt stress. **Journal of Proteomics**, Valencia, v.201, n.1, p.73-83, 2019.

CAPÍTULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Na circunstância apresentada, a água de 4,1 dS m⁻¹, pode ser utilizada para produção de gergelim BRS Seda.
2. É recomendado a realização de novos experimentos que envolvam a combinação do uso de adubação nitrogenada juntamente com a fertilização utilizando cinzas da cana-de-açúcar. Isso permitirá uma melhor compreensão dos efeitos conjuntos dessas práticas no cultivo de gergelim.
3. Recomenda-se realizar experimentos adicionais utilizando níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, acima dos níveis utilizados no presente estudo, a fim de investigar o comportamento da cultura em relação à salinidade. Isso fornecerá informações mais abrangentes sobre a tolerância do gergelim à salinidade e ajudará a estabelecer diretrizes mais precisas para o manejo da irrigação em condições salinas.
4. Realizar experimentos para avaliar diferentes métodos e momentos de aplicação da cinza da cana-de-açúcar no solo, visando otimizar o aproveitamento de seus efeitos residuais.