



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**PROPORÇÕES DE NITRATO E AMÔNIO NO CULTIVO DE GERGELIM SOB
IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS SALINAS**

ADAAN SUDARIO DIAS

**CAMPINA GRANDE – PB
FEVEREIRO - 2017**

ADAAN SUDARIO DIAS

Engenheiro Agrônomo

**PROPORÇÕES DE NITRATO E AMÔNIO NO CULTIVO DE GERGELIM SOB
IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS SALINAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem

ORIENTADORES: Prof. Dr. Hans Raj Gheyi

Dr. Geovani Soares de Lima

**CAMPINA GRANDE – PB
FEVEREIRO - 2017**

D541p Dias, Adaan Sudário.
Proporções de nitrato e amônio no cultivo de gergelim sob irrigação com águas salinas / Adaan Sudário Dias. – Campina Grande, 2017.
75 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2017.
"Orientação: Prof. Dr. Hans Raj Gheyi, Prof. Dr. Geovani Soares de Lima".
Referências.

1. *Sesamum indicum*, L. 2. Estresse salino. 3. Nitrogênio. I. Gheyi, Hans Raj. II. Lima, Geovani Soares de. III. Título.

CDU 582.916.36:631.413.3:631.67(043)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA MARIA ANTONIA DE SOUSA CRB 15/398



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



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO

ADAAN SUDÁRIO DIAS

PROPORÇÕES DE NITRATO E AMÔNIO NO CULTIVO DE GERGELIM SOB
IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS SALINAS

APROVADA: 02 de março de 2017

BANCA EXAMINADORA

Dr. Hans Raj Gheyi
Orientador - UAEA/UFCA

Dr. Geovani Soares de Lima
Orientador - PNPd/CAPES/UFCA

Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares
Examinador - PDJ/CNPq/UFCA

Dr. Lourival Ferreira Cavalcante
Examinador - CCA/UFPB

Dr. Reginaldo Gomes Nobre
Examinador - UAGRA/UFCA

Av. Aprígio Veloso, 882 – Bairro Universitário
58429-140 – Campina Grande - PB
Fone: (83) 2101.1055. Fax: (83) 2101.1185
<http://www.deag.ufcg.edu.br/copeag>

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, pela proteção, saúde, força e oportunidade de poder concretizar meu sonho, além de guiar-me sempre na direção certa.

Ao meu pai Antonio Sudario de Sousa, a minha mãe Maria Dias Trajano de Sousa pelo amor, carinho, apoio, torcida, compreensão e por sempre estarem comigo nas horas difíceis, trazendo luz aos dias mais escuros.

A minhas irmãs Maiara e Maisa Sudario e minhas sobrinhas Eliza e Maira pelos sorrisos partilhados ao meu lado.

À Universidade Federal de Campina Grande, em especial à Coordenação de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade da realização deste curso;

Ao meu orientador, Prof. Dr Hans Raj Gheyi, pela orientação, paciência e confiança, durante a realização deste curso;

Ao meu Co-orientador, Dr Geovani Soares de Lima, pela amizade, compreensão e ensinamentos;

A Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso;

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

Aos amigos Geovani, Luan, Plácido e João Batista, por todo empenho e dedicação durante a execução desta pesquisa;

Aos examinadores Profa. Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares de Lima, Dr. Lourival Ferreira Cavalcante e o Prof. Dr. Reginaldo Gomes Nobre por se disporem a contribuir com a melhoria deste trabalho,

Aos colegas da pós-graduação: Pietro, Jailson, Kecinha, Mari, Jailton, João Vitor, Vanies, Elysson, Carantino, Saulo e Leandro pelo companheirismo ao longo do curso.

Enfim a todos os meus amigos e familiares que, de alguma forma, contribuíram com esta conquista. Meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
RESUMO	XI
ABSTRACT	XII
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo geral.....	16
2.2. Objetivos específicos	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 Aspectos gerais da cultura do gergelim	17
3.2 Qualidade da água de irrigação	18
3.3 Efeitos da salinidade sobre os atributos físico-químicos do solo.....	22
3.4 Efeito da salinidade sobre as plantas	20
3.5 Adubação nitrogenada nas culturas	24
3.5.1 Absorção de íons NH_4^+ e NO_3^- pelas culturas	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 Localização	28
4.2 Tratamentos e delineamento estatístico	28
4.3 Descrição do gergelim cultivar CNPA G3.....	28
4.4 Preparação das águas salinas e manejo da irrigação	28
4.5 Solo utilizado no experimento.....	29
4.6 Instalação e condução do experimento	29
4.7 Variáveis analisadas.....	30
4.7.1 Emergência	30
4.7.2 Crescimento	31
4.7.3 Variáveis fisiológicas	31
4.7.3.1. Percentual de dano celular (%D) e pigmentos fotossintéticos	31
4.7.3.2 Trocas gasosas	32
4.7.3.3 Eficiência fotoquímica	33
4.7.4 Componentes de produção, consumo hídrico e eficiência do uso da água	33
4.8 Análise estatística	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Emergência.....	34

5.2	Crescimento.....	35
5.3	Variáveis fisiológicas.....	41
5.3.1	Porcentagem de dano celular (%D) e pigmentos fotossintéticos	41
5.3.2	Trocas gasosas	45
5.3.3	Eficiência fotoquímica	48
5.4	Componentes de produção, consumo hídrico e eficiência do uso da água.....	52
6	CONCLUSÕES	59
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos* químicos e físico-hídricos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos	29
Tabela 2. Resumo do teste F para índice de velocidade de emergência (IVE), percentagem de emergência (PE) de plantas de gergelim cv. CNPA G3 irrigadas com águas salinas e adubadas com diferentes proporções de nitrato e amônio.	34
Tabela 3. Resumo do teste F para altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) aos 50 e 70 dias após a semeadura (DAS) e para taxa de crescimento relativo do diâmetro de caule (TCRdc) e altura de plantas (TCRap) no período de 25 – 60 DAS de plantas de gergelim cv. CNPA G3 irrigadas com águas salinas e adubadas com diferentes proporções de nitrato e amônio.	35
Tabela 4. Resumo do teste de F referente ao percentual de dano na membrana celular (%D), teor de clorofila a (Cl a) e b (Cl b), carotenóides (Car), de plantas de gergelim cv. CNPA G3 irrigadas com águas salinas e adubadas com diferentes proporções de N-nitrato e N-amônio.	41
Tabela 5. Resumo do teste de F para condutância estomática (gs), taxa de assimilação de CO ₂ (A), taxa transpiratória (E) e concentração interna de CO ₂ (Ci) de plantas de gergelim irrigadas com águas salinas e adubadas com diferentes proporções de nitrato e amônio.	45
Tabela 6. Resumo do teste de F para fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) de plantas de gergelim irrigadas com águas salinas e adubadas com diferentes proporções de nitrato e amônio.	49
Tabela 7. Resumo do teste de F para número total de frutos (NTF), número de sementes (NS), massa de sementes (MSem), massa de cem sementes (MCS), consumo hídrico (CH) e eficiência no uso da água (EUA) de plantas de gergelim cv. CNPA G3 irrigadas com águas salinas e adubadas com diferentes proporções de N-nitrato e N-amônio.	52

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Índice de velocidade de emergência - IVE (A) e percentagem de emergência (B) das plântulas de gergelim cv. CNPA G3 em função da salinidade da água de irrigação – CEa. 35
- Figura 2.** Altura de plantas (A) e diâmetro do caule (B) de gergelim cv. CNPA G3 aos 50 e 70 dias após a sementeira, em função da salinidade da água de irrigação -CEa..... 36
- Figura 3.** Diâmetro de caule do gergelim cv. CNPA G3 em função da adubação com diferentes proporções de nitrato e amônio aos 70 dias após a sementeira. 37
- Figura 4.** Número de folhas do gergelim cv. CNPA G3 aos 50 (A) e 70 (B) dias após a sementeira, em função da interação entre a salinidade da água de irrigação (CEa) e diferentes proporções de nitrato e amônio. 38
- Figura 5.** Taxa de crescimento relativo para diâmetro do caule -TCRdc (A e B) e altura de plantas -TCRap (C e D) do gergelim cv. CNPA G3 no período de 25 a 60 dias após sementeira em função da condutividade elétrica da água de irrigação–CEa e das proporções de N-nitrato e N-amônio. 40
- Figura 6.** Percentual de dano na membrana celular (%D) das plantas de gergelim cv. CNPA G3, em função da condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (A) e das diferentes proporções de N-nitrato e N-amônio (B). 42
- Figura 7.** Teor de clorofila *a* das plantas de gergelim cv. CNPA G3, em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação – CEa e as diferentes proporções de N-nitrato e N-amônio (A), e teor de clorofila *b* (B) e carotenóides (C) em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa). 43
- Figura 8.** Condutância estomática – *g_s* de gergelim cv. CNPA G3 em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação - CEa e as diferentes proporções de nitrato e amônio (A) e taxa de assimilação de CO₂- *A* em função da CEa (B). 46
- Figura 9.** Transpiração foliar - *E* do gergelim cv. CNPA G3 em função das distintas proporções de nitrato e amônio (A) e concentração interna de CO₂- *C_i* em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação - CEa e as diferentes proporções de nitrato e amônio (B). 48

Figura 10. Fluorescência inicial - F_o do gergelim cv. CNPA G3 em função das distintas proporções de nitrato e amônio (A) e fluorescência variável – F_v em função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (B).	50
Figura 11. Eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) do gergelim cv. CNPA G3 em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação - CEa e diferentes proporções de nitrato e amônio	51
Figura 12. Número total de frutos por planta (A) em função da salinidade da água de irrigação e número de sementes (NS) do gergelim cv. CNPA G3 (B) em função da interação entre a salinidade da água de irrigação e diferentes proporções de nitrato amônio.....	53
Figura 13. Massa de sementes do gergelim cv. CNPA G3 em função da interação entre a salinidade da água de irrigação e diferentes proporções de nitrato amônio.	54
Figura 14. Massa de cem sementes (MCS) das plantas de gergelim cv. CNPA G3, em função da condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (A) e das diferentes proporções de N-nitrato e N-amônio (B)	56
Figura 15. Consumo hídrico – CH do gergelim cv. CNPA G3 em função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (A) e das proporções de N-nitrato e N-amônio (B) e eficiência no uso da água – EUA (C), em função da interação entre os fatores condutividade elétrica da água de irrigação e proporções de N-nitrato e N-amônio.....	57

DIAS, A. S. **Proporções de nitrato e amônio no cultivo de gergelim sob irrigação com águas salinas**. 2017. 75p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB.

RESUMO

Na região semiárida é comum a ocorrência de águas com elevadas concentrações de sais, associada a crescente necessidade de expansão das áreas agrícolas irrigadas, a utilização de águas salinas torna-se quase que obrigatória e, estas podem causar inibição do crescimento das plantas, problemas de toxicidade iônica, deficiências nutricionais com conseqüente redução da produção das culturas. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos da irrigação com águas salinas e adubação com diferentes proporções de nitrato (N-NO_3^-) e amônio (N-NH_4^+) sobre o cultivo do gergelim cv. CNPA G3 em condição de casa de vegetação. Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, em esquema fatorial 5×5 , com três repetições, referentes a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,6; 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dS m^{-1}) e às proporções de nitrato (N-NO_3^-) e de amônio (N-NH_4^+) (200:0, 150:50, 100:100, 50:150, 0:200 mg kg^{-1} do solo). A irrigação com água de salinidade superior a 0,6 dS m^{-1} promove efeito negativo sobre a emergência, o crescimento, as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a* e componentes de produção do gergelim cv. CNPA G3, sendo o número de sementes a variável mais prejudicada. A adubação com 200:0 mg kg^{-1} $\text{N-NO}_3^-:\text{N-NH}_4^+$ proporciona maior crescimento em diâmetro de caule, altura de plantas, taxa de crescimento relativo para altura de plantas e diâmetro do caule, maior número de folhas e maior eficiência quântica do fotossistema II do gergelim do gergelim cv. CNPA G3. A adubação com nitrogênio na forma amoniacal (0:200 mg kg^{-1} $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$) promove aumento na concentração interna de CO_2 e percentagem de dano celular, além de efeito deletério sobre a condutância estomática, consumo hídrico, transpiração foliar e a eficiência quântica do fotossistema II do gergelim. O número de sementes, massa de sementes, massa de cem sementes, uso eficiente da água e produção são influenciados pelas proporções nitrato:amônio, alcançando os maiores valores sob adubação com 150:50 mg kg^{-1} de N-NO_3^- e N-NH_4^+ e irrigação com água de 0,6 dS m^{-1} .

Palavras chave: *Sesamum indicum*, L., estresse salino, nitrogênio, N-NH_4^+ , N-NO_3^- .

DIAS, A. S. **Proportions of nitrate and ammonium in the cultivation of sesame under irrigation with saline waters**. 2017. 76p. Dissertation (Master in Agricultural Engineering). Federal University of Campina Grande. Center for Technology and Natural Resources, Campina Grande, PB.

ABSTRACT

In the semi-arid region, water with high salt concentrations is common associated with the increasing need to expand irrigated agricultural areas, the use of saline waters becomes almost mandatory and, it can cause inhibition of plant growth, ionic toxicity, nutritional deficiencies with consequent reduction of crop production. Thus, it was aimed to evaluate the effects of irrigation with saline waters and fertilization with different proportions of nitrate (N-NO₃⁻) and ammonium (N-NH₄⁺) on the crop of sesame cv. CNPA G3 under greenhouse conditions. The treatments were distributed in randomized blocks, in a 5 x 5 factorial scheme, with three replications, corresponding to five levels of electrical conductivity of the irrigation water - EC_w (0.6, 1.2, 1.8, 2.4 and 3.0 dS m⁻¹) and five proportions of nitrate (N-NO₃⁻) and ammonium (N-NH₄⁺) (200:0, 150:50, 100:100, 50:150, 0:200 mg kg⁻¹ of soil). Irrigation with saline water higher than 0.6 dS m⁻¹ promotes negative effect on emergence, growth, gas exchanges, fluorescence of chlorophyll *a* and production components of the sesame cv. CNPA G3, the number of seeds being the variable more impaired. Fertilization with 200:0 mg kg⁻¹ N-NO₃⁻: N-NH₄⁺ provides higher growth in stem diameter, plant height, relative growth rate for plant height and stem diameter, more number of leaves and higher quantum efficiency of photosystem II of sesame cv. CNPA G3. Nitrogen fertilization in the ammoniacal form (0:200 mg kg⁻¹ NO₃⁻: NH₄⁺) promotes increase in the internal CO₂ concentration and percentage of cellular damage, besides a deleterious effect on stomatal conductance, water consumption, leaf transpiration and quantum efficiency of photosystem II of sesame. The number of seeds, seed mass, mass of hundred seed, production and water use efficiency are influenced by the nitrate: ammonium ratios, reaching the highest values under fertilization with 150-50 mg kg⁻¹ of N-NO₃⁻ and N-NH₄⁺ and irrigation with water of 0.6 dS m⁻¹.

Keywords: *Sesamum indicum*, L., saline stress, nitrogen, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻

1. INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum*, L.), é uma cultura que possui grande expressão socioeconômica no Brasil, com potencial de exploração, tanto no mercado nacional como internacional, devido as possibilidades de uso de suas sementes *in natura*, ou para extração de seu óleo, comumente usado em indústrias alimentícias químicas e farmacêuticas (BEZERRA et al., 2010). Ela é a nona oleaginosa mais produzida no mundo com produção mundial estimada em 3,16 milhões de toneladas, obtidas em 8 milhões de hectares, com uma produtividade de 481,40 kg ha⁻¹. No Brasil são produzidas 15 mil toneladas numa área de 25 mil hectares com rendimento médio em torno de 600,0 kg ha⁻¹ (QUEIROGA et al., 2009).

Além disso, o gergelim possui estabilidade de produção em relação ao fator água (requerimento hídrico baixo), quando comparadas a outras espécies cultivadas e se constitui uma fonte alternativa de renda, especificamente, para pequenos e médios produtores no Nordeste do Brasil (ARAÚJO et al., 2014).

Na região semiárida do Nordeste brasileiro a ocorrência de águas com quantidade considerável de sais dissolvidos, devido as variações climáticas com ocorrência de altas temperaturas, baixa pluviosidade, intensa evaporação aliada a má distribuição espacial e temporal das chuvas os efeitos dos sais, da água ou do solo, são refletidos na redução do potencial osmótico do solo, podendo ocasionar efeitos iônicos, como a toxicidade e desequilíbrio nutricional inibindo assim o crescimento e produção das plantas (MUNNS, 2005; PEDROTTI et al., 2015;) além de promover fechamento estomático limitando a transpiração, o que reduz a taxa de fotossíntese (SILVA et al., 2010).

Associado a este problema a crescente necessidade de expansão da produção agrícola em todo o mundo, faz com que os agricultores utilizem, na irrigação, águas com moderado e alto teores salinos (NOBRE et al., 2011). Necessitando assim da busca por alternativas para uso mais eficiente da água e também para aproveitamento daquelas consideradas de qualidade inferior – (alta salinidade e residuárias) (ALVES et al., 2011) na agricultura destas regiões, tendo em vista que o uso desta pratica está condicionado à tolerância das culturas à salinidade e às práticas de manejo da irrigação e adubação (LIMA et al., 2015).

Dentre as práticas usadas para redução dos efeitos negativos das elevadas concentrações de sais na água de irrigação destaca-se a adubação com nitrogênio pois o N faz parte de diversos compostos orgânicos como aminoácidos, proteínas e prolina,

que elevam a capacidade de ajustamento osmótico das plantas aumentando a resistência das culturas ao estresse hídrico e salino (OLIVEIRA et al., 2014). Somado a isso diversas pesquisas destacam que o fornecimento deste elemento não somente promove o crescimento vegetal como também pode reduzir o estresse provocado pela salinidade da água usada na irrigação (LIMA et al. 2012; LIMA et al., 2014; NOBRE et al., 2014).

Vale ressaltar que o nitrogênio é encontrado no solo nas formas de amônio e nitrato, e as taxas de absorção relativas destas fontes pelas plantas superiores são influenciadas por fatores como: a proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ no meio, temperatura, concentração de carboidratos nas raízes, entre outros (TAIZ & ZEIGER, 2013) sendo ambas absorvidas pelas plantas a depender da espécie e genótipo (ARAÚJO et al., 2012) uma vez que a absorção das formas amoniacais e nítricas provocam diferentes efeitos no crescimento, vigor, produção de biomassa e produção da planta (ROCHA, et al., 2014). Assim, o fornecimento de N exclusivamente como NO_3^- pode resultar em diminuição na produção de matéria seca em plantas que apresentam baixa capacidade de reduzir nitrato, pois, para que o N desempenhe suas funções na planta, é necessário que ele seja reduzido e incorporado a compostos orgânicos (ALI et al., 2007). Contudo, o N-nítrico é totalmente solúvel em água, não se fixa nas argilas e é facilmente lixiviado no solo (MALAVOLTA, 2006) e sua absorção ocorre somente na forma ativa, ou seja, contra um gradiente eletroquímico e requer muito gasto de energia metabólica (SILVA et al., 2010).

Por outro lado, altos níveis de amônio nos tecidos celulares, podem ser tóxicos e provocar efeitos negativos sobre o crescimento radicular e da parte aérea (OAKS, 1994), causando distúrbios fisiológicos e nutricionais (HOLZSCHUH et al., 2009). Além da diminuição no crescimento de algumas culturas, devido à utilização de carboidratos produzidos para a rápida assimilação do NH_4^+ absorvido, a fim de evitar seu acúmulo e consequente toxidez, o que levaria a alterações no pH celular e desbalanço iônico (TAIZ & ZEIGER 2013; ROCHA et al., 2014), no entanto, algumas espécies de plantas têm preferência pela absorção de N na forma amoniacal, como por exemplo, o arroz irrigado (HOLZSCHUH et al., 2011).

Entretanto, estudos (DUAN et al., 2006; DUAN et al., 2007; HOLZSCHUH et al., 2009; HOLZSCHUH et al., 2011) revelaram que plantas cultivadas com suprimento combinado de NO_3^- e NH_4^+ mostraram-se mais eficientes em absorver N favorecendo o desenvolvimento da parte aérea e das raízes destas plantas em comparação aquelas submetidas as mesmas formas de nitrogênio fornecidas isoladamente.

Nesse contexto, a inexistência de resultados relacionados com o crescimento, a fisiologia e a produção do gergelim cv. CNPA G3 sob adubação com distintas proporções de nitrato e amônio e irrigação com águas salinizadas, justificam que seja avaliado o crescimento e desenvolvimento dessa cultura sob salinidade da água, a fim de que se definam novas possibilidades do uso desta cultura como uma opção para o cultivo em regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, pois estudos (ABBASDOKHT et al., 2012; BAHRAMI & RAZMJOO, 2012; SUASSUNA, 2013) mostram informações divergentes acerca do nível salino tolerado por esta cultura, necessitando-se de estudos que possam viabilizar o aproveitamento de solos e águas salinas no cultivo de gergelim.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito da adubação com diferentes proporções de nitrato e amônio sobre a emergência, o crescimento, a fotossíntese e os componentes de produção do gergelim cv. CNPA G3 cultivado sob irrigação com águas de diferentes níveis de salinidade.

2.2. Objetivos específicos

- Analisar as alterações na emergência e crescimento do gergelim, ocasionadas pela irrigação com águas salinizadas e distintas proporções de nitrato e amônio;
- Determinar o percentual de dano na membrana celular, bem como, os teores de pigmentos fotossintéticos, as trocas gasosas e a fluorescência quântica do fotossistema II do gergelim irrigado com águas de diferentes salinidades e distintas proporções de nitrato e amônio;
- Avaliar os componentes de produção, a eficiência do uso da água e o consumo hídrico do gergelim em função da irrigação com água de diferentes salinidades e distintas proporções de nitrato e amônio.
- Identificar a proporção nitrato e amônio que proporcione melhor desenvolvimento e produção do gergelim quando cultivado sob crescentes níveis de salinidade da água de irrigação.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aspectos gerais da cultura do gergelim

O gergelim (*Sesamum orientale* L.) pertence à família Pedaliaceae, que é constituída por 16 gêneros e 60 espécies encontradas em áreas tropicais e subtropicais (QUEIROGA et al., 2010), ordem Tubiflorae, subordem Solamineae, tribo Sesameae. Originada da Índia, é considerada uma das mais antigas oleaginosas utilizadas pela humanidade, com registro de cultivo há mais de 4.300 a.C, em países como Irã, Egito, Índia e China (BELTRÃO & VIEIRA, 2001).

Apresenta grande heterogeneidade quanto às características morfológicas, podendo alcançar altura variando de 50 cm a 3 m. Possui caule ereto, com ou sem ramificações, com presença ou não de pelos, podendo apresentar coloração verde-claro ou verde-escuro. A planta possui sistema radicular pivotante, com a presença de uma raiz principal, no entanto, a cultura é extremamente sensível à falta de oxigênio no solo (BELTRÃO et al., 2001).

As folhas apresentam-se alternadas ou opostas, e as da parte inferior da planta adulta são mais largas e irregularmente dentadas ou lobadas, ao passo que as da parte superior são lanceoladas (ARRIEL et al., 2007). As flores são completas e axilares, gamossépalas, em número de um a quatro por axila foliar. As flores individuais tem um pequeno cálice dividido em cinco segmentos de 3 a 7 mm de comprimento. A corola é tubular, com um lábio inteiro superior e três lábios lobados mais embaixo. A cor vai do branco ao violeta. Apresentam quatro estames didínamos, arranjados em pares, soldados na base do maior lábio do tubo da corola. As anteras são de cor branca ou amarela (ROCHA, 2012).

Conforme Rocha, (2012) o gergelim possui fruto do tipo capsula alongada o qual, normalmente, possui quatro lojas podendo variar para seis a oito, ou raramente, dez lojas. Na mesma planta o número de frutos por axila varia de um a três e, quando o fruto apresenta-se perfeitamente maduro e seco, é normalmente descente, sendo as sementes liberadas pela parte superior deste. As sementes são pequenas com cor variando de branco ao preto com peso de 1.000 sementes variando de duas a quatro gramas a depender da cultivar e do ambiente.

É considerada uma planta de clima tropical e subtropical, podendo ser cultivada em quase todos os países de clima quente (EPSTEIN, 2000). Entretanto, a região semiárida do Nordeste devido a suas características físico-ambientais como alta

evapotranspiração, solos de baixa profundidade, entre outros aspectos, apresenta limitações de produção agrícola. Todavia a ociosidade da indústria de óleo nordestina, a resistência da planta à seca e a facilidade do seu cultivo aliados à possibilidade de exportação, o óleo aparece como alternativa para melhorar a renda de pequenos produtores e eleva a possibilidade de difusão do cultivo dessa oleaginosa (EPSTEIN, 2000). Cabe ressaltar que a produção do gergelim é proveniente de pequenos e médios agricultores, exercendo, portanto, uma apreciável função econômica e social, uma vez que ele é cultivado basicamente para a produção de grãos (ARRIEL et al.,2007).

O gergelim é considerado extremamente sensível à salinidade (BELTRÃO, 2001), e os estudos envolvendo salinidade nesta cultura são quase inexistentes, além de se encontrarem informações divergentes na literatura, necessitando-se de estudos que possam viabilizar o aproveitamento de solos e águas salinas no cultivo de genótipos possivelmente tolerantes. Para esta oleaginosa, que a prática da adubação é um dos assuntos mais discutidos, apresentando resultados positivos para determinados locais e cultivares, e negativos em outras situações mostrando a complexidade do meio e a grande dificuldade de se entender as relações solo, planta e atmosfera na cultura do gergelim (SILVA, 2006). Portanto, com o manejo adequado da irrigação e da adubação nessas áreas pode-se conseguir aumento das produções desta cultura.

3.2 Qualidade da água de irrigação

Atualmente, a grande preocupação em relação à prática agrícola nas regiões áridas e semiáridas é a qualidade da água utilizada na irrigação visto que a negligência quanto a esse aspecto produz efeitos indesejáveis na condução de culturas (MARÇAL, 2011). A qualidade da água refere-se à sua adequabilidade para determinado uso, isto é, se suas características físicas, químicas e biológicas se prestam às necessidades do usuário.

Quando se fala de qualidade da água para irrigação trata-se de sua qualidade em relação com a sua salinidade no sentido amplo do termo. E neste caso o termo qualidade se define em função de três critérios básicos: salinidade, sodicidade e toxicidade. O critério da salinidade avalia o risco de que o uso da água ocasione altas concentrações de sais no solo, com correspondente efeito osmótico e diminuição de rendimento dos cultivos; o critério de sodicidade analisa o risco de que se induzam uma elevada percentagem de sódio trocável (PST), com deterioração da estrutura e permeabilidade do solo; já o critério da toxicidade estuda os problemas que podem criar determinados íons acumulados nos tecidos vegetais (ALMEIDA, 2010).

Para que se determinar os referidos critérios é necessário que se faça uma avaliação da qualidade da água para fins de irrigação. Desse modo, os parâmetros a serem considerados nesta avaliação constituem-se em: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), total de sais dissolvidos (TDS), teores de sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{++}), magnésio (Mg^{++}), cloretos (Cl^-), sulfatos (SO_4^{++}), carbonatos (CO_3^-), bicarbonatos (HCO_3^-) e boro (B^+) (ALMEIDA, 2010). Sendo que dentre estes parâmetros a condutividade elétrica da água é o mais importante, (RIBEIRO et al., 2005).

Vale salientar que os principais sais dissolvidos na água de irrigação são os de sódio, cálcio e magnésio em forma de cloretos, sulfatos e bicarbonatos (SILVA et al., 2011), e que além das características físico-químicas da água outros fatores devem ser considerados e analisados em conjunto quando de sua avaliação e recomendação de uso para irrigação, como a tolerância das culturas aos sais, propriedades físicas e químicas do solo, práticas de manejo do solo, água e cultura; condições climáticas; método de irrigação e condições de drenagem (AYERS & WESTCOT, 1999). Essas variáveis são fundamentais na determinação da qualidade agrônômica da água (BARROSO et al., 2011).

Desse modo é imprescindível a avaliação da qualidade da água como medida preventiva dos processos de salinização gradativos, pelo acúmulo de sais oriundos de irrigações sucessivas, pois Rhoades (1972) afirma que todas as águas usadas na irrigação tem um conteúdo maior ou menor de sais solúveis. Fato que implica dizer que qualquer adição de água ao solo, quer pela ascensão capilar do lençol freático, quer pela irrigação resulta em adição de sais ao perfil, embora o tipo e sua quantidade dependam de sua origem e também do curso da água antes de sua utilização, pois Peres et al. (2009) afirmam que a água possui afinidades com várias outras substâncias de modo que por onde a mesma escoar ou percola vai dissolvendo e/ou agregando traços dos compostos químicos orgânicos e inorgânicos, deixando de ser pura. Outrossim, Almeida (2010) sugere que informações sobre a qualidade da água do manancial é importante, devido a sua utilização orientar as práticas de irrigação e a seleção de cultivos, bem como possibilitar a classificação para fins de irrigação.

Nesse contexto, para que a interpretação da qualidade da água para irrigação seja feita de maneira correta, devem-se relacionar os parâmetros analisados com seus prováveis efeitos produzidos no solo, nas culturas e no manejo da irrigação (BERNARDO et al., 2006), já que a compreensão da relação causa efeito entre um

componente da água e o problema resultante de sua presença ou excesso permite avaliar sua qualidade e determinar o seu grau de aceitabilidade (AYERS & WESTCOT, 1999). Essa comparação é necessária para estabelecer parâmetros a fim de controlar ou compensar os problemas relacionados com a qualidade da água, já que a longo prazo este é um dos fatores mais importantes para agricultura irrigada, tendo em vista que a irrigação com águas salinas representa riscos para a produção agrícola (BARROZO et al., 2011).

3.3 Salinidade e seus efeitos sobre as plantas

Diversos estudos definem o estresse salino como um dos maiores problemas abióticos devido a diminuição na produção e rendimento de culturas constatadas nestas pesquisas (PATADE et al., 2011; SHOMEILI et al., 2011; JAMES et al., 2012; PLAZEK et al., 2013; MUNNS & GILLIHAM, 2015), constituindo-o como sério agravante em áreas irrigadas.

O efeito do estresse salino sobre as plantas é consequência de dois distintos componentes deste estresse: (1) o componente osmótico – resultante da elevada concentração de solutos na solução do solo, provocando um déficit hídrico pela redução do potencial osmótico; (2) o componente iônico – decorrente dos elevados teores de Na^+ e Cl^- , e da alterada relação K^+/Na^+ e outros nutrientes (WILLADINO & CAMARA, 2010).

Ainda assim as culturas respondem diferentemente à salinidade, podendo se apresentar desde extremamente sensíveis em níveis de salinidade relativamente baixos (glicófitas) ou até produzir rendimentos aceitáveis em condições altamente salinas (halófitas). Os diferentes níveis de adaptação das espécies à salinidade permitem uma elevada variação quanto ao crescimento e desenvolvimento das plantas em resposta a essa condição (SANTANA et al., 2007).

A redução do crescimento das culturas expostas ao estresse salino pode ser caracterizada por meio de um modelo bifásico onde: na primeira fase, o crescimento da planta é afetado pelos sais que estão na zona radicular da mesma e é regulado por sinalização proveniente da raiz, sobretudo pelo ácido abscísico (ABA). A segunda fase caracteriza-se pela redução do crescimento resultante do acúmulo de sais no interior da planta. A causa desta injúria é função da elevada quantidade de sal absorvida, a qual ultrapassa a capacidade da planta de compartimentalizá-lo no vacúolo (MUNNS, 1993).

Consequentemente, a concentração de sais aumenta no citoplasma e inibe a atividade de enzimas de várias rotas metabólicas (PRISCO & GOMES FILHO, 2010).

Em situações de estresse em um período de curta duração normalmente é observada a predominância do efeito osmótico dos sais, fazendo com que o potencial hídrico do ambiente radicular diminua e restrinja a absorção de água; já em estresses de longa duração, é possível que os íons se acumulem e provoquem toxidez, induzindo distúrbios nutricionais e metabólicos (MUNNS, 2002). Os íons Na^+ e Cl^- normalmente são predominantes em ambientes salinos. Seus efeitos tóxicos estão associados aos distúrbios em relação ao balanço iônico (K^+ e Ca^{2+} em relação ao Na^+ e NO_3^- em relação ao Cl^-) e à absorção desbalanceada de elementos essenciais (MEDEIROS & GHEYI, 1997), bem como à ação específica desses íons sobre o funcionamento de enzimas e membranas (FLORES, 1990).

Dentre as principais consequências observadas a partir do acúmulo de íons Na^+ e Cl^- nas folhas pode-se citar necrose nos tecidos foliares e a aceleração da senescência de folhas maduras, reduzindo assim a área destinada à fotossíntese (MUNNS, 2002). Além do efeito iônico e osmótico ocasionado pela salinidade, as plantas podem sofrer por estresse oxidativo, onde ocorre aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (ERO). Essas moléculas podem ser geradas como resultado de excitação, formando oxigênio singleto (O_2), ou de sucessivas adições de elétrons ao O_2 , reduzindo-o ao radical aniônico superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$), radical hidroperoxila (HO_2^{\cdot}) ou peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radical hidroxila (OH^{\cdot}), os quais podem reagir com moléculas biológicas e causar danos irreversíveis as estruturas celulares podendo levar à morte celular (BARBOSA et al., 2014).

Trabalhos desenvolvidos por Souza et al. (2010) em sementes de pinhão manso, Marques et al. (2011) em sementes de caju anão precoce, Sousa et al. (2011) em caju comum e Suassuna (2013) em diferentes genótipos de gergelim demonstram os efeitos negativos da salinidade sobre a germinação de sementes. Isso por que o metabolismo germinativo é afetado negativamente levando à inibição da mobilização das reservas e distúrbios nos sistemas de membranas do eixo embrionário (SCHOSSLER et al., 2012).

Bhatt et al. (2008) afirmam que o prejuízo na absorção de água é um dos fatores mais importantes no que se refere a redução do crescimento das plantas sob estresse salino. Sendo que o grau ou a concentração de sais que determinam essa redução variam com a espécie, podendo esse fato estar relacionado com a tolerância de cada espécie à salinidade bem como com o tipo específico de íon. Cavalcante et al. (2010) afirmam que

o excesso de sais de sódio provoca redução generalizada do crescimento das plantas cultivadas. Já Farias et al. (2009) afirmam que o excesso de Cl^- provoca redução do crescimento e desenvolvimento vegetal.

Além disso, a redução na absorção de água pelas plantas submetidas ao estresse salino está diretamente relacionado à fotossíntese, ou seja, plantas sob estresse diminuem a capacidade fotossintética, bem como o crescimento (KUMAR et al., 2014). Apresentam redução dos teores de clorofilas e condutância estomática, além de prejuízos na eficiência do fotossistema II (FSII) (SENGAR et al., 2013). Os prejuízos na taxa fotossintética ocorrem, principalmente, pela diminuição da área foliar da planta pois, se a velocidade da toxicidade e morte foliar for maior que a produção de novas folhas a fotossíntese é prejudicada (MUNNS & TESTER, 2008).

Sob estresse salino, as plantas respondem rapidamente de forma a fechar seus estômatos na tentativa de amenizar a perda de água (JAMES et al., 2002). Nesta condição ocorre redução do desenvolvimento vegetal e desequilíbrios nutricionais provocados pelo excesso de sais na absorção e transporte de nutrientes (CAVALCANTE et al., 2010), devido ao excesso de sódio na solução de solo que provoca distúrbio na absorção de Ca, Mg e K na planta (WANDERLEY et al., 2010), podendo ocasionar aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), desidratação celular, prejuízo na fotossíntese e redução no desenvolvimento das folhas (PLAZEK et al., 2013).

Farias et al. (2008) afirmam que este estresse, reduz a atividade dos íons em solução e altera os processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta, fato este confirmado por Farias et al. (2009) ao constatar reduções nos teores de N, P, K, Ca, Mg e S nas raízes e folhas de gliricídia em solução nutritiva contendo NaCl. Lucena et al. (2012) que obtiveram redução na absorção de N, P, K, Ca e Mg em mangueira pelo excesso dos íons Na^+ e Cl^- . Lucena et al. (2012) afirmam ainda que a concentração externa do íon Na^+ ocupa os sítios de absorção de K^+ e Mg^{+2} , e o íon Cl^- atua nos sítios de absorção de N e P, inibindo sua absorção devido a mecanismos competitivos.

3.4 Salinidade e seus efeitos sobre os atributos físico-químicos do solo

A salinidade é um problema que atinge cerca de 50% área irrigada do globo terrestre, sendo que 10 milhões de hectares são abandonados anualmente em virtude desse problema (FAO, 2005). Estima-se que aproximadamente 7,0% de toda superfície

terrestre apresenta-se salinizada seja, devido a processos naturais intrínsecos, ao próprio solo da região de ocorrência ou causadas por atividades antrópicas, o que representa uma área de 9.500.000 km², distribuídos na Austrália, Ásia, América do Sul e África (PEDROTTI et al., 2015). No Brasil estima-se em mais de 4 milhões de hectares a área de solos afetados por sais SZABOLCS (1989) os quais ocorrem no Rio Grande do Sul, na região do Pantanal Mato-grossense e, com predomínio na região semiárida do Nordeste (PEDROTTI et al., 2015).

De um modo geral um solo é considerado salino quando a quantidade de sais existentes é capaz de prejudicar o crescimento e desenvolvimento das plantas, devido a alterações nas características físicas e químicas desses solos. Isso ocorre quando a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}) atingir valores superiores a 4 dS m⁻¹, a percentagem de sódio trocável (PST) menor que 15 e o pH_{ps} inferior a 8,5. Por outro lado, solos sódicos apresentam CE_{es} inferior a 4 dS m⁻¹, a PST superior a 15 e o pH_{ps} superior a 8,5 (GHEYI et al., 2010)

O efeito dos sais sobre o solo depende basicamente da interação eletroquímica existente entre os sais e suas partículas constituintes, refletindo diretamente no grau de estabilização de seus agregados. Nesse caso, durante o processo de salinização, o acúmulo de sódio sobre a superfície das partículas do solo (argilas), pode ocasionar a expansão das mesmas, enfraquecendo as forças de ligação entre elas a ponto de dispersá-las. Após serem dispersas, as partículas de argila são eluviadas juntamente com a água de percolação, ocupando os espaços porosos elevando a densidade do solo (SPERA et al., 2008).

A redução da porosidade total e o maior adensamento do solo podem ocasionar limitações na disponibilidade de ar e água para as plantas e aumentar a resistência para o crescimento das raízes, além de proporcionar maiores problemas para a infiltração da água no perfil, interferir na atividade biológica de microrganismos e facilitar o processo de erosão (SANTI et al., 2002), processo comum onde ocorre excesso de sódio, portanto a redução na qualidade física do solo está mais relacionada à formação de solos sódicos do que os propriamente salinos.

Em relação as propriedades químicas dos solos, o aumento nas concentrações de sais e, principalmente de sódio trocável, ocasiona redução da fertilidade do solo em função do decréscimo na disponibilidade de nutrientes para as plantas (SCHOSSLER et al., 2012). Pois os cátions de Ca²⁺ e Mg²⁺ são os que normalmente predominam na solução do solo e no complexo de troca de cátions do solo e, quando passa a haver

acumulo de sais solúveis nestes solos, geralmente é o sódio que predomina na solução do solo, com conseqüente precipitação de Ca^{2+} e Mg^{2+} nas formas de carbonatos e de sulfatos, o Na^+ passa a ser o cátion predominante no complexo de troca (SANTOS, 2004) causando um desbalanço na relação entre eles. A sodicidade dos solos também pode estar associada à presença de carbonatos, proporcionando altos valores de pH, o que interfere diretamente na disponibilidade de nutrientes para as plantas.

3.5 Adubação nitrogenada nas culturas

A adubação mineral é um importante fator para agricultura, sendo o nitrogênio o macronutriente exigido em maior quantidade pelas culturas agrícolas (MILLER & CRAMER, 2004). Essa prática é uma das principais tecnologias usadas visando o aumento da produtividade das culturas, sendo o nitrogênio, um dos principais responsáveis por esse aumento (CHAVES et al., 2011). O N é um dos elementos que possui papel fundamental nos crescimento e desenvolvimento das culturas, e seu uso pode reduzir os efeitos da salinidade nas espécies vegetais (DIAS et al., 2012) aumentando, dessa forma, a tolerância das plantas a estresse salino.

Este nutriente se destaca como um dos mais significativos para as plantas, pois desempenha função estrutural e faz parte de diversos compostos orgânicos vitais para o vegetal, como aminoácidos, proteínas e prolina, entre outros, elevando a capacidade de ajustamento osmótico das plantas à salinidade e aumenta a resistência das culturas ao estresse hídrico e salino. Desta forma, o manejo adequado da adubação nitrogenada pode ser uma alternativa para atenuar o efeito da salinidade sobre as plantas (OLIVEIRA et al., 2014). Entretanto, a eficiência da adubação nitrogenada depende do tipo de absorção do nutriente, nível de salinidade do solo, presença ou ausência de matéria orgânica, dentre outros fatores (RIBEIRO et al., 2015).

3.5.1 Absorção de íons NH_4^+ e NO_3^- pelas culturas

A absorção do nitrogênio, nutriente de alta mobilidade no solo, ocorre tanto na forma de cátion (amônio - NH_4^+) como na de ânion (nitrato - NO_3^-) (LOBO et al., 2011), e os processos de absorção, assimilação e mobilização deste nutriente envolvem mecanismos para a máxima eficiência de utilização, que inclui um sistema complexo de vias metabólicas reguladas que se alternam em razão do armazenamento, da remobilização, da reassimilação, da reciclagem durante a fotorrespiração e da distribuição entre as vias primárias e secundárias do metabolismo (STITT et al., 2002).

Assim, há uma forte dependência dos níveis de N endógeno e exógeno, da forma disponível e da energia disponibilizada, bem como da localização e da regulação das enzimas envolvidas, as quais determinam os órgãos ou sítios de assimilação (SHAN et al., 2012).

No solo, a forma inorgânica nítrica ($N-NO_3^-$) é mais abundante, em consequência do processo de nitrificação por bactérias que provocam a oxidação do amônio livre. No entanto, em solos predispostos ao encharcamento que apresentem baixas concentrações de oxigênio, condições que limitam e/ou inibam a atividade destas bactérias nitrificadoras, a forma amoniacal pode ser mais abundante (SHAN et al., 2012). A forma amoniacal possui a vantagem de se fixar às partículas coloidais do solo devido as partículas de argila possuírem cargas negativas. Além disso, esta forma requer menos energia para a absorção do que o nitrato (ZHOU et al., 2011). Já o nitrogênio nítrico é totalmente solúvel em água, não se fixa nas argilas e é facilmente lixiviado no solo (MALAVOLTA, 2006), bem como pode ser volatilizado e perdido para a atmosfera.

Nas plantas a interação entre as fontes de nitrogênio (nítrica e amoniacal) possui efeitos diferenciados no crescimento e desenvolvimento vegetal (LANE & BASSIRIRAD, 2002). O nitrato pode ser assimilado nas raízes, na parte aérea, ou em ambos os sítios, enquanto o amônio, por seus efeitos tóxicos, geralmente é assimilado apenas nas raízes (SODEK, 2008).

A forma amoniacal poderia ser uma fonte preferencial de nitrogênio, já que sua absorção requer menos energia do que o nitrato (ZHOU et al., 2011) e, de acordo com Malagoli et al. (2000), algumas espécies de plantas têm preferência pela absorção de N na forma amoniacal, porém poucas espécies apresentam melhor desempenho quando crescidas apenas com NH_4^+ como fonte de nitrogênio (BRITTO et al., 2001).

Em algumas culturas, existe efeito negativo do íon NH_4^+ sobre o crescimento. Isso se atribui à necessidade de utilização dos carboidratos produzidos, prioritariamente, para a rápida assimilação do amônio absorvido, com vistas a evitar-se sua acumulação e problemas de toxicidade relacionados a alterações no pH celular e desbalanço iônico e hormonal, entre outros (BRITTO et al., 2002).

A absorção radicular de NH_4^+ depende de sua única entrada, mediada por um transportador, e quando ele é levado para dentro da célula causa um desequilíbrio elétrico, assim ele faz com que a célula promova um fluxo contrário de cargas positivas, a fim de alcançar a neutralidade (SILVA et al., 2010). Durante exposições a maiores quantidades de NH_4^+ as células das plantas assimilam o amônio que absorveram,

gerando prótons (H^+), que diminuem o pH citoplasmático e estimulam a H^+ -ATPases a bombear prótons para fora da célula, principalmente H^+ , gerando acidez fora da célula (HEDRICH & SCHOEDER, 1989).

Já o mecanismo de absorção de NO_3^- ocorre somente na forma ativa, contra um gradiente eletroquímico (WILLIAMS & MILLER, 2001). Transportar NO_3^- contra esse gradiente requer muito gasto de energia metabólica. O pH ótimo para a absorção de NO_3^- é abaixo de 6, isso se dá presumivelmente devido a maior disponibilidade de H^+ para o cotransporte (EPSTEIN & BLOOM, 2004).

De maneira geral as espécies vegetais podem ser tolerantes ou não ao excesso de amônio no meio de cultivo. A absorção de N na forma amoniacal pode ter como vantagem o fato de o N estar na forma reduzida; no entanto, o fluxo de amônio é de difícil controle, devido à necessidade da homeostase celular do elemento, podendo induzir toxicidade às plantas (BITTSÁNZKY et al., 2015). Neste sentido, a maioria das plantas superiores desenvolve sintomas de toxicidade, quando cultivada apenas com amônio, podendo ocasionar a morte dos vegetais (HORCHANI et al., 2011).

Entretanto, as respostas que as plantas apresentam quando absorvem N amoniacal ou nítrico são muito amplas, mesmo sendo da mesma espécie, de maneira que há diferenças entre variedades quanto ao desenvolvimento sob aplicação de amônio (CRUZ et al., 2011) e de nitrato (HUANG et al., 2013).

Na literatura, existem indicações, para algumas espécies, em relação à tolerância ao N amoniacal *Saccharum* spp. (ISHIKAWA et al., 2009), *Oryza sativa* (BALKOS et al., 2010) e *Solanum tuberosum* (ZEBARTH et al., 2012) bem como indicadas quanto à sensibilidade ao NH_4^+ *Zea mays* (SIMONS et al., 2014), *Solanum lycopersicum* (HORCHANI et al., 2011) e *Arabidopsis thaliana* (SARASKETA et al., 2014) de acordo com o desenvolvimento das plantas, em função das concentrações de amônio estudadas.

A toxicidade do amônio ocasiona mudanças bioquímicas e fisiológicas na planta, como: alterações no pH intracelular, no equilíbrio osmótico, no metabolismo de hormônios (LI et al., 2014), e induz a deficiência de nutrientes (MENDOZA-VILLAREAL et al., 2015). Holzschuh et al. (2011) observaram, por meio da análise da seiva do xilema, que o amônio afeta negativamente a absorção dos íons potássio, cálcio e magnésio, em magnitude dependente da sua concentração no meio.

O excesso de amônio nos tecidos vegetais também pode aumentar o conteúdo de O_2^- e H_2O_2 , podendo causar estresse oxidativo, diminuir os teores de clorofila e de carotenoides (WANG et al., 2010) e as taxas fotossintéticas (BORGOGNONE et al.,

2013), além de danos à integridade física das membranas das células dos vegetais (KOCHANOVÁ et al., 2014), sendo relatada a aumento do índice de vazamento de eletrólitos em plantas de *Arabidopsis thaliana* (HELALI et al., 2010). Dessa forma, verificou-se aumento da taxa de transpiração de plantas de *Solanum lycopersicum* (BORGOGNONE et al., 2013) e diminuição da eficiência fotossintética de *Zea Mays* (VACULÍKOVÁ et al., 2014), causando menor crescimento das plantas.

De modo geral, os sintomas de toxicidade do NH_4^+ em plantas deve-se, entre outros fatores, ao alto consumo de energia para o efluxo desse íon, mantendo baixa sua concentração no citosol da célula (BRITTO et al., 2014).

Entretanto, em estudo avaliando o fornecimento de NO_3^- em plantas de pepino cultivadas com 10 mmol L^{-1} de NH_4^+ , Roosta & Schjoerring (2008) relatam que as plantas apresentaram sintomas de toxicidade quando cultivadas apenas com o amônio, enquanto a aplicação de nitrato mitigou estes sintomas, aumentando a atividade da glutamina sintetase, aliviando a toxicidade por NH_4^+ .

Assim, para a obtenção de respostas benéficas quanto à aplicação de nitrogênio, devem-se levar em consideração as práticas de manejo apropriadas que possibilitem o melhor aproveitamento do N fornecido à planta, tanto na forma de NH_4^+ quanto na de NO_3^- . Nesse contexto, a adequada relação NH_4^+ e NO_3^- tem sido atribuída como fator mitigador no estresse por excesso de NH_4^+ nas plantas. Logo a redução da toxicidade de NH_4^+ pela presença de NO_3^- ocorre porque a absorção deste ânion está associada com a alcalinização da rizosfera e o estímulo da captação de cátions, amenizando alguns dos efeitos nocivos do NH_4^+ (BRITTO & KRONZUCKER, 2005).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Localização

O trabalho foi conduzido durante o período de outubro de 2015 a fevereiro de 2016 sob condições de casa-de-vegetação, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (CTRN/UFCG), localizado no município de Campina Grande, PB, situado pelas coordenadas geográficas locais 07°15'18" latitude S, 35°52'28" de longitude W e altitude média de 550 m.

4.2 Tratamentos e delineamento estatístico

Foram avaliados cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,6; 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dSm⁻¹) associados a cinco proporções de nitrato-NO₃⁻ e amônio-NH₄⁺ (200:0; 150:50; 100:100; 50:150; 0:200 mg de N kg⁻¹ de solo), em delineamento de blocos casualizados, em arranjo fatorial 5 x 5, com três repetições e uma planta por parcela, perfazendo o total de setenta e cinco unidades experimentais.

4.3 Descrição do gergelim cultivar CNPA G3

Para este ensaio foram usadas sementes da cultivar de gergelim cv. CNPA G3, a qual foi obtida pelo método de seleção individual, com testes de progênies aplicadas a cultivar Tegel, obtendo-se a linhagem CNPA 86-362, na qual se efetuou pressão de seleção para a resistência à mancha angular, causada pelo fungo *Cylindrosporium sesami* Hansford. Esta cultivar possui porte médio, ciclo variando entre 90 e 100 dias, hábito de crescimento ramificado, floração e maturação uniformes, apresenta um fruto/axila, número de frutos por haste variando de 11 a 20 com sementes de coloração creme, rendimento variando de 730 a 1200 kg ha⁻¹ de grãos, com peso médio de 1000 sementes igual a 2,2 g e teor de óleo variando de 49 a 53,3% (AMABILE et al., 2001).

4.4 Preparação das águas salinas e manejo da irrigação

As águas de irrigação nos valores de condutividade elétrica de 1,8; 2,4 e 3,0 dS m⁻¹ foram preparadas dissolvendo-se os sais NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O, na proporção equivalente de 7:2:1, entre Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, respectivamente, em água de abastecimento (CEa = 1,40 dS m⁻¹) local do município de Campina Grande, PB. Essa relação (7:2:1) é predominantemente encontrada em fontes de água utilizadas para irrigação, em pequenas propriedades do Nordeste (MEDEIROS et al., 2003), com base na relação entre CEa e a concentração de sais (10*mmol_c L⁻¹ = CEa dS m⁻¹) extraída de

Richards (1954). Já os níveis de 0,6 e 1,2 dS m⁻¹ foram obtidas mediante diluição da água de abastecimento local usando água advinda de chuva (CEa = 0,02 dS m⁻¹).

Antes da semeadura, elevou-se o teor de umidade do solo até alcançar a capacidade de campo utilizando-se as respectivas águas de cada tratamento. Após a semeadura, a irrigação foi realizada diariamente aplicando-se, em cada lisímetro, um volume de água de forma a manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo, sendo o volume aplicado determinado de acordo com a necessidade hídrica das plantas, estimada pelo balanço de água: volume aplicado menos o volume drenado na irrigação anterior, acrescido de uma fração de lixiviação de 0,10 para evitar acumulação excessiva de sais no solo.

4.5 Solo utilizado no experimento

O preenchimento dos lisímetros foi realizado colocando-se uma camada de 0,5 kg de brita nº zero, seguido de 26 kg de um Argissolo Acinzentado Eutrófico de textura franco-arenosa coletado na profundidade de 0-20 cm proveniente da zona rural do município de Esperança, PB, sendo devidamente destorroado e peneirado, cujas características físico-hídricas e químicas (Tabela 1) foram determinadas conforme metodologias propostas por Donagema et al. (2011).

Tabela 1. Atributos* químicos e físico-hídricos do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

Características químicas									
pH (H ₂ O) (1:2, 5)	M.O. dag kg ⁻¹	P (mg kg ⁻¹)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺ + H ⁺	PST (%)	CEes (dS m ⁻¹)
6,24	10,79	4,80	0,28	1,82	7,41	5,23	3,07	10,22	2,50
Características físico-hídricas									
Fração granulométrica (dag kg ⁻¹)			Classe textural	Umidade (kPa)		AD	Porosidade total m ³ m ⁻³	DA	DP
Areia	Silte	Argila		33,42	1519,5			(kg dm ⁻³)	
65,66	17,50	16,84	FA	28,84	10,42	18,42	0,53	1,27	2,74

*Determinadas conforme metodologias propostas por Donagema et al. (2011).

M.O. – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 mol L⁻¹ pH 7,0; PST- Percentagem de sódio trocável; CEes – Condutividade elétrica do extrato de saturação; FA – Franco Arenoso; AD – Água disponível; DA- Densidade aparente; DP- Densidade de partículas.

4.6 Instalação e condução do experimento

As plantas foram cultivadas em lisímetros de 20 L de capacidade. Em sua base foram feitos furos aos quais foram instalados drenos transparentes de 4 mm de diâmetro para permitir a drenagem. A extremidade do dreno no interior do lisímetro foi envolvida

com uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução do material de solo. Abaixo de cada dreno havia um recipiente plástico de 2 L de capacidade para a coleta de água drenada e estimativa do consumo de água pela planta. No momento da semeadura foram utilizadas quinze sementes de gergelim por vaso à profundidade de 2 cm. Após a emergência das plântulas, foram realizados desbastes em duas etapas, quando as plantas apresentaram-se com dois e três pares de folhas definitivas, aos 20 e 30 dias após o semeio (DAS) respectivamente, deixando-se uma planta por vaso.

A adubação com fósforo foi realizada em fundação. Já a adubação potássica foi distribuída da seguinte forma: 1/3 aplicado em fundação e os outros 2/3 divididas em três aplicações em cobertura conforme recomendação proposta por Novais et al. (1991), sendo aplicado 300 mg de P₂O₅ e 150 mg de K₂O kg⁻¹ de solo, utilizando o superfosfato simples e o cloreto de potássio. Como fonte de N-NO₃⁻ usou-se o nitrato de cálcio e de N-NH₄⁺ o cloreto de amônio. Os tratamentos proporções de NO₃⁻: NH₄⁺ foram parcelados em cinco aplicações iguais em intervalos de dez dias, sendo a primeira aplicação realizada aos 15 DAS. Com o objetivo de inibir a nitrificação do N-NH₄⁺ aplicado ao solo, a cada aplicação com o cloreto de amônio foi utilizado um inibidor de nitrificação, a dicianodiamida na dose de 10% em relação ao nitrogênio total (200 mg de N kg⁻¹ de solo). Para suprir possíveis deficiências de micronutriente foram aplicadas soluções de ubyfol via foliar [(N (15%); P₂O₅ (15%); K₂O (15%); Ca (1%); Mg (1,4%); S (2,7%); Zn (0,5%); B (0,05%); Fe (0,5%); Mn (0,05%); Cu (0,5%); Mo (0,02%)].

4.7 Variáveis analisadas

4.7.1 Emergência

Avaliaram-se a emergência do gergelim cv. CNPA G3 mediante a determinação da percentagem de emergência de plântulas normais (PE) e do índice de velocidade de emergência (IVE).

A percentagem de emergência de plântulas (PE) foi obtida pela contagem diária do número de plântulas emergidas, até o estabelecimento, adotando-se o critério de surgimento do epicótilo na superfície do recipiente. De posse desses dados, determinou-se o índice de velocidade de emergência (IVE) a partir da equação 1 apresentada por Carvalho & Nakagawa (2000).

$$\text{IVE (plântulas dia}^{-1}\text{)} = \frac{\sum_1}{N_1} + \frac{\sum_2}{N_2} \dots + \frac{\sum_n}{\sum_n} \quad (1)$$

Onde: $\sum_1, \sum_2, \dots \sum_n$ - número de plântulas emergidas nas primeira, segunda, ... e última contagens; $N_1, N_2, \dots N_n$ - número de dias da semeadura as primeira, segunda, ... e última contagens.

4.7.2 Crescimento

O crescimento das plantas de gergelim cv. CNPA G3 foi mensurado através da altura de plantas (AP), diâmetro de caule (DC) e número de folhas (NF) aos 50 e 70 DAS além das taxas de crescimento relativo para diâmetro de caule (TCRdc) e altura de plantas (TCRap).

A altura das plantas (AP) foi medida tomando-se como referência a distância do colo da planta à inserção do meristema apical, o diâmetro caulinar (DC) foi medido a 2 cm do colo da planta e o número de folhas (NF) foi obtido pela contagem de folhas totalmente expandida com comprimento mínimo de 3 cm em cada planta. A TCRdc e a TCRap foram obtidas a partir dos dados de duas avaliações realizadas aos 25 e 70 DAS, determinadas conforme metodologia descrita por Benincasa (2003), sendo calculada conforme equações 2 e 3:

$$\text{TCRdc} = \frac{(\ln DC_2 - \ln DC_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

$$\text{TCRap} = \frac{(\ln AP_2 - \ln AP_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (3)$$

em que:

TCRdc = taxa de crescimento relativo em diâmetro de caule ($\text{mm mm}^{-1}\text{dia}^{-1}$),

DC₁ = diâmetro de caule (mm) no tempo t₁,

DC₂ = diâmetro de caule (mm) no tempo t₂,

ln = logaritmo neperiano;

TCRap = Taxa de crescimento relativo em altura de plantas ($\text{cm cm}^{-1}\text{dia}^{-1}$),

AP₁ = altura de planta (cm) no tempo t₁,

AP₂ = altura de plantas (cm) no tempo t₂.

t₁ - t₂ = intervalo de tempo entre as amostragens.

4.7.3 Variáveis fisiológicas

4.7.3.1. Percentual de dano celular (%D) e pigmentos fotossintéticos

O %D foi avaliado aos 40 DAS, no sentido de determinar a capacidade de ruptura da membrana celular sob condições de estresse salino. Para tanto, foram coletados na 3^a

folha do ápice caulinar 10 discos foliares de 113 mm² de área, lavados com água destilada visando à retirada de outros eletrólitos aderidos aos folíolos, os quais foram acondicionados em beakers, com 50 mL de água bidestilada e fechado hermeticamente com papel alumínio. Os beakers ficaram mantidos à temperatura de 25°C, por 90 min, onde foi procedida a condutividade elétrica inicial (Ci). Posteriormente, os beakers foram conduzidos à estufa com ventilação forçada de ar e submetidos à temperatura de 80°C por 90 min, onde novamente realizaram-se a mensuração da condutividade elétrica final (Cf). Desta forma, o percentual de dano na membrana celular, foi obtido de acordo com Scott Campos & Thi (1997), conforme equação 4:

$$\%D = \frac{C_i}{C_f} \times 100 \quad (4)$$

em que:

%D = percentual de danos na membrana celular;

Ci = condutividade elétrica inicial (dS m⁻¹);

Cf = condutividade elétrica final (dS m⁻¹).

A quantificação dos teores de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* e *b* e carotenoides), também foi realizada aos 40 DAS seguindo o método laboratorial desenvolvido por Arnon (1949), onde foram feitos extratos vegetais a partir de amostras de 5 discos do limbo da terceira folha madura a partir do ápice. A partir destes extratos foram determinadas as concentrações de clorofila e carotenóides nas soluções por meio do espectrofotômetro no comprimento de onda de absorbância (ABS) (470, 646, e 663 nm), por meio das equações 5, 6 e 7:

$$\text{Clorofila } a \text{ (Cl } a) = (12,21 \times \text{ABS}663) - (2,81 \times \text{ABS}646) \quad (5)$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (Cl } b) = (20,13 \times \text{ABS}646) - (5,03 \times \text{ABS}663) \quad (6)$$

$$\text{Carotenóides (Car)} = [(1000 \times \text{ABS}470) - 1,82 \text{ Cl}a - 85,02 \text{ Cl}b]/198. \quad (7)$$

Os valores obtidos para os teores de clorofila *a*, *b* e carotenóides nas folhas foram expressos em μm g⁻¹ de matéria fresca (mg g⁻¹ MF).

4.7.3.2 Trocas gasosas

Avaliaram-se as trocas gasosas do gergelim aos 60 DAS, período de transição da fase de floração para frutificação. Determinaram-se as trocas gasosas na folha mediana e intacta do ramo produtivo, através da condutância estomática (*g_s* - mol H₂O m⁻² s⁻¹), taxa de assimilação de CO₂ (*A*) (μmol m⁻² s⁻¹), transpiração (*E*) (mmol de H₂O m⁻² s⁻¹) e

concentração interna de CO₂ (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) com o auxílio do analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA), modelo “LCPro+” da ADC BioScientific Ltda.

4.7.3.3 Eficiência fotoquímica

A fluorescência da clorofila *a* foi mensurada aos 60 DAS através da fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v) e a eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) dados em elétrons quantum⁻¹ em folhas pré-adaptadas ao escuro mediante uso de pinças foliares durante 30 minutos, entre as 7:0 e 8:0 horas da manhã, na folha mediana do ramo produtivo intermediário da planta, utilizando-se fluorômetro modulado Plant Efficiency Analyser – PEA II[®].

4.7.4 Componentes de produção, consumo hídrico e eficiência do uso da água

Foram quantificados a massa de sementes (MSem) e massa de 100 sementes (MCS) utilizando-se balança analítica com precisão de 0,01g. O número total de frutos (NTF) e número de sementes (NS) obtidos mediante contagem dos mesmos após a colheita. Já o consumo hídrico em cada parcela experimental ao longo do ciclo da cultura (variando entre 85 e 100 DAS dependendo do tratamento salino) foi determinado pela diferença entre o volume total de água aplicado e o volume total drenado. A eficiência do uso da água foi mensurada pela relação entre o rendimento de grãos e o volume de água efetivamente consumido em cada tratamento, conforme metodologia de Sartori et al. (2013).

4.8 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e quando significativo foram realizados a análise de regressão para o fator salinidade da água de irrigação e o teste de comparação de médias (Tukey em nível de 0,05 de probabilidade) para as proporções de nitrato e amônio, utilizando-se do software estatístico SISVAR-ESAL (FERREIRA, 2011). Após a análise da normalidade dos resíduos, realizou-se a análise exploratória dos dados transformando %D, CI *b*, EUA e NTS em \sqrt{x} .

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Emergência

Conforme os resultados do teste de F (Tabela 2), as plantas de gergelim cv. CNPA G3 quando submetidas à irrigação com águas salinas tiveram seu IVE e sua PE afetados significativamente em nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente. Já o fator proporções de nitrato/amônio assim como a interação dos fatores estudados (NS x PNA) não exerceram influência ($p > 0,05$) sobre as plantas de gergelim.

Tabela 2. Resumo do teste F para índice de velocidade de emergência (IVE), percentagem de emergência (PE) de plantas de gergelim cv. CNPA G3 irrigadas com águas salinas e adubadas com diferentes proporções de nitrato e amônio.

Fontes de variação	Teste de F	
	IVE (plântulas dia ⁻¹)	PE (%)
Níveis salinos (NS)	*	**
Reg. Linear	*	**
Reg. Quadrática	ns	ns
Nitrato e amônio (PNA)	ns	ns
Interação (NS x PNA)	ns	ns
Blocos	ns	ns
CV (%)	16,38	16,06

ns, **, * respectivamente não significativo, significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$.

Conforme a Figura 1, constata-se que o aumento da CEa de irrigação reduziu linearmente o índice de velocidade e a percentagem de emergência das plântulas de gergelim, promovendo decréscimos na ordem de 4,65 e 7,52% respectivamente, por aumento unitário da CEa, ou seja, perdas de 11,49 e 18,89% no IVE e PE entre as plantas irrigadas com água de 0,6 e 3,0 dS m⁻¹ refletindo a sensibilidade das plântulas de gergelim à salinidade da água de irrigação superior a 0,6 dS m⁻¹.

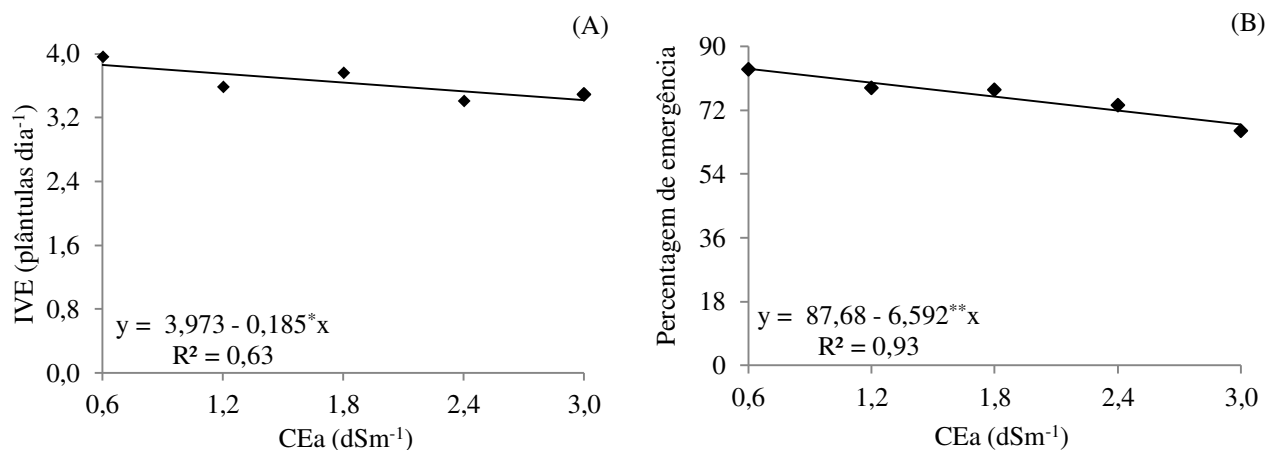


Figura 1. Índice de velocidade de emergência - IVE (A) e percentagem de emergência (B) das plântulas de gergelim cv. CNPA G3 em função da salinidade da água de irrigação – CEa.

Conforme Voigt et al. (2009), as reduções destas variáveis podem ser atribuídas à menor absorção de água causada pelo aumento na concentração de sais solúveis no solo assim como, pela absorção dos íons (Na^+ e Cl^-) em concentração suficiente para provocar toxicidade ao embrião e/ou células da membrana do endosperma prejudicando os processos de divisão e diferenciação celular, atividade de enzimas, captação e distribuição de nutrientes, podendo ocasionar atraso na emergência das plântulas e na mobilização das reservas. Tabatabaei & Naghibalghora, (2014) ao submeterem sementes de gergelim à diferentes pressões osmóticas (0, -3, -6, -9 e -12 bar) utilizando NaCl também observaram decréscimos no índice de germinação e percentagem de emergência.

Ao estudarem os efeitos do NaCl na emergência, crescimento e produção da mamoneira, Nobre et al. (2013) detectaram efeitos significativos sobre o IVE e a PE e, assim como verificado neste trabalho estas variáveis apresentaram decréscimos lineares de 3,62 e 3,35% por incremento unitário da CE_a, ou seja, menor intensidade dos efeitos negativos da CE_a, resultados estes que permitem inferir que mesmo sob menor salinidade da água de irrigação (0,6 a 3,0 dS m⁻¹) a cultura do gergelim apresentou reduções mais severas no IVE e PE denotando, com isso, maior sensibilidade desta cultura ao estresse salino.

5.2 Crescimento

Verifica-se a partir do resumo do teste F (Tabela 3) que a interação entre os fatores (NS x PNA) promoveu efeito significativo ($p < 0,01$) apenas para a variável número de folhas em ambas as épocas analisadas. Analisando-se os fatores de forma isolada, constata-se que o fator níveis salinos afetou significativamente ($p < 0,01$) a altura de plantas e diâmetro de caule, além das taxas de crescimento relativo para altura e diâmetro do caule das plantas a 0,05 de probabilidade. Com relação às proporções nitrato e amônio afetaram significativamente ($p < 0,05$) o diâmetro de caule aos 70 DAS e as taxas de crescimento relativo para diâmetro de caule e altura de plantas ($p < 0,05$).

Tabela 3. Resumo do teste F para altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) aos 50 e 70 dias após a semeadura (DAS) e para taxa de

crescimento relativo do diâmetro de caule (TCRdc) e altura de plantas (TCRap) no período de 25 – 60 DAS de plantas de gergelim cv. CNPA G3 irrigadas com águas salinas e adubadas com diferentes proporções de nitrato e amônio.

Fonte de variação	Teste F						TCRdc	TCRap
	AP		DC		NF			
	50	70	50	70	50	70		
Níveis salinos (NS)	**	**	**	**	**	**	*	*
Reg. Linear	**	**	**	**	**	**	**	*
Reg. Quadrática	ns	ns	*	**	ns	ns	ns	ns
Nitrato e amônio (PNA)	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	*
Interação (NS x PNA)	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns
Blocos	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	9,66	9,85	8,76	9,70	21,85	21,97	10,40	12,64

ns, **, * respectivamente não significativo, significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$.

O incrementos de sais às águas de irrigação promoveram declínios lineares da AP e, conforme a Figura 2A o aumento da salinidade das águas diminuiu em 12,41 e 14,06% o crescimento em altura de plantas de gergelim por aumento unitário de CEa, aos 50 e 70 DAS respectivamente, sendo que os menores valores de AP foram estimados em 104,82 e 139,58 cm para as plantas irrigadas com água de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ o que representam reduções de 32,02 e 36,87%, respectivamente, em relação as plantas irrigadas com água de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ nas duas épocas de avaliação (Figura 2A).

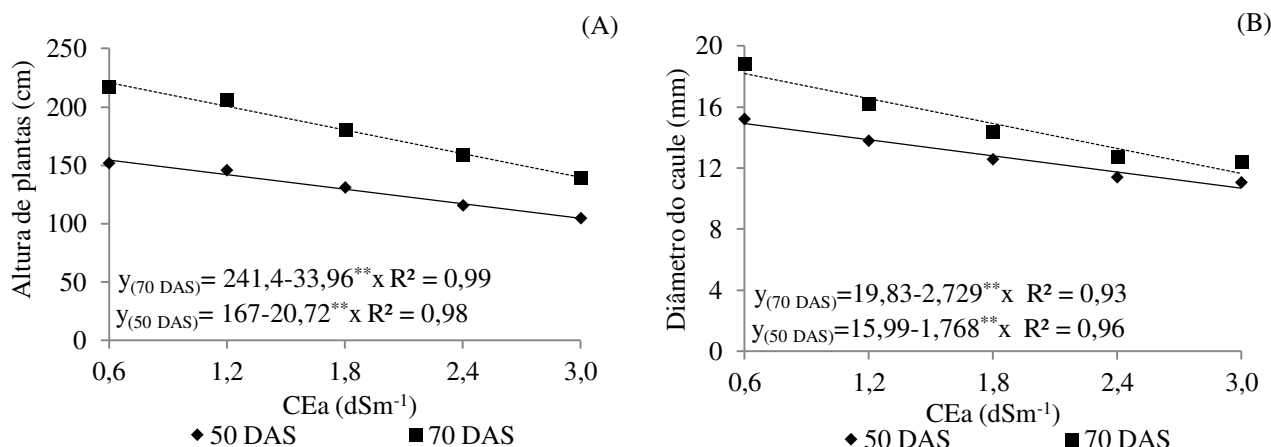
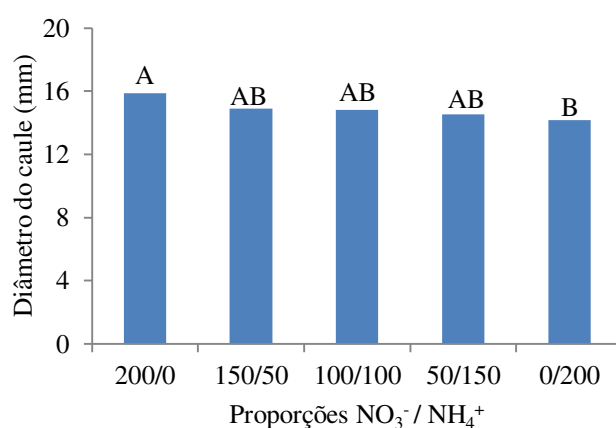


Figura 2. Altura de plantas (A) e diâmetro do caule (B) de gergelim cv. CNPA G3 aos 50 e 70 dias após a semeadura, em função da salinidade da água de irrigação -CEa.

Quanto ao diâmetro do caule, a elevação da CEa promoveu decréscimos de 11,05 e 13,76% por aumento unitário de CEa, ou seja, as plantas irrigadas com água de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ quando comparadas com a testemunha ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$) expressam declínios de 4,24 e 6,55 mm aos 50 e 70 DAS, respectivamente (Figura 2B). Observa-se ainda que o estresse provocado pela salinidade da água sobre as referidas variáveis foi mais intenso aos 70 DAS, denotando sensibilidade do gergelim cv. CNPA G3 ao efeito do acúmulo

de sais no solo provenientes das irrigações com águas salinas ao longo do tempo. Conforme Nobre et al. (2010) o aumento da concentração de sais na solução do solo, ocorrido pelo aporte da água de irrigação afeta negativamente a absorção de água pelas plantas, devido a diminuição no potencial osmótico do solo, prejudicando os processos fotossintéticos e metabólicos e como consequência afeta o crescimento em altura e em diâmetro caulinar.

Analisando o diâmetro caulinar do gergelim cv. CNPA G3 sob diferentes proporções de nitrato/amônio aos 70 DAS, verifica-se através do teste de comparação de médias (Figura 3), que as plantas de gergelim adubadas apenas com nitrato (200:0 mg kg⁻¹ de NO₃⁻:NH₄⁺) diferiram estatisticamente das plantas submetidas a 0:200 mg kg⁻¹ de NO₃⁻:NH₄⁺ apresentando uma superioridade de 12,29% em relação as plantas adubadas unicamente com N-amônio. Vê-se ainda (Figura 3) ao comparar as demais proporções de N-NO₃⁻:N-NH₄⁺ (150:50; 100:100; 50:150 e 0:200) que não houve diferença significativa entre estas. O menor valor para diâmetro de caule nas plantas submetidas 0:200 N-NO₃⁻:N-NH₄⁺ deve-se, possivelmente a toxidez nas plantas causada pelo excesso de amônio nos tecidos vegetais pois, o íon amônio provoca despolarização da membrana plasmática e do tonoplasto, a acidificação das organelas celulares, na tentativa de manter o potencial elétrico das membranas, mudanças no *status* de carboidratos das plantas, desacoplamento da fotofosforilação e, conseqüentemente, distúrbios fisiológicos que leva à morte das células e do tecido (BRITTO & KRONZUCKER, 2005; HOLZSCHUH et al., 2011).

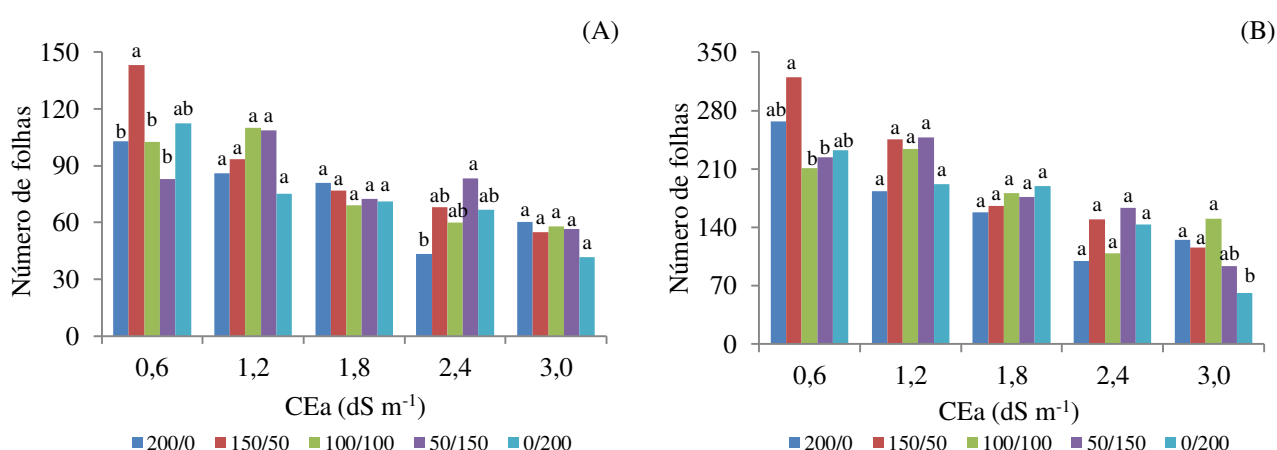


Colunas com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey p<0,05

Figura 3. Diâmetro de caule do gergelim cv. CNPA G3 em função da adubação com diferentes proporções de nitrato e amônio aos 70 dias após a semeadura.

Em estudos avaliando a interação de nitrato e amônio no crescimento do amendoineiro, Ribeiro et al. (2012) não observaram efeitos significativos dos tratamentos sobre o diâmetro do caule, mas verificaram que o maior crescimento em DC foi obtido nas proporções de $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ de 25:75 e 0:100 respectivamente; tal resultado demonstra, que a cultura do amendoineiro, assim como o gergelim, apresenta maior crescimento em resposta ao suprimento de nitrogênio preferencialmente sob a forma nítrica em detrimento da amoniacal.

Observa-se nas Figuras 4A e 4B haver comportamento semelhante da variável número de folhas nos períodos estudados e mediante o teste de comparação de médias (Figura 4A) quando as plantas de gergelim foram submetidas às diferentes proporções de nitrato/amônio ocorreu diferença significativa entre médias apenas nas plantas irrigadas com águas de 0,6 e 2,4 dS m^{-1} , aos 50 DAS. Neste período os maiores valores de NF foram obtidos nas plantas adubadas com as proporções 150:50 ($143,33 \text{ folhas planta}^{-1}$) e 100:100 ($83,33 \text{ folhas planta}^{-1}$) e irrigadas respectivamente com águas de 0,6 e 2,4 dS m^{-1} . Já aos 70 DAS (Figura 4B) assim como observado aos 50 DAS (Figura 4A) as plantas de gergelim submetidas a CEa de 0,6 dS m^{-1} e adubadas com a proporção de 150:50 mg kg^{-1} de NO_3^- e NH_4^+ apresentaram o maior número de folhas ($319,66 \text{ folhas planta}^{-1}$). Outrossim, quando se comparam as médias dos tratamentos em estudo (Figura 4B), vê-se que as plantas de gergelim irrigadas com água de maior CEa (3,0 dS m^{-1}) e adubadas com 0:200 mg kg^{-1} de NO_3^- e NH_4^+ obtiveram-se o menor NF ($61,00 \text{ folhas planta}^{-1}$), aos 70 DAS.

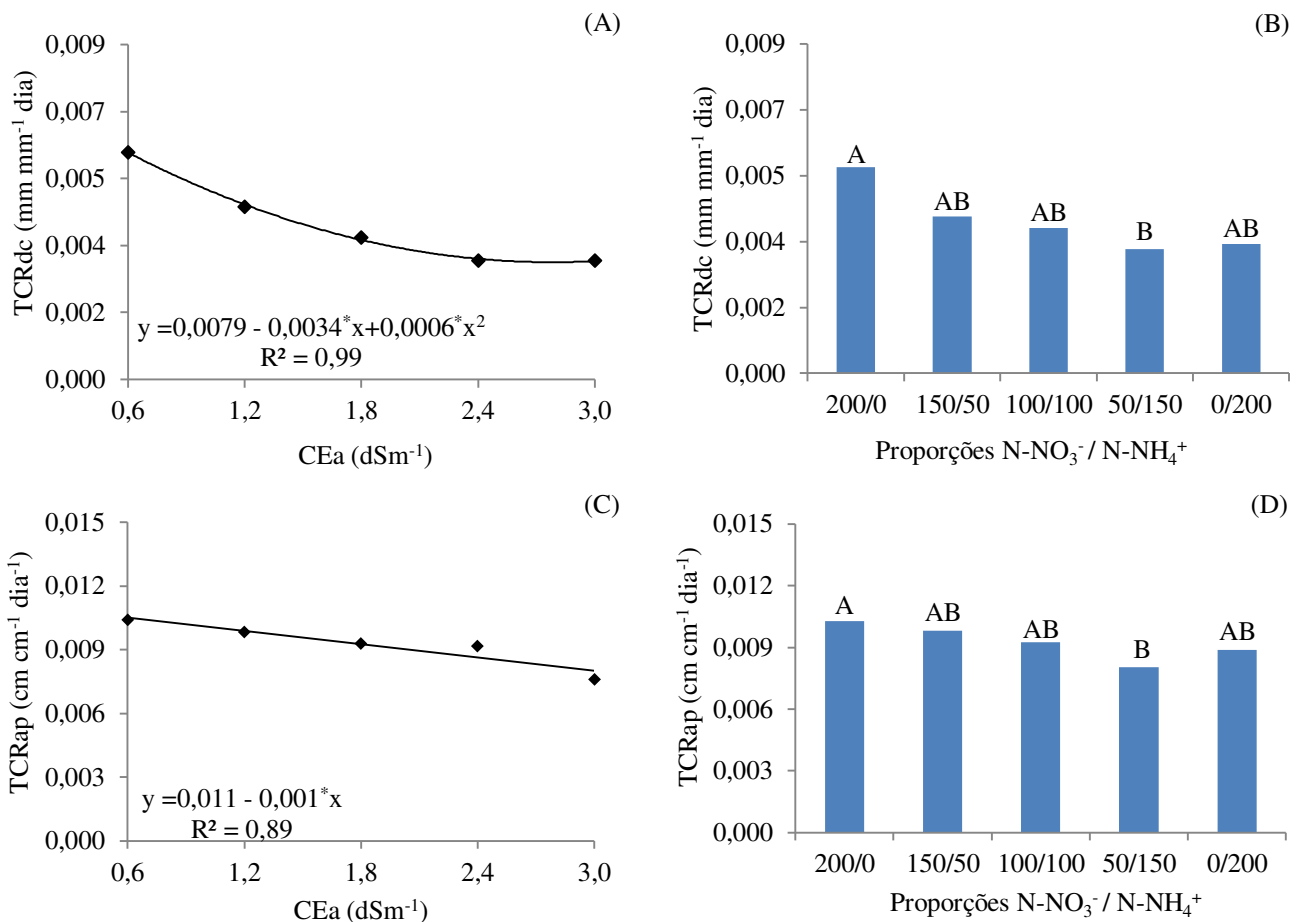


Colunas com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$

Figura 4. Número de folhas do gergelim cv. CNPA G3 aos 50 (A) e 70 (B) dias após a semeadura, em função da interação entre a salinidade da água de irrigação (CEa) e diferentes proporções de nitrato e amônio.

Ao se analisar, conjuntamente os resultados obtidos em ambas as épocas de estudo (50 e 70 DAS) fica evidente que independentemente da combinação de NO_3^- e NH_4^+ o NF reduziu com o incremento da CEa e que com exceção das plantas irrigadas com água de CE igual a $2,4 \text{ dS m}^{-1}$ aos 50 DAS, a cultura demonstra maior preferência na absorção de nitrogênio na forma nítrica. Ribeiro et al. (2012) constataram que uso de amônio nas proporções de 100:0 e 75:25 de $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ em solução nutritiva inibiram a emissão de folhas do amendoineiro cultivado em casa de vegetação e, de acordo com estes autores esse efeito pode ser atribuído ao fato de que os carboidratos translocados das folhas para as raízes são utilizados, prioritariamente, como esqueletos de carbono e energia para o processo de assimilação do íon amônio, a fim de evitar seu acúmulo em níveis tóxicos, e não para os processos associados ao crescimento desse órgão.

Na taxa de crescimento relativo para diâmetro do caule (TCRdc) no período de 25 a 60 DAS, em função dos diferentes níveis de salinidades (Figura 5A), observa-se que houve resposta quadrática com valor mínimo estimado de $0,0031 \text{ mm mm}^{-1} \text{ dia}$ obtido quando se aplicou o nível de salinidade de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$. Na taxa de crescimento relativo para altura de plantas - TCRap (Figura 5C) semelhante à TCRdc, percebe-se que o incremento nos níveis salinos da água de irrigação proporcionou efeito linear decrescente, sendo a redução de 9,09% por aumento unitário da CEa, correspondendo a um declínio de 49,01 e 23,07% na TCRdc e na TCRap, respectivamente, das plantas irrigadas com $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ em relação às que estavam sob irrigação com água de menor nível salino ($0,6 \text{ dSm}^{-1}$). As reduções nas respectivas taxas de crescimento do caule e em altura são reflexo do excesso de sais na zona radicular ocasionando efeito deletério no crescimento das plantas que se manifestam em declínio acentuado do crescimento dos distintos órgãos das plantas, devido o excesso de sais restringir o turgor de tecidos em expansão (BOUGHALLEB et al., 2012; WANG et al., 2012).



Médias com letras diferentes significa que os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 5. Taxa de crescimento relativo para diâmetro do caule -TCR_{dc} (A e B) e altura de plantas -TCR_{rap} (C e D) do gergelim cv. CNPA G3 no período de 25 a 60 dias após semeadura em função da condutividade elétrica da água de irrigação-CEa e das proporções de N-nitrato e N-amônio.

As taxas de crescimento relativo para diâmetro do caule (Figura 5B) e altura de plantas (Figura 5D) variaram significativamente entre as proporções de N-nitrato e N-amônio. Por meio da comparação das médias, nota-se que as plantas cultivadas apenas com N-nitrato (200:0 de N-NO₃⁻:N-NH₄⁺) se destacaram em maior taxa de crescimento relativo do gergelim, com valor médio de 0,0056 mm mm⁻¹ dia e 0,0102 cm cm⁻¹ dia, respectivamente; superiores, portanto, em 37,2 e 13,60% quando se usou apenas N-amoniacoal como fonte de N (0:200 N-NO₃⁻:N-NH₄⁺); entretanto, as menores médias de TCR_{dc} e TCR_{rap}, foram observadas nas plantas sob proporção de N-NO₃⁻:N-NH₄⁺ de 50:150 diferindo de forma significativa apenas das plantas que foram adubadas com 200:0. A razão pela qual o íon NH₄⁺ tenha contribuído para o menor crescimento relativo em termos de diâmetro de caule e altura de plantas de gergelim, possivelmente

está relacionada às alterações do pH do meio (à acidificação da rizosfera) e aos efeitos citotóxicos em alta concentração do NH_4^+ (IVANOVA & STADEN, 2009).

5.3 Variáveis fisiológicas

5.3.1 Percentagem de dano (%D) celular e pigmentos fotossintéticos

Através do resumo da análise do teste de F (Tabela 4), verifica-se efeito significativo dos níveis salinos sobre o teor de clorofila *a* ($p < 0,01$) e para o percentual de dano na membrana celular, teor de clorofila *b* e carotenóides ($p < 0,05$). Para o fator proporções de N-nitrato e N-amônio, verifica-se haver diferença significativa para %D e CRA ($p < 0,05$) e para Cl *a* ($p < 0,01$). Quanto à interação entre os fatores (NS x PNA) constata-se a ocorrência de efeito significativo apenas para o teor de clorofila *a* ($p < 0,05$).

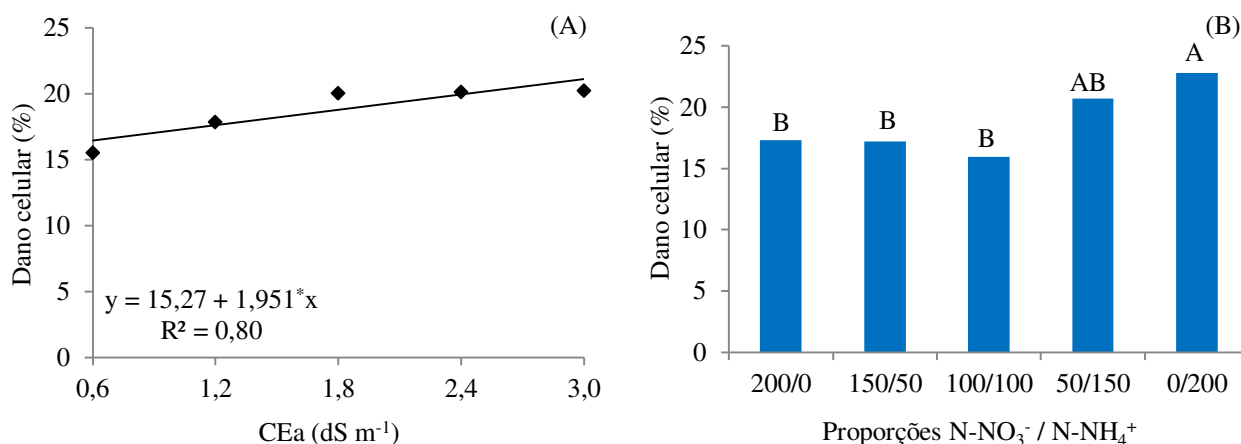
Tabela 4. Resumo do teste de F referente ao percentual de dano na membrana celular (%D), teor de clorofila *a* (Cl *a*) e *b* (Cl *b*), carotenóides (Car), de plantas de gergelim cv. CNPA G3 irrigadas com águas salinas e adubadas com diferentes proporções de N-nitrato e N-amônio.

Fonte de variação	Teste de F			
	%D ¹	Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i> ¹	Car
Níveis salinos (NS)	*	**	*	*
Reg. Linear	*	**	*	*
Reg. Quadrática	ns	*	ns	ns
N-nitrato e N- amônio (PNA)	*	**	ns	ns
Interação (NS x PNA)	ns	*	ns	ns
Blocos	ns	ns	ns	ns
CV (%)	17,87	13,95	19,63	22,44

ns, **, * respectivamente não significativo, significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$; ¹análise estatística realizada após transformação de dados em \sqrt{x} .

A irrigação com água de diferentes níveis salinos afetou significativamente o percentual de dano na membrana celular do gergelim cv. CNPA G3 e, conforme a equação de regressão (Figura 6A) verifica-se incremento sobre esta variável, de 12,77% por aumento unitário da CEa, resultando em aumento de 33,20% no %D das plantas submetidas à CEa de $3,0 \text{ dSm}^{-1}$ em comparação com as plantas irrigadas com água de menor nível de salinidade ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$). Verifica-se, a partir dos resultados obtidos para %D (Figura 6A), que à medida que houve um incremento na CEa, as plantas apresentaram uma maior liberação de íons (eletrólitos), ou seja, maior perda na integridade e desestabilização na membrana celular. Tal fenômeno em condições de estresse salino ou hídrico ocorre devido ao aumento da quantidade de espécies ativas de oxigênio (superóxidos), radicais livres e de enzimas (SHARMA et al., 2012). Por outro

lado, o aumento da concentração de eletrólitos em células foliares se constitui em um mecanismo que evita a dessecação dos tecidos, em razão da redução do componente osmótico do potencial hídrico foliar (FIOREZE et al., 2013).



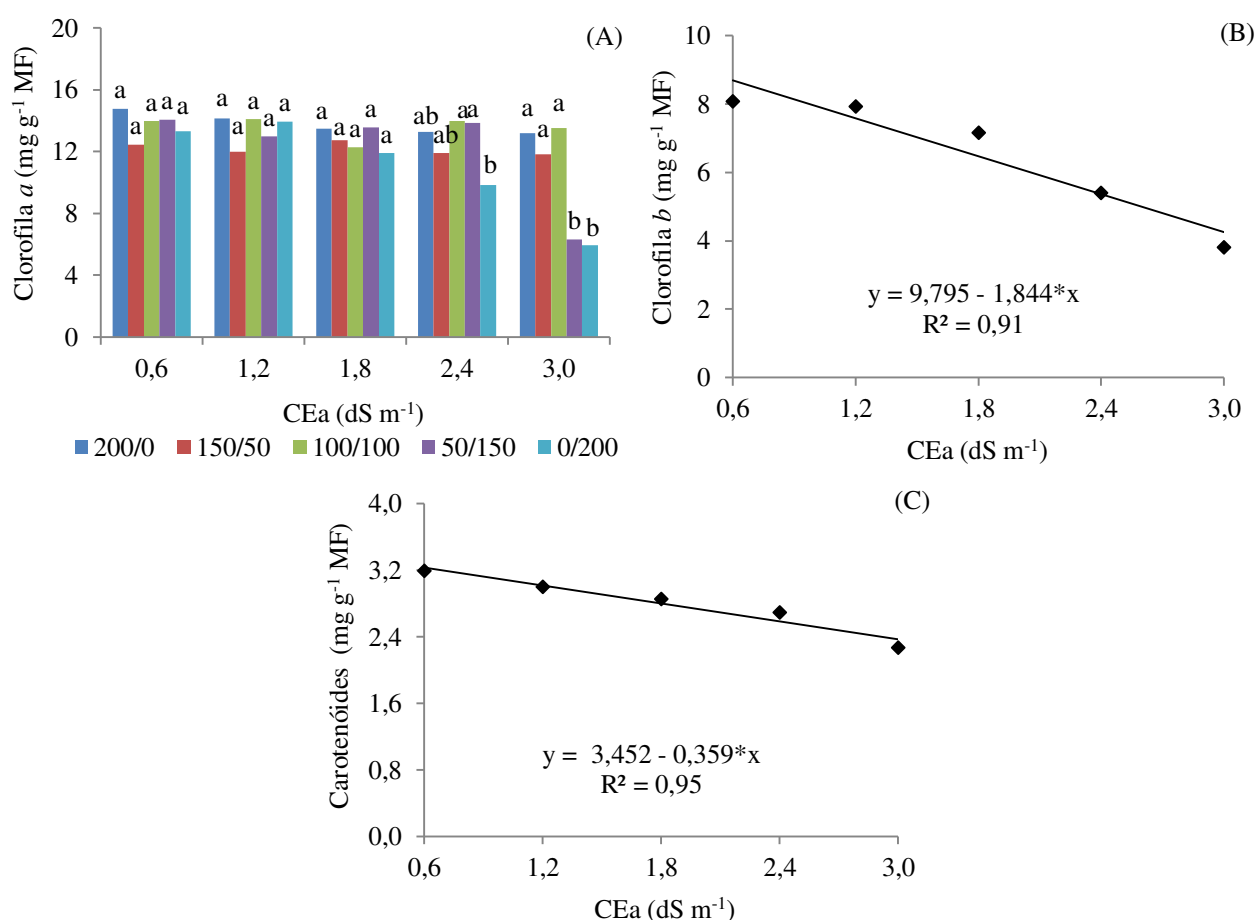
Médias com letras diferentes significa que os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 6. Percentual de dano na membrana celular (%D) das plantas de gergelim cv. CNPA G3, em função da condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (A) e das diferentes proporções de N-nitrato e N-amônio (B).

Analisando o percentual de dano na membrana celular em função da adubação com as diferentes proporções de N-nitrato e N-amônio, verifica-se através do teste de comparação de médias (Figura 6B), que as plantas de gergelim adubadas com nitrato e amônio na proporção de 0:200 diferiram estatisticamente das plantas submetidas as demais relações $\text{NO}_3^-:\text{N-NH}_4^+$. Apesar de os resultados obtidos sob as proporções 200:0; 150:50; 100:100; 50:150 de $\text{N-NO}_3^-:\text{N-NH}_4^+$ não apresentarem diferença significativa entre si percebe-se que a menor %D foi observada nas plantas adubadas com 100:1000 $\text{NO}_3^-:\text{N-NH}_4^+$, denotando, com isto, que a presença de N na forma de nitrato atua na mitigação dos efeitos deletérios promovidos pelo excesso de amônio nas plantas. De acordo com Gronwald et al. (1993) a absorção do íon amônio em excesso contribui para promover o desequilíbrio eletroquímico no interior das células e do pH intracelular, o que estimula a extrusão de íons para o apoplasto. Além disto, provoca alteração nos balanços osmótico e hormonal das plantas e aumento na resistência ao fluxo de água, o que pode promover incremento no percentual de dano na membrana celular.

Verifica-se, na Figura 7A, que a interação (NS x PNA) afetou significativamente ($p < 0,01$) o teor de clorofila *a* do gergelim cv. CNPA G3. Ao analisar as distintas proporções em função da CEa, nota-se que a adubação com proporções de 200:0;

150:50; 100:100 mg kg⁻¹ de N-NO₃⁻:N-NH₄⁺ não influenciaram de forma significativa o teor de clorofila *a* do gergelim quando irrigadas com água de 0,6; 1,2 e 1,8 dSm⁻¹, respectivamente. Entretanto, houve diferenças significativas das distintas proporções de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ sobre o teor de clorofila *a* apenas quando as plantas foram submetidas aos maiores níveis de CEa (2,4 e 3,0 dS m⁻¹). Vê-se ainda (Figura 7A) que as maiores médias para o teor de clorofila *a* foram observadas quando as plantas foram submetidas à proporção de 200:0 mg kg⁻¹ de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ e CEa de 0,6 dS m⁻¹. Por outro lado, percebe-se que os menores valores foram alcançados nos níveis de CEa de 2,4 e 3,0 dSm⁻¹ e quando as plantas de gergelim receberam N apenas em forma amoniacal (0:200 mg kg⁻¹).



Médias com letras diferentes significa que os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey, p<0,05.

Figura 7. Teor de clorofila *a* das plantas de gergelim cv. CNPA G3, em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação – CEa e as diferentes proporções de N-nitrato e N-amônio (A), e teor de clorofila *b* (B) e carotenóides (C) em função da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa).

A diminuição no teor de clorofila *a*, nas plantas submetidas à salinidade da água, pode ser atribuída ao aumento da atividade da enzima clorofilase que degrada a clorofila, tendo em vista que o estresse salino induz a degradação de β -caroteno e a redução na formação de zeaxantina, produzindo diminuição no teor de carotenóides, pigmentos aparentemente envolvidos na proteção contra a fotoinibição (FREIRE et al., 2013). Tal redução ocorre como estratégia de aclimação das plantas em que a redução no gasto de energia, esqueletos de carbono e nutrientes necessários à síntese de clorofila pode favorecer outros processos fisiológicos (CHAVES et al., 2008).

Somado a isto, o estresse salino afeta enzimas que assimilam o NH_4^+ , o que resulta em um maior acúmulo deste íon nos tecidos vegetais, além do acúmulo oriundo da degradação de proteínas (LOBO et al., 2011) juntamente ao aplicado via fertilizantes o que, conseqüente, promove toxidez, alterações no pH celular e desbalanço iônico (ROCHA et al., 2014) promovendo uma maior intensidade dos efeitos deletérios do estresse salino sobre esta variável.

No que se refere à clorofila *b* (Figura 7B), observa-se, conforme equação de regressão, efeito linear e decrescente, com diminuição no teor de Cl *b* de 18,82% por incremento unitário da CEa, ou seja, quando foram submetidas a irrigação com CEa de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, as plantas apresentaram declínio equivalente de 50,93% em relação as que estavam submetidas ao menor nível de salinidade ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$). A diminuição no teor de clorofila *b* (Figura 7B) pode ser um indicativo de destruição da estrutura do cloroplasto e implica que, em níveis elevados de sais, a planta não conseguiu manter a integridade do seu aparato fotossintético, degradando a enzima clorofilase, o que leva a redução do conteúdo de clorofila (JAMIL et al., 2007). Cavalcante et al., (2011) verificaram que a elevação do teor salino das águas de 0,5 para $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ reduziu em 25,6% o conteúdo de clorofila *b* e que este aumento na salinidade da água reduziu em 12,6% os valores da relação entre clorofila *a* e *b* do maracujazeiro amarelo. Neves & Spat (2013) ao submeter genótipos de arroz a salinidade constataram percentuais de redução entre as concentrações extremas (25 e 150 mL de NaCl) de 48, 72 e 70% nos híbridos Tiba, BRS Talento e BRS Agrisul respectivamente

Observa-se, na Figura 7C, que a irrigação com água de diferentes salinidades promoveu decréscimos linear no teor de carotenóides das plantas de gergelim, sendo de 10,39% por incremento unitário dos níveis de salinidades da água de irrigação, e conforme equação nota-se que quando as plantas foram submetidas à irrigação com CEa de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, houve uma diminuição no teor de carotenóides de $0,86 \mu\text{m g}^{-1} \text{ MF}$ em

comparação com as que estavam sob CEa de 0,6 dS m⁻¹. A degradação ou inibição da síntese de carotenóides é uma das consequências das alterações no potencial osmótico-hídrico decorrente do excesso de sais presente na água e/ou solo, que promove à foto-oxidação, ocasionando danos nas membranas fotossintéticas, além de afetar outros processos celulares como a divisão e expansão celular (SILVA et al., 2014).

5.3.2 Trocas gasosas

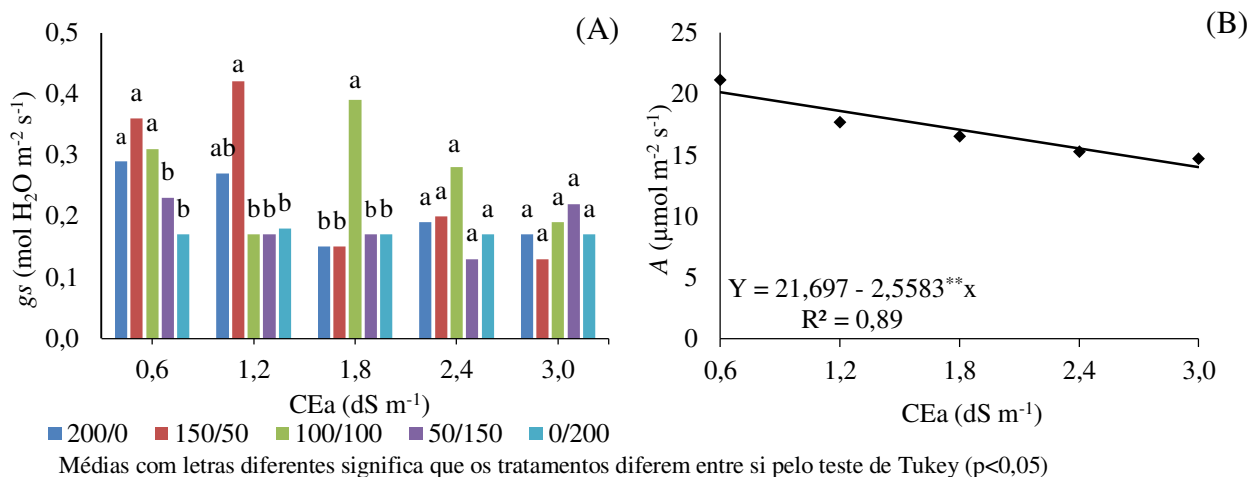
Conforme resumo do teste de F (Tabela 5), o fator níveis salinos afetou significativamente a taxa transpiratória, a eficiência instantânea de carboxilação (<0,01) e a condutância estomática e taxa de assimilação de CO₂ (p<0,05). As proporções de nitrato e amônio influenciaram de forma significativa a *gs* (p<0,05) e a *E* (p<0,01). Já a interação entre os fatores (NS x PNA), proporcionou efeito significativo (p<0,05) apenas para a *gs* e a concentração interna de CO₂ (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo do teste de F para condutância estomática (*gs*), taxa de assimilação de CO₂ (*A*), taxa transpiratória (*E*) e concentração interna de CO₂ (*Ci*) de plantas de gergelim irrigadas com águas salinas e adubadas com diferentes proporções de nitrato e amônio.

Fontes de variação	Teste de F			
	<i>gs</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>Ci</i>
Níveis salinos (NS)	*	*	**	ns
Reg. linear	**	**	**	-
Reg. quadrática	ns	ns	ns	-
Nitrato e amônio (PNA)	*	ns	**	ns
Interação (NS x PNA)	*	ns	ns	*
Blocos	ns	ns	*	ns
CV (%)	19,88	14,47	15,92	18,63

ns, **, * respectivamente não significativo, significativo a p<0,01 e p<0,05;

Com base na Figura 8, observa-se que a interação entre os fatores salinidade da água de irrigação e as proporções de NO₃⁻ e NH₄⁺ interferiu significativamente na condutância estomática das plantas de gergelim quando estas foram irrigadas com águas de CEa de 0,6; 1,2 e 1,8 dS m⁻¹, sendo os maiores valores obtidos quando as plantas de gergelim receberam adubação com proporção de NO₃⁻:NH₄⁺ de 150:50 para as CEa de 0,6 e 1,2 dSm⁻¹ e de 100:100 mg kg⁻¹ sob irrigação com água de 1,8 dSm⁻¹, indicando que o NH₄⁺ como única fonte de N influencia negativamente esta variável.



Médias com letras diferentes significa que os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Figura 8. Condutância estomática – g_s de gergelim cv. CNPA G3 em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação - CEa e as diferentes proporções de nitrato e amônio (A) e taxa de assimilação de CO_2 - A em função da CEa (B).

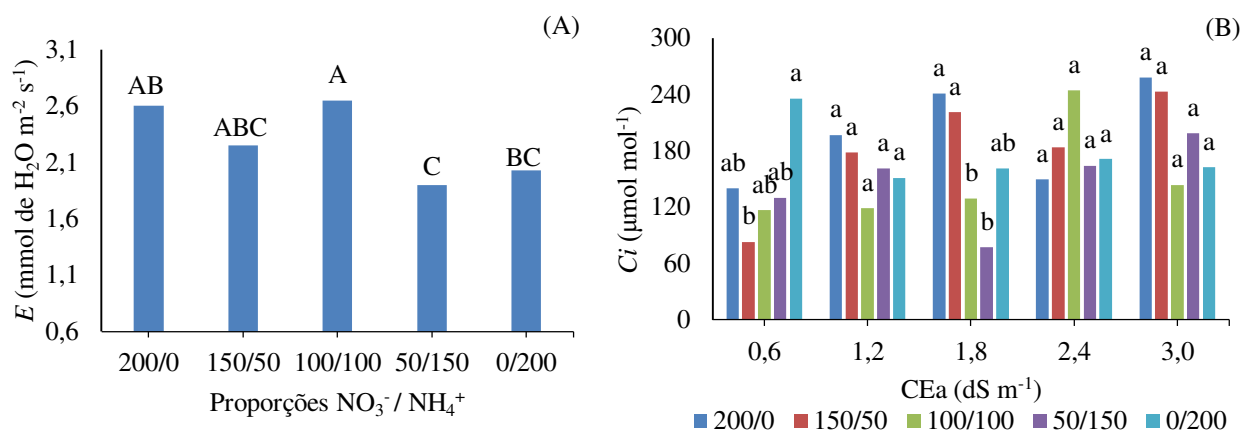
Lopes & Araus (2006) afirmam que a razão pela qual íons NH_4^+ reduzem a g_s ainda não está completamente elucidada e que esta redução pode ocorrer em função de vários fatores simultâneos, como por exemplo, a redução da concentração foliar de potássio citada por Britto & Kronzucker (2002), o qual é importante para o funcionamento normal dos estômatos. O fechamento estomático também pode ser consequência do menor potencial hídrico foliar que essas plantas possam apresentar devido a salinidade da água de irrigação a qual estas foram submetidas.

Em contra partida o incremento da g_s das folhas do gergelim quando as plantas foram submetidas às combinações 150:50 $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ e irrigação com águas de 0,6 e 1,2 dS m^{-1} bem como 100:100 $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ e irrigadas com águas de elevada CE (1,8 e 2,4 dS m^{-1}) demonstra a importância da adequada proporção entre as fontes de N (nitrato e amoniacal) como agente mitigador do estresse promovido pela salinidade. Além disto, estes dados indicam uma preferência da cultura em questão pela absorção de N em maior proporção na forma nitrato. Esta preferência deve-se aos efeitos benéficos da fertilização com N na forma nitrato, visto que além deste nutriente favorecer a síntese de osmólitos na planta trabalhos desenvolvidos por Kaya et al. (2007) e Furtado et al. (2012) mostram que a aplicação de nitrato de cálcio como fonte de N ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) tem proporcionado redução nos efeitos deletérios do estresse salino devido à incrementos na relação K/Na, Ca/Na foliar e na absorção de N pelas plantas.

O fator salinidade da água de irrigação afetou negativamente a taxa de assimilação de CO₂ (*A*), sendo que os dados se ajustaram ao modelo linear onde se percebe redução de 11,79% por aumento unitário da CEa (Figura 8B) o que representa uma perda de 6,14 μmol m⁻² s⁻¹ nas plantas irrigadas com água de 3,0 dS m⁻¹ em comparação com as plantas irrigadas com água não salina (0,6 dS m⁻¹). Essa redução na taxa fotossintética deve-se à diminuição na quantidade de água absorvida e CO₂ fixado pela planta em função do fechamento estomático em razão da diminuição no potencial osmótico do solo decorrente do aumento da CEa de irrigação pois, de acordo com Kerbauy (2008) a água e o CO₂ são dois dos principais fatores limitantes da fotossíntese, ressaltando que a maior resistência difusiva dos estômatos, reduz a fotossíntese, principalmente pela restrição da condução gasosa da folha.

Verifica-se através do teste de comparação de médias (Figura 9A) que transpiração das plantas de gergelim cultivadas com as proporções de 200:0; 150:50; e 100:100 mg kg⁻¹ de NO₃⁻:NH₄⁺ não diferiram estatisticamente entre si (*p*>0,05), contudo, o maior valor para esta variável foi alcançado sob a adubação de 100:100 mg kg⁻¹ NO₃⁻:NH₄⁺ e, a partir desta proporção conforme se aumentou a dose de NH₄⁺ como fonte de N para 50:150 e 0:200 constatou-se redução da taxa transpiratória. Observa-se ainda (Figura 9A) que as proporções de 50:150 e 0:200 mg kg⁻¹ de NO₃⁻:NH₄⁺ promoveram os menores valores para *E* (1,89 e 2,02 mmol de H₂O m⁻² s⁻¹), evidenciando assim o efeito negativo do excesso de amônio fornecido como única fonte de N, e que o adequado balanço entre as fontes nítrica e amoniacal pode promover o melhor desenvolvimento desta cultura.

Conforme Bittsánszky et al. (2015) essa redução na *E* ocorre, provavelmente, devido ao excesso de amônio, acidificar o pH intracelular promovendo desequilíbrio osmótico, com consequente aumento no conteúdo de espécies reativas de oxigênio, induzindo o estresse oxidativo, o que resulta em alterações fisiológicas. Em contrapartida Hachiya et al. (2012) relata que apesar da redução de NO₃⁻ para NH₄⁺ consumir grandes quantidades de equivalentes redutores esse processo tem um papel funcional na manutenção da homeostase redox no citosol, evitando a produção de espécies reativas de oxigênio.



Médias com letras diferentes significa que os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 9. Transpiração foliar - E do gergelim cv. CNPA G3 em função das distintas proporções de nitrato e amônio (A) e concentração interna de CO₂- C_i em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação - CEa e as diferentes proporções de nitrato e amônio (B).

A concentração interna de CO₂ foi influenciada pela interação entre os fatores em estudo (NS x PNA) e conforme comparação do teste de média (Figura 9B) as proporções de nitrato e amônio só influenciaram essa variável quando as plantas foram submetidas à irrigação com água de condutividade elétrica igual a 0,6 e 1,8 dS m⁻¹, de modo que sob irrigação com água de menor salinidade (0,6 dS m⁻¹) a maior concentração de CO₂ foi obtida quando usou-se unicamente o amônio como fonte de N (0:200 mg kg⁻¹ de NO₃⁻ e NH₄⁺) sendo este, resultado dos efeitos adversos do excesso da nutrição com amônio em plantas, pois segundo Guo et al. (2012) este cátion causa fechamento estomático, o que resulta em inibição da taxa de assimilação de CO₂. Nota-se ainda que a maior concentração interna de CO₂ foi observada nas plantas irrigadas com água de maior nível de salinidade (3,0 dS m⁻¹), o que de acordo com Freire et al. (2014) indica que o CO₂ não está sendo utilizado para a síntese de açúcares durante a fotossíntese, com conseqüente acúmulo deste gás, sugerindo a interferência de algum fator nesse processo, fato este confirmado a partir da análise da taxa de assimilação de CO₂ a qual neste estudo apresentou redução nas plantas irrigadas com água de maior nível de CEa (Figura 8B).

5.3.3 Eficiência fotoquímica

Analisando a Tabela 6, observa-se efeito significativo da CEa sobre a fluorescência variável e rendimento quântico potencial ($p < 0,01$). A fluorescência inicial e Fv/Fm nas plantas submetidas a diferentes proporções nitrato/amônio foram afetadas

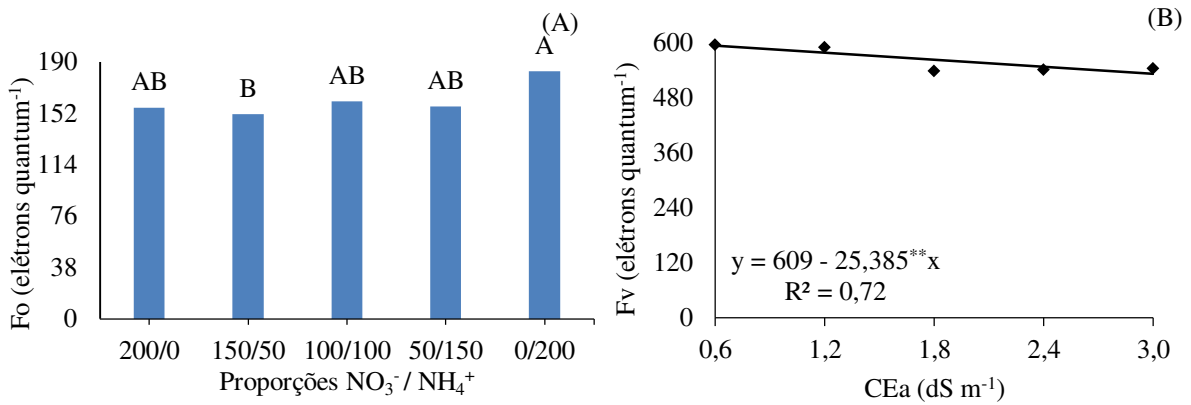
significativamente ($p < 0,01$) e a interação dos fatores estudados promoveu influencia significava ($p < 0,05$) apenas sobre a Fv/Fm.

Tabela 6. Resumo do teste de F para fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) de plantas de gergelim irrigadas com águas salinas e adubadas com diferentes proporções de nitrato e amônio.

Fontes de variação	Teste de F			
	Fo	Fm	Fv	Fv/Fm
Níveis salinos (NS)	ns	ns	**	**
Reg. linear	-	-	**	**
Reg. quadrática	-	-	ns	ns
Nitrato e amônio (PNA)	**	ns	ns	**
Interação (S x PNA)	ns	ns	ns	*
Blocos	ns	ns	ns	**
CV (%)	14,61	7,42	9,64	8,65

ns, **, * respectivamente não significativo, significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$;

Com base no teste de comparação de médias (Figura 10A) constata-se aumento expressivo da fluorescência inicial quando as plantas foram adubadas unicamente com o amônio (0:200 mg kg⁻¹ de nitrato e amônio) e que o menor valor para esta variável (151,27 elétrons quantum⁻¹) foi obtido quando as plantas foram submetidas a adubação com 150:50 de NO₃⁻:NH₄⁺o que representa uma redução de 17,31% em relação àquelas adubadas com 0:200 mg kg⁻¹ de nitrato:amônio. Baker & Rosenqvist (2004) afirmam que aumento na Fo pode ocorrer, quando há dano no centro de reação do fotossistema II, ou por uma redução na transferência de energia de excitação do sistema coletor de luz para o centro de reação. Essa afirmação sugere que o excesso de amônio tenha promovido dano ao centro de reação do PSII ou depleção na transferência de energia de excitação, possivelmente devido às mudanças bioquímicas e fisiológicas na planta causadas por este cátion, como: alterações no pH intracelular, no equilíbrio osmótico, no metabolismo de hormônios (LI et al., 2014), aumenta o conteúdo de O₂⁻ e H₂O₂, podendo causar estresse oxidativo, redução dos teores de clorofila e de carotenóides (WANG et al., 2010).



Médias com letras diferentes significa que os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

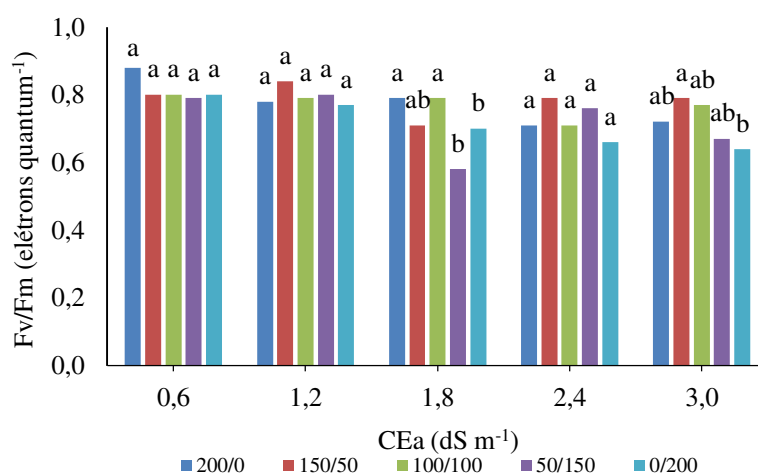
Figura 10. Fluorescência inicial - Fo do gergelim cv. CNPA G3 em função das distintas proporções de nitrato e amônio (A) e fluorescência variável – Fv em função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (B).

A fluorescência variável (Fv) do gergelim cv. CNPA G3 foi influenciada negativamente pelos níveis de salinidade da água de irrigação e, conforme equação de regressão (Figura 10B), houve uma diminuição linear da Fv de 4,17% por incremento unitário da CEa, ou seja, as plantas irrigadas com 3,0 dSm⁻¹ tiveram uma redução de 60,92 elétrons quantum⁻¹ em relação as que estavam sob irrigação com água de 0,6 dS m⁻¹, prejudicando, com isto, a atividade fotoquímica nas folhas, pois maior Fv reflete a capacidade da planta em transferir a energia dos elétrons ejetados das moléculas dos pigmentos para a formação do redutor NADPH, ATP e ferredoxina reduzida (Fdr) e, conseqüentemente, maior a capacidade de assimilação do CO₂ na fase bioquímica da fotossíntese (BAKER, 2008).

A eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) também foi influenciada pela interação dos fatores – NS x PNA (Tabela 6) de modo que as diferentes proporções de nitrato e amônio promoveram efeito significativo sobre esta variável somente quando as plantas foram irrigadas com água de 1,8 e 3,0 dS m⁻¹. Ao analisar a Figura 11 nota-se que nas plantas cultivadas sob irrigação com água de CE igual a 1,8 e 3,0 dS m⁻¹ o aumento na proporção de NH₄⁺ em detrimento do NO₃⁻ promoveu redução na Fv/Fm, ou seja, sob adubação com 50:150 e 0:200 mg kg⁻¹ de NO₃⁻:NH₄⁺ as plantas de gergelim irrigadas com águas de salinidade de 1,8 e 3,0 dS m⁻¹ apresentaram resultados inferiores de Fv/Fm quando comparadas as plantas adubadas com proporções de 200:0; 150:50 e 100:100 NO₃⁻:NH₄⁺, reafirmando o efeito negativa do NH₄⁺ como única fonte de N em plantas de gergelim cv. CNPA G3, assim como observado anteriormente para a gs (Figura 8A) e para E (Figura 9A), o que permite inferir que a adequada relação NH₄⁺ e

NO_3^- pode ser atribuída como fator mitigador no estresse salino e por excesso de NH_4^+ nas plantas.

Com relação as plantas cultivadas sob irrigação com água de CEa igual a 1,8 dS m^{-1} vê-se que o aumento na proporção de NH_4^+ em detrimento do NO_3^- promoveu redução na Fv/Fm de 0,79 (plantas sob 100:100 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$) para 0,58 (nas plantas sob 50:150 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$). Ao analisar a Fv/Fm das plantas irrigadas com água de 3,0 dS m^{-1} , verifica-se que a maior Fv/Fm (0,79) foi verificada nas plantas adubadas com 150:50 mg kg^{-1} de nitrato e amônio, e que o menor valor de Fv/Fm (0,64) foi constatada nas plantas submetidas unicamente ao amônio (0:200 $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$) o que representa redução de 20% da Fv/Fm em relação aquelas submetidas proporção 150:50.



Médias com letras diferentes significa que os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Figura 11. Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) do gergelim cv. CNPA G3 em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação - CEa e diferentes proporções de nitrato e amônio

Cruz et al., (2014) afirmam que a Fv/Fm é utilizada como indicativo de avaliação do funcionamento do fotossistema II e que este pode variar entre 0,75 e 0,85 elétrons quantum⁻¹ em plantas não submetidas a estresse, sendo considerado para a maioria das espécies, entre 0,78 e 0,83 como indicativo da integridade o sistema. Maxwell & Johnson (2000) comentam que valores menores que esses indicam fotoinibição. Assim, os valores obtidos (0,79 elétrons quantum⁻¹) nas plantas irrigadas com água de 1,8 e 3,0 dS m^{-1} sob a combinação de 100:100 e 150:100 $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ respectivamente sugerem que, sob estas condições, as plantas de gergelim mantiveram o seu aparato fotossintético intacto. Estes resultados reforçam, ainda, a importância do fornecimento de N-nítrico associado ao N-amoniaco afim de aplacar os efeitos negativos causados pelo excesso de

amônio bem como estresse salino pois, em plantas irrigadas com NaCl ocorre competição dos íons Cl⁻ com os transportadores de NO₃⁻ (OGAWA, et al., 2000; LOBO et al., 2011) assim o aumento no fornecimento de nitrato pode reduzir, por competição, a absorção e conseqüentemente conteúdo do íon Cl⁻ nos tecidos vegetais reduzindo, assim, seus efeitos tóxicos às plantas.

Já os baixos valores da Fv/Fm constatados neste estudo (Figura 11) sugerem que o fotossistema II (P680) teve alterações em decorrência do estresse proporcionado pela irrigação com águas salinas e excesso de amônio. Essa diminuição na Fv/Fm ocorre como resultado da redução da fração dos centros de reação do PSII (BAKER & ROSENQVIST, 2004). Além disso, Baker (2008) afirma que reduções da Fv/Fm ocorrem quando as plantas são expostas a estresses abióticos bem como quando submetidas a estresse-induzido, como a salinidade da água de irrigação e excesso de amônio como ocorrido neste estudo.

5.4 Componentes de produção, consumo hídrico e eficiência do uso da água

Constata-se através do resumo da análise do teste de F (Tabela 7) haver efeito significativo dos níveis de salinidade da água de irrigação sobre todas as variáveis estudadas (p<0,01). Em relação às proporções de N-nitrato e N-amônio, observa-se a ocorrência de efeito significativo sobre o consumo hídrico, eficiência no uso da água, número total de frutos (p<0,05) e a massa de sementes (p<0,01). A interação entre os fatores (NS x PNA) promoveu efeito significativo (p<0,05) para EUA, MSem e número de sementes.

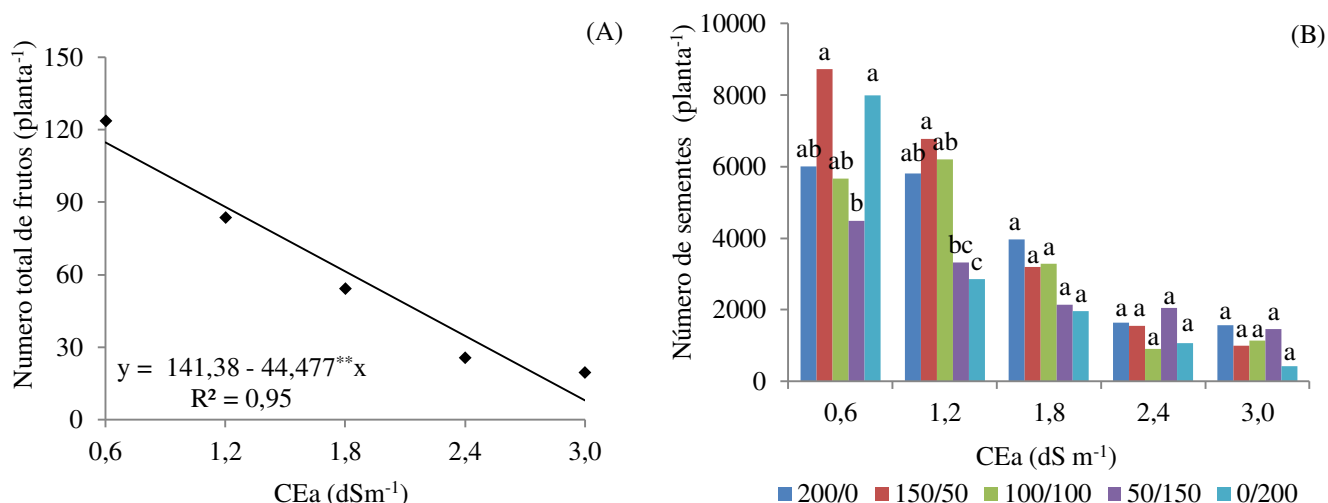
Tabela 7. Resumo do teste de F para número total de frutos (NTF), número de sementes (NS), massa de sementes (MSem), massa de cem sementes (MCS), consumo hídrico (CH) e eficiência no uso da água (EUA) de plantas de gergelim cv. CNPA G3 irrigadas com águas salinas e adubadas com diferentes proporções de N-nitrato e N-amônio.

Fontes de Variação	Teste de F					
	NTF	NS ¹	MSem	MCS	CH	EUA ¹
Níveis salinos (NS)	**	**	**	**	**	**
Reg. linear	**	**	**	**	**	**
Reg. quadrática	ns	*	**	ns	ns	ns
N-nitrato e N-amônio (PNA)	ns	*	**	*	*	*
Interação (S x PNA)	ns	*	*	ns	ns	*
Blocos	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	18,37	10,33	12,87	13,67	2,58	22,94

ns, **, *Não significativo e significativo a p < 0,01 e p < 0,05, respectivamente;

¹Análise estatística realizada após transformação de dados em \sqrt{x} .

O número total de frutos por plantas de gergelim diminuiu linearmente com o aumento da CEa, apresentando redução de 31,45% por aumento unitário da condutividade elétrica da água (Figura 12A). Analisando-se o comportamento desta característica, nota-se decréscimo de 93,06% (106,74 frutos por planta) entre o menor (CEa = 0,6 dS m⁻¹) e maior (CEa = 3,0 dS m⁻¹) nível de salinidade da água de irrigação, podendo-se inferir que o aumento da salinidade da água interfere diretamente no número de frutos e como consequente a massa de sementes. Conforme Santos et al. (2012) essa tendência pode ser atribuída ao fato da planta, com intuito de ajustar-se osmoticamente, desprende de uma determinada quantidade de energia para acumulação de açúcares, ácidos orgânicos e íons no vacúolo, energia essa, que poderia ter sido utilizada no crescimento e produção das plantas. Nobre et al. (2013) relatam ainda que, os estresses provocados pelo excesso de íons, em geral, diminuem a assimilação de CO₂, condutância estomática, transpiração e fotossíntese das plantas e, consequentemente, acabam por reduzir a produção das culturas.



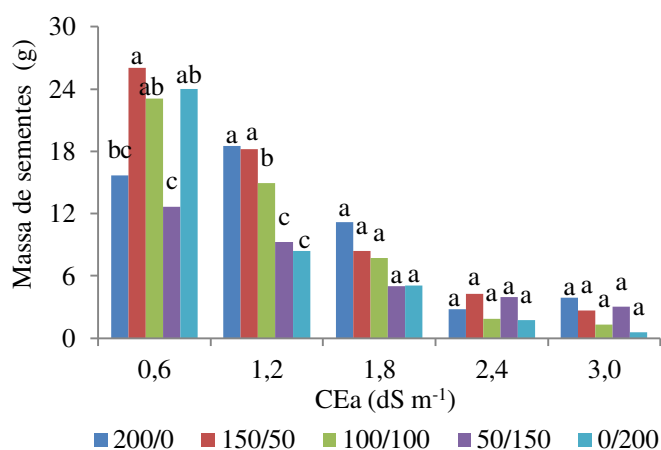
Médias com letras diferentes significa que os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 12. Número total de frutos por planta (A) em função da salinidade da água de irrigação e número de sementes (NS) do gergelim cv. CNPA G3 (B) em função da interação entre a salinidade da água de irrigação e diferentes proporções de nitrato amônio.

Por desdobramento do efeito da condutividade elétrica da água de irrigação e das diferentes proporções de N-nitrato e N-amônio (Figura 12B) observa-se que o estresse salino no nível maior, reduziu o número de sementes em relação às plantas irrigadas com o menor nível de CEa (0,6 dSm⁻¹), sendo constatada redução de 83,11%, equivalente a uma diminuição de 6572,8 para 1109,8 sementes planta⁻¹. Destaca-se

ainda, na Figura 12B, diferenças entre as proporções de N-nitrato e N-amônio apenas nos menores níveis salinos (0,6 e 1,2 dS m⁻¹); com essas salinidades, a adubação com a proporção de 150:50 mg kg⁻¹ de N-NO₃⁻:N-NH₄⁺ proporcionou o maior número de sementes (8719 e 6779 sementes por planta, respectivamente). De acordo com Andrade et al. (2001), quando são oferecidas ambas as fontes de nitrogênio (NH₄⁺ e NO₃⁻), a atividade da enzima redutase do nitrato é aumentada significativamente, indicando certa ação estimulatória do íon amônio na atividade da enzima, fato que justifica o maior número de sementes (Figura 12B) ter sido obtido na proporção de 150:50 mg kg⁻¹ de N-NO₃⁻:N-NH₄⁺.

A interação entre os fatores estudados (salinidade da água de irrigação e proporções nitrato/amônio) influenciaram de forma significativa a massa de sementes, reforçando o fato de que os fatores em estudo não atuam apenas isoladamente sobre estas variáveis. Observa-se (Figura 13) que, quando as plantas de gergelim foram submetidas às diferentes proporções de nitrato/amônio ocorreu diferença significativa somente quando estas foram irrigadas com águas de menor salinidade (0,6 e 1,2 dS m⁻¹), já quando estas foram submetidas a irrigação com águas de 1,8; 2,4 e 3,0 dS m⁻¹ independentemente da proporção NO₃⁻:NH₄⁺ aplicada no meio não se constatou efeito significativo (p > 0,05) desta interação sobre MSem.



Médias com letras diferentes significa que os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey, p < 0,05.

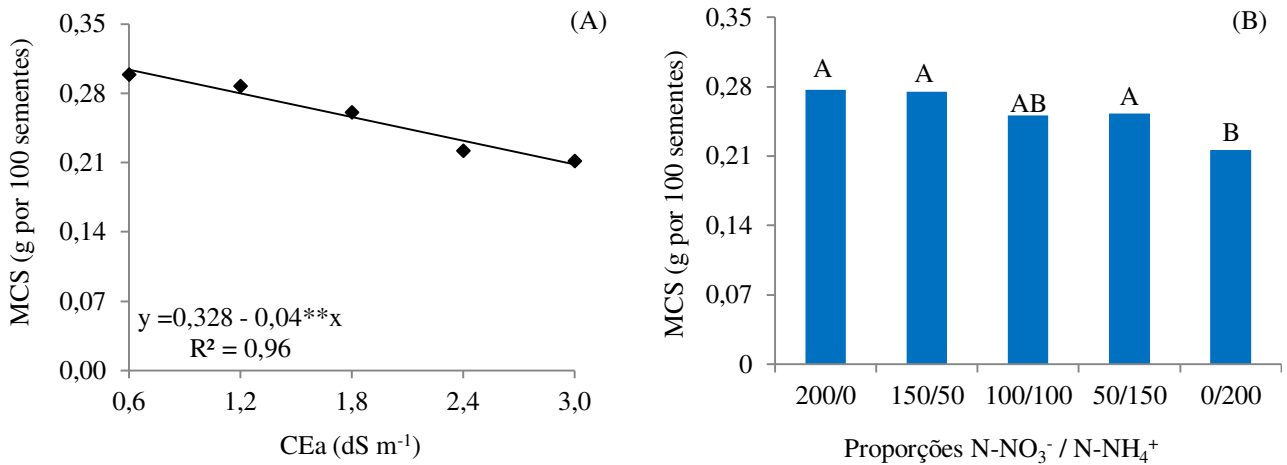
Figura 13. Massa de sementes do gergelim cv. CNPA G3 em função da interação entre a salinidade da água de irrigação e diferentes proporções de nitrato amônio.

Verifica-se que os maiores valores para massa de sementes (26,04 g) foram obtidos nas plantas de gergelim irrigadas com nível de CEa de 0,6 dS m⁻¹ e adubadas com a proporção 150:50 mg kg⁻¹ de nitrato/amônio. Por outro lado, nota-se que apesar

de não ter ocorrido influência significativa sobre esta variável as plantas submetidas a CEa de 3,0 dS m⁻¹ e sob adubação com proporções de maior quantidade de amônio, obtiveram a menor MSem (0,55 g por planta⁻¹). Assim pelos resultados (Figura 13), nota-se que a medida que se elevaram os níveis de CEa, a dosagem de amônio acima da relação 100:100 mg kg⁻¹ de NO₃⁻:NH₄⁺, intensificou os efeitos deletérios sobre a produção das plantas, sendo um indicativo de que o gergelim absorve mais nitrogênio na forma de nitrato.

BORGOGNONE et al., (2013) estudando o efeito de quatro proporções nitrato/amônio no cultivo hidropônico de tomate em casa de vegetação constatou redução linear da massa de frutos em resposta ao aumento de NH₄⁺ na solução nutritiva em relação ao nitrato, obtendo a menor (51,6 g planta⁻¹) e a maior (100,5 g planta⁻¹) massa de frutos nas plantas submetidas a 30:70 e 70:30 NO₃⁻:NH₄⁺ (23 mM de N), respectivamente. Ribeiro et al. (2012) atribui esta redução a restrições no fluxo de água da planta, por efeito da salinidade causada pelo íon amônio, o que segundo Silva et al. (2011) promove redução na atividade da enzima nitrato redutase.

O incremento dos níveis de CEa reduziu linearmente a massa de cem sementes das plantas de gergelim cv. CNPA G3, e conforme o modelo de regressão (Figura 14A), houve declínio na MCS de 12,19% para cada aumento unitário da CEa, ou seja, quando submeteram as plantas de gergelim a irrigação com água de 3,0 dS m⁻¹, houve uma diminuição na MCS de 0,09 g por 100 sementes (31,57%), quando comparadas às que estavam sendo irrigadas com água de 0,6 dS m⁻¹. A diminuição na MCS é justificada pelo o fato de que o aumento da salinidade da água causou expressivo prejuízo no crescimento do gergelim, observado pelo declínio na altura de plantas (Figura 2A) e no diâmetro de caule (Figura 2B), reduzindo, posteriormente, a massa de cem sementes e, conseqüentemente, a produção final de sementes. Neste sentido, Assis Júnior et al. (2007) relatam que a redução na produção das plantas sob salinidade ocorre devido a defasagens na taxa de assimilação líquida de carbono, associadas aos efeitos osmóticos e ao acúmulo de íons potencialmente tóxicos (Na⁺ e Cl⁻) nos tecidos foliares.



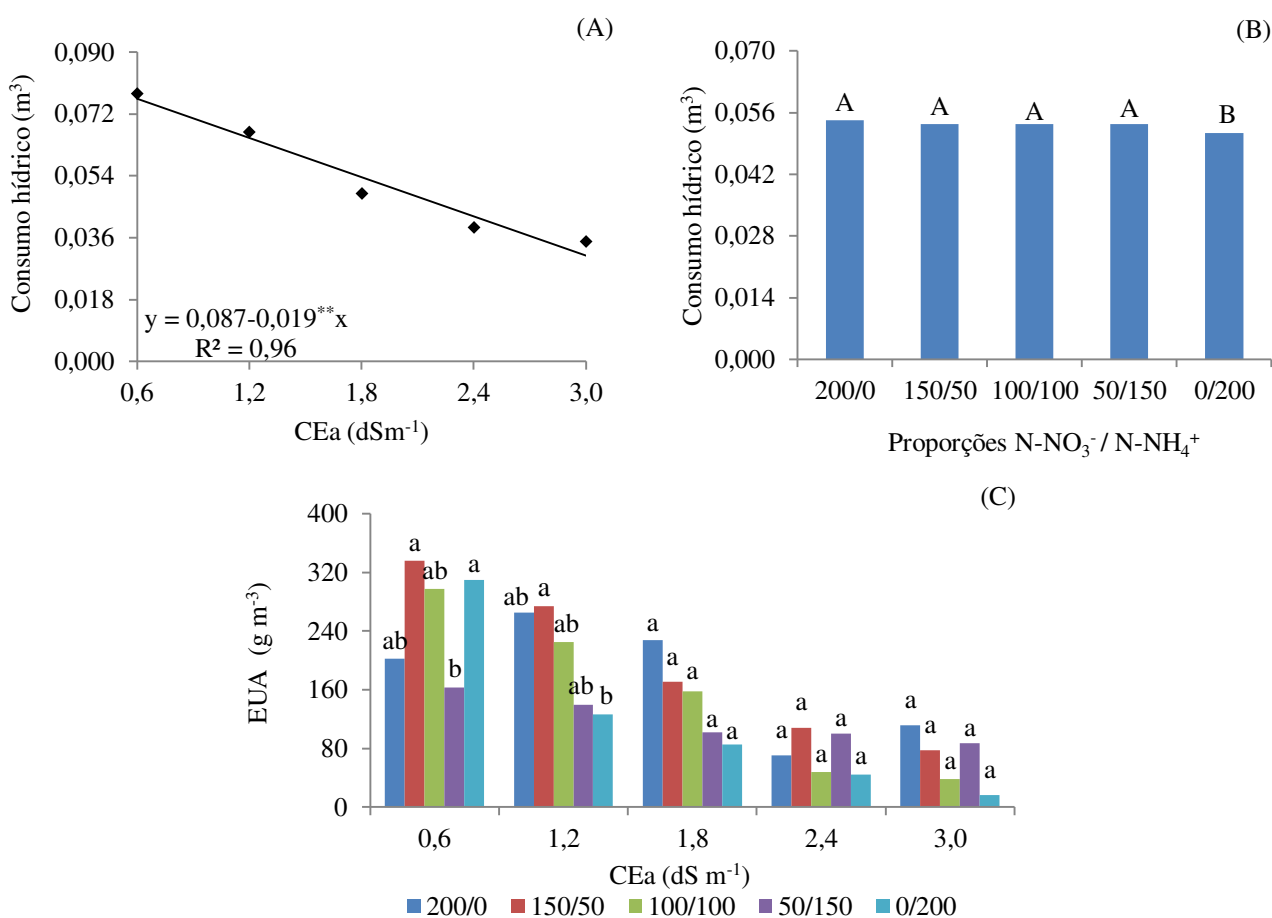
Médias com letras diferentes significa que os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 14. Massa de cem sementes (MCS) das plantas de gergelim cv. CNPA G3, em função da condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (A) e das diferentes proporções de N-nitrato e N-amônio (B)

A massa de cem sementes do gergelim cv. CNPA G3 variou significativamente em função das diferentes proporções de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ utilizadas e pelo o teste de comparação de médias (Figura 14B) constata-se que a MCS foi significativamente superior nas plantas submetidas à adubação com 200:0; 150:50; 50:150 de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺, tendo-se obtido o valor médio de 0,277; 0,275 e 0,251 g por 100 sementes, respectivamente, diferenciando-se estatisticamente apenas das plantas que receberam 200:0 (0,215 g por 100 sementes). Quando se analisa as distintas proporções de nitrato e amônio (Figura 14B), é possível observar levando em consideração os valores absolutos da MCS produzidas por planta, a diferença entre o tratamento com maior (200:0) e menor (0:200) proporção de nitrato e amônio, massa de cem sementes do gergelim, foi da ordem de 22,38% (0,062 g por 100 sementes). Deste modo, fica evidenciada a importância da adubação níttrica na produção do gergelim cv. CNPA G3. Por outro lado, esse efeito do amônio (N-NH₄⁺) sobre a massa de cem sementes tem sido relacionado à necessidade de utilização dos carboidratos produzidos prioritariamente para a rápida assimilação do amônio absorvido, com intuito a evitar sua acumulação e consequentes problemas de toxicidade, por conseguinte afetou a produção (CRUZ et al., 2008).

O consumo hídrico (CH) das plantas de gergelim decresceu linearmente com o aumento da salinidade da água de irrigação e, baseando-se na equação de regressão (Figura 15A) verifica-se diminuição na ordem de 21,83% por aumento unitário da CEa, ou seja, redução de 59,68% no CH, em plantas irrigadas com a água de maior (3,0 dS m⁻¹

¹⁾ em relação às de menor nível salino (0,6 dS m⁻¹). O declínio no consumo hídrico das plantas em condições salinas pode estar associado ao fato de que a presença dos sais na rizosfera restringe o fluxo de água e diminui sua absorção em virtude do efeito osmótico, induzindo um estresse hídrico (MUNNS & TESTER, 2008). Resultados neste sentido também foram encontrados por Nobre et al. (2014) ao avaliar o consumo hídrico pela mamoneira cv. BRS Energia, submetida à irrigação com águas salinas constataram que houve decréscimo linear na ordem de 11,31% por aumento unitário da condutividade elétrica da água.



Médias com letras diferentes significam que os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 15. Consumo hídrico – CH do gergelim cv. CNPA G3 em função da condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (A) e das proporções de N-nitrato e N-amônio (B) e eficiência no uso da água – EUA (C), em função da interação entre os fatores condutividade elétrica da água de irrigação e proporções de N-nitrato e N-amônio.

Para o fator proporções de N-nitrato e N-amônio verifica-se, através do teste de comparação de médias (Figura 15B) que o consumo hídrico das plantas de gergelim

adubadas com 0:200 mg diferiram de forma significativa ($p < 0,05$) das demais proporções de N-NO_3^- e N-NH_4^+ . Na comparação entre os dados obtidos nas distintas proporções de N-NO_3^- e N-NH_4^+ , percebe-se o menor consumo hídrico ($0,051 \text{ m}^3$) foi obtido nas plantas submetidas à proporção de 0:200 mg kg^{-1} de N-NO_3^- - N-NH_4^+ e, portanto, significativamente inferior às dos demais tratamentos. Deste modo, o menor consumo hídrico das plantas de gergelim cultivadas exclusivamente com amônio tem sido relacionado à alteração negativa provocada no potencial hídrico intracelular em função da maior resistência ao fluxo de água nas raízes, decorrente de redução no potencial osmótico e produção hormonal das plantas (CRUZ et al., 2008).

A eficiência do uso da água (EUA) em função das proporções de N-nitrato e N-amônio em cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 15C) variou apenas entre as plantas irrigadas com águas de 0,6 e 1,2 dS m^{-1} sendo a proporção N-nitrato e N-amônio 150:50 mg kg^{-1} de N-NO_3^- e N-NH_4^+ com os maiores valores obtidos para EUA de 335,39 e 273,94 g m^{-3} , respectivamente, diferindo significativamente apenas da proporção 0:200 mg kg^{-1} . Em baixas concentrações de amônio muitas vezes ocorre um aumento na absorção de nitrato o qual resulta em maior crescimento das plantas, mas por outro lado, concentrações mais elevadas normalmente inibem o crescimento refletindo-se em perdas de produção das culturas (CÁRDENAS-NAVARRO et al., 2006). Quando as proporções de N-nitrato e N-amônio foram associadas ao maior nível de salinidade (CEa de 3,0 dS m^{-1}) as menores eficiências do uso da água foram notadas com decréscimos relativos de 44,71; 76,99; 87,18; 46,84 e 94,83% para cada proporção de N-NO_3^- e N-NH_4^+ de 200:0, 150:50, 100:100, 50:150, 0:200 mg kg^{-1} , respectivamente, quando comparadas a menor salinidade da água de irrigação (0,6 dS m^{-1}).

No desdobramento do fator níveis salinos dentro das proporções de N-NO_3^- e N-NH_4^+ , observou-se efeito significativo para EUA do gergelim apenas para as plantas irrigadas com níveis de CEa de 1,2 dS m^{-1} ($y = 288,11 - 5,85^{**}x - 5,8771^*x^2$ $R^2 = 0,91$) e 1,8 dS m^{-1} ($y = 288,4 - 67,941^{**}x + 6,2633^*x^2$ $R^2 = 0,95$); nessas equações o x varia de 1 a 5 representando as proporções de N-NO_3^- e N-NH_4^+ de 200:0, 150:50, 100:100, 50:150 e 0:200 mg kg^{-1} , respectivamente. Apesar da irrigação, com níveis de CEa de 0,6, 2,4 e 3,0 dS m^{-1} não ter interferido de forma significativa sobre a EUA do gergelim quando associada às distintas proporções de N, obteve-se o valor médio de 261,46; 74,23 e 65,95 g m^{-3} .

6 CONCLUSÕES

A irrigação com água de salinidade superior a $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ promove efeito negativo sobre a emergência, o crescimento, as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a* e componentes de produção do gergelim cv. CNPA G3, sendo o número de sementes a variável mais prejudicada.

A adubação com $200:0 \text{ mg kg}^{-1} \text{ N-NO}_3^-:\text{N-NH}_4^+$ proporciona maior crescimento em diâmetro de caule, altura de plantas, taxa de crescimento relativo para altura de plantas e diâmetro do caule, maior número de folhas e maior eficiência quântica do fotossistema II do gergelim do gergelim cv. CNPA G3.

A adubação com nitrogênio na forma amoniacal ($0:200 \text{ mg kg}^{-1} \text{ NO}_3^-:\text{NH}_4^+$) promove aumento na concentração interna de CO_2 e percentagem de dano celular, além de efeito deletério sobre a condutância estomática, consumo hídrico, transpiração foliar e a eficiência quântica do fotossistema II do gergelim.

O número de sementes, massa de sementes, massa de cem sementes, uso eficiente da água e produção são influenciados pelas proporções nitrato:amônio, alcançando os maiores valores sob adubação com $150:50 \text{ mg kg}^{-1}$ de N-NO_3^- e N-NH_4^+ e irrigação com água de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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**, v.2, n.10, p.309-313, 2012.
- ADLER, P. R.; WILCOX, G. E.; MARKHART, A. H. Ammonium decreases muskmelon root system hydraulic conductivity. **Journal of Plant Nutrition**, v.19, n. 10-11, p.1395–1403, 1996.
- ALI, A.; SIVAKAMI, S.; RAGHURAM, N. Effect of nitrate, nitrite, glutamate, glutamine and 2- oxoglutarate on RNA, levels and enzyme activities of nitrate reductase and nitrite reductase in rice. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.13, n.1, p.17-25, 2007.
- ALMEIDA, O. A. Qualidade da água de irrigação, 1. ed. Cruz das Almas: Embrapa-Mandioca e Fruticultura, 2010. 234 p.
- ALVES, M. S.; SOARES, T. M.; SILVA, L. T.; FERNANDES, J. P.; OLIVEIRA, M. L. A.; PAZ, V. P. S. Estratégias de uso de água salobra na produção de alface em hidroponia NFT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.491-498, 2011.
- AMABILE, R. F.; FARIAS NETO, A. L.; SPEHAR, C. R.; ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. M. CNPA G3: nova opção de gergelim para a região do Distrito Federal. EMBRAPA Cerrados, Planaltina. 2001. 3p. (Comunicado Técnico, 43).
- ANDRADE, S. R. M.; SANT'ANNA, R.; CAMBRAIA, J.; MOSQUIM, P. R. Efeito da proporção de $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ na distribuição de nitrato e na atividade in vitro da redutase do nitrato em plantas de *Panicum maximum*. Planaltina. Embrapa Cerrados. 2001. 16p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 12).
- ARAÚJO, A. C. D.; ALOUFA, M. A. I.; SILVA, A. J. N.; COSTA, A. A.; SANTOS, I. S. Análise não destrutiva de crescimento do gergelim consorciado com feijão caupi em sistema orgânico de cultivo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.9, n.1, p.259-268, 2014.

ARAÚJO, J. L.; FAQUIN, V.; VIEIRA, N. M. B.; OLIVEIRA, M. V. C.; SOARES, A. A.; RODRIGUES, C. R.; MESQUITA, A. C. Crescimento e produção de arroz sob diferentes proporções de nitrato e de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.921-930, 2012.

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v.24, n.1, p.1-15, 1949.

ARRIEL, N. H. C.; FIRMINO, P.T; BELTÃO, N. E. M; SOARES, J. J; ARAÚJO, A. E; SILVA, A. C; FERREIRA, G. B. **Gergelim**. Coleção Plantar. Campina Grande: Embrapa Informação Tecnológica. 2007.70p.

ASSIS JÚNIOR, J. O.; LACERDA, C. F.; SILVA, F. B.; SILVA, L. B. F.; BEZERRA, M, A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, p.702-713, 2007.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p.

BAHRAMI, H.; RAZMJOO, J. Effect of salinity stress (NaCl) on germination and early seedling growth of ten sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.). **International Journal of AgriScience**, v.2, n.6, p.529-537, 2012.

BAKER, B. Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, n.1, p.89-113, 2008.

BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal Experimental Botany**, v.55, n.403, p.1607-1621, 2004.

BALKOS, K. D.; BRITTO, D. T.; KRONZUCKER, H. J. Optimization of ammonium acquisition and metabolism by potassium in rice (*Oryza sativa* L. cv. IR-72). **Plant, Cell and Environment**, v.33, n.1, p.23-34, 2010.

BARBOSA, M. R., SILVA, M. M. de A., WILLADINO, L., ULISSES, C., CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v.44, n.3, p.453-460, 2014.

BARROSO, A. A. F.; GOMES, G. E.; LIMA, A. E. O.; PALÁCIO, H. A. Q.; LIMA, C. A. Avaliação da qualidade da água para a irrigação na região Centro Sul no estado do

Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.6, p.588-593, 2011.

BELTRÃO, N. E. de M.; SOUZA, J. G.; PEREIRA, J. R. Fitologia. In: BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J. (eds.) **O agronegócio do gergelim no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicações para Transferência de Tecnologia, 2001. cap.3, p.37-57.

BELTRÃO, N. E. M.; VIEIRA, D. J. **O agronegócio do gergelim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 348p.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas, noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BEZERRA, S. A.; DANTAS NETO, J., AZEVEDO, C. A. V.; SILVA, M. B. R.; SILVA, M. M. Produção do gergelim cultivado sob condições de estresse hídrico e diferentes doses de adubação. **Engenharia Ambiental**, v.7, n.3, p.156-165 2010.

BHATT, M. J.; PATEL, A. D.; BHATTI, P. M.; PANDEY, A. N. Effect of soil salinity on growth, water status and nutrient accumulation in seedlings of *Ziziphus mauritiana* (Rhamnaceae). **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, v.16, n.1, p.383-401, 2008

BITTSÁNSZKY, A.; PILINSZK, K.; GYULAI, G.; KOMIVES, T. Over coming ammonium toxicity. **Plant Science**, v.231, n.4, p.184-190, 2015.

BORGOGNONE, D.; COLLA, G.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; REA, E.; SCHWARZ, D. Effect of nitrogen form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. **Scientia Horticulturae**, v.149, n.1, p.61-69, 2013.

BOUGHALLEB, F.; HAJLAOUI, I. H.; DENDEN, M. Effect of salt stress on growth, water relations, solute composition and photosynthetic capacity of hero-halophyte *Nitraria retusa* (L.). **Environmental Research Journal**, v.6, n.1, p.1-13, 2012.

BRITTO, D. T.; BALKOS, K. D.; BECKER, A.; COSKUN, D.; HUYNH, W. Q.; KRONZUCKER, H. J. Potassium and nitrogen poisoning: Physiological changes and

- biomass gains in rice and barley. **Canadian Journal of Plant Science**, v.94, p.1085-1089, 2014.
- BRITTO, D. T.; KRONZUCKER, H. J. NH_4^+ toxicity in higher plants: A critical review. **Journal of Plant Physiology**, v.159, n.6, p.567–584, 2002.
- BRITTO, D. T.; KRONZUCKER, H. J. Nitrogen acquisition, PEP carboxylase, and cellular pH homeostasis: new viewson old paradigms. **Plant Cell Environment**, v.28, n.11, p.1396-1409, 2005.
- BRITTO, D. T.; KRONZUCKER, H. J. Plant nitrogen transport and its regulation in changing soil environments. **Journal of Crop Improvement**, v.15, n.2, p.1-23, 2005.
- BRITTO, D. T., SIDDIQI, M. Y., GLASS, A. D. M., KRONZUCKER, H. J. Futile transmembrane NH_4^+ cycling: A cellular hypothesis to explain ammonium toxicity in plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.98, n.7, p.4255-4258, 2001.
- CÁRDENAS-NAVARRO, R.; LÓPEZ-PÉREZ, L.; LOBIT, P.; RUIZ-CORRO, R.; CASTELLANOS-MORALES, V. C. Effects of nitrogen source on growth and development of strawberry plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.29, n.9, p.1699-1707, 2006.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000, 588p.
- CAVALCANTE, L. F.; CORDEIRO, J. C.; NASCIMENTO, J. A. M.; CAVALCANTE, Í. H. L.; DIAS, T. J. Fontes e níveis da salinidade da água na formação de mudas de mamoeiro cv. Sunrise solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, (Suplemento), p.1281-1290, 2010.
- CAVALCANTE, L. F.; DIAS, T. J.; NASCIMENTO, R.; FREIRE, J. L. O. Clorofila e carotenoides em maracujazeiro-amarelo irrigado com águas salinas no solo com biofertilizante bovino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, n.especial, p.699-705, 2011.
- CHAVES, L. H. G.; GHEYI, H. R.; RIBEIRO, S. Consumo de água e eficiência do uso para cultivar de mamona Paraguaçu submetida à fertilização nitrogenada. **Revista de Engenharia Ambiental**, v.08, n.01, p.126-133, 2011.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: Rregulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v.103, n.4, p.551-560, 2008.

CRUZ, C.; DOMÍNGUEZ-VALDIVIA, M. D.; APARICIO-TEJO, P. M.; LAMSFUS, C.; BIO, A.; MARTINS-LOUÇÃO, M. A.; MORAN, J. F. Intra-specific variation in pea responses to ammonium nutrition leads to different degrees of tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v.70, n.3, p.233-243. 2011.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; ARAÚJO, W. L. Influência do nitrato e do amônio sobre a fotossíntese e a concentração de compostos nitrogenados em mandioca. **Ciência Rural**, v.38, n.3, p.643-649, 2008.

CRUZ, L. I. B.; CRUZ, M. C. M.; FERREIRA, E. A.; CASTRO, G. D. M.; ALMEIDA, M. O. Eficiência quântica do fotossistema ii de mudas de abacaxizeiro 'imperial' em resposta a associação com *Piriformospora indica* e herbicidas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, n.4, p.794-804, 2014.

DIAS, M. J. T., SOUZA, H. A., NATALE, W., MODESTO, C. V., ROZANE, D. E. Adubação com nitrogênio e potássio em mudas de goiabeira em viveiro comercial. **Ciências Agrárias**, v.33, suplemento 1, p.2837-2848, 2012.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M.; **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p

DUAN, Y. H.; ZHANG, Y. L.; SHEN, Q. R.; WANG, S.W. Nitrate effect on rice growth and nitrogen absorption and assimilation at different growth stages. **Pedosphere**, v.16, n. 6, p.707-717, 2006.

DUAN, Y.H.; ZHANG, Y. L.; YE, L. T.; FAN, X. R.; XU, G. H.; SHEN, Q.R. Responses of rice cultivars with different nitrogen use efficiency to partial nitrate nutrition. **Annals of Botany**, v. 99, n. 6, p. 1153-1160, 2007.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. Trad. Maria Edna T. Nunes. Londrina: Editora Planta, 2006, p. 403.

EPSTEIN, L. Cultura - Gergelim SDA / DDA - SEAGRI. Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária. Salvador, BA. 2000.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils**. Rome: FAO Land and Plant Nutrition Management Service, 2005.

FARIAS, S. G. G. **Estresse osmótico na germinação, crescimento e nutrição mineral de glicirídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.))**. Campina Grande: UFCG, 2008, 61p. Dissertação de Mestrado.

FARIAS, S. G. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, A. L. O.; SILVA, R. B. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de glicirídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunt ex Steud) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.5, p.1499-1505, 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042. 2011.

FIGUEIREDO, S. L.; RODRIGUES, J. D.; CARNEIRO, J. P. C.; SILVA, A. A.; LIMA, M. B. 2013. Fisiologia e produção da soja tratada com cinética e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.11, p.1432-1439, 2013.

FLORES, H. E. Polyamines and plant stress. In: LASCHER, R.G.; CUMMING, J.R. (ed.) **Stress responses in plants: Adaptation and acclimation mechanisms**. New York. Wiley-liss, 1990, cap.17, p.217-239.

FREIRE, J. L. O.; CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, R.; REBEQUI, A. M. Teores de clorofila e composição mineral foliar do maracujazeiro irrigado com águas salinas e biofertilizante. **Revista de Ciências Agrárias**, v.36, n.11, p.57-70, 2013

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 Agrônômica**. v.45, n.1, p.82-91, 2014.

FURTADO, G. F.; PEREIRA, F. H. F.; ANDRADE, E. M. G.; FILHO, R. R. P.; SILVA, S. S. Efeito do nitrato de cálcio na redução do estresse salino em melanciaira, **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 33-40, 2012.

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010. 472p.

GRONWALD, J. W.; JOURDAN, S. W.; WYSE, D. L.; SOMERS, D. A.; MAGNUSSON, M. U. Effect of ammonium sulfate on absorption imazethapyr by quackgrass (*Elytrigiarrepens*) and maize (*Zea mays*) cell suspension cultures. **Weed Science**, v.41, n.3, p.325-334, 1993.

GUO, X. R.; ZU, Y. G.; TANG, Z. H. Physiological responses of *Catharanthus roseus* to different nitrogen forms. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.34, n.2, p.589-598, 2012.

HACHIYA, T.; WATANABE, C. K.; FUJIMOTO, M.; ISHIKAWA, T.; TAKAHARA, K.; KAWAI-YAMADA, M. Nitrate addition alleviates ammonium toxicity without lessening ammonium accumulation, organic acid depletion and inorganic cation depletion in *Arabidopsis thaliana* shoots. **Plant and Cell Physiology**, v.53, n.3, p.577-591, 2012.

HEDRICH, R.; SCHROEDER J. I. The physiology of ion channels and electrogenic pumps in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**. v.40, n.1, p.539-569, 1989.

HELALI, S. M.; NEBLI, H.; KADDOUR, M.; MAHMOUDI, H.; LACHAÂL, M.; OUERGHI, A. Influence of nitrate-ammonium ratio on growth and nutrition of *Arabidopsis thaliana*. **Plant and Soil**, v.336, n.2, p.65-74, 2010.

HOLZSCHUH, M. J.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; CARMONA, F. C.; COSTA, S. E. V. G. A. Resposta do arroz irrigado ao suprimento de amônio e nitrato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.5, p.1323-1331, 2009.

HOLZSCHUH, M. J.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I.; PIZZOLATO, T. M.; CARMONA F. C.; CARLOS F. S. Absorção de nutrientes e crescimento do arroz com suprimento combinado de amônio e nitrato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1357-1366, 2011.

HORCHANI, F.; HAJRI, R.; ASCHI-SMITI, S. Is the sensitivity to ammonium nutrition related to nitrogen accumulation? **Current Botany**, v.2, n.1, p.18-22, 2011.

HUANG, L.; LU, Y.; GAO, X.; DU, G.; MA, X.; LIU, M.; GUO, J.; CHEN, Y. Ammonium-induced oxidative stress on plant growth and antioxidative response of duckweed (*Lemna minor* L.) **Ecological Engineering**, v.58, p.355-362, 2013.

ISHIKAWA, S.; ANDO, S.; SAKAIGAICHI, T.; TERAJIMA, Y.; MATSUOKA, M. Effects of high nitrogen application on the dry matter yield, nitrogen content and nitrate-

N concentration of sugarcane. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.55, n.4, p.485-495, 2009.

IVANOVA, M.; STADEN, J. V. Nitrogen source, concentration, and $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratio influence shoot regeneration and hyperhydricity in tissue cultured *Aloe polyphylla*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.99, n.2, p.167-174, 2009.

JAMES, R. A.; BLAKE, C.; ZWART, A. B.; HARE, C. R. A.; RATHJEN, A. J.; MUNNS, R. Impact of ancestral wheat sodium exclusion genes *Nax1* and *Nax2* on grain yield of durum wheat on saline soils. **Functional Plant Biology**, v.39, n.7, p.609–618, 2012.

JAMES, R. A.; RIVELLI, A. R.; MUNNS, R.; VON CAEMMERER, S. Factors affecting CO_2 assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. **Functional Plant Biology**, v.29, n.12, p.1393–1403, 2002.

JAMIL, M.; REHMAN, S.; LEC, K. J.; KIM, J. M.; KIM, H. S.; RHA, E. S. Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. **Scientia Agrícola**, v.64, v.2, p.111-118, 2007.

KAYA, C.; TUNA, A. L.; ASHRAF, M.; ALTUNLU, H. Improved salt tolerance of melon (*Cucumis melo* L.) by the addition of proline and potassium nitrate. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, n. 3, p. 397-403, 2007.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431p.

KOCHANOVÁ, Z.; JAŠKOVÁ, K.; SEDLÁKOVÁ, B.; LUXOVÁ, M. Silicon improves salinity tolerance and affects ammonia assimilation in maize roots. **Biologia**, v.69, n.9, p.1164-1171, 2014.

KUMAR, T.; KHAN, M. R.; JAN, S. A.; AHMAD, N.; NIAZ ALI, N.; ZIA, M. A.; ROOMI, S.; IQBAL, A.; ALI, G. M. Efficient regeneration and genetic transformation of sugarcane with AVP1 gene. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v.14, n.2, p.165-171, 2014.

LANE, D. R.; BASSIRIRAD, H. Differential responses of tallgrass prairie species to nitrogen loading and varying ratios of NO_3^- to NH_4^+ . **Functional Plant Biology**, v.29, n.10, p.1227-1235, 2002.

- LI, B.; LI, G.; KRONZUCKER, H. J.; BALUSKA, F.; SHI, W. Ammonium stress in *Arabidopsis*: signaling, genetic loci, and physiological targets. **Trends in Plant Science**, v.19, n.2, p.107-114, 2014.
- LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI H. R.; SOARES, L. A. A.; SILVA, A. O. Crescimento e componentes de produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Engenharia Agrícola**, v.34, n.5, p.854-866, 2014.
- LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SILVA, A. O. Produção da mamoneira cultivada com águas salinas e doses de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v.46, n.1, p.1-10, 2015.
- LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI H. R.; SOARES, L. A. A.; SOARES, S. S. Utilização de águas salinas e doses de adubação nitrogenada no cultivo da mamoneira cv. BRS Energia. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.7, n.2, p.88-95, 2012.
- LIMA, M. S. R.; ROCHA, M. S.; BELTRÃO, N. E. de M. Produção de sementes de gergelim In: BELTRÃO, N. E. M.; FERREIRA, L. L. F.; QUEIROZ, N. L.; PORTO, V. C. N. (org.) **O gergelim e seu cultivo no semiárido brasileiro**. Natal: IFRN, 2013, Cap.6, p.85-101.
- LOBO, A. K. M.; MARTINS, M DE O.; LIMA NETO, M. C.; BONIFÁCIO, A.; SILVEIRA, J. A. G DA. Compostos nitrogenados e carboidratos em sorgo submetido à salinidade e combinações de nitrato e amônio. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.2, p.390-397, 2011.
- LOPES, J. C.; MACEDO, C. M. P. Germinação de sementes de couve chinesa sob influência do teor de água, substrato e estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, n.3, p.079-085, 2008.
- LOPES, M. S.; ARAUS, J. L. Nitrogen source and water regime effects on durum wheat photosynthesis and stable carbon and nitrogen isotope composition. **Physiologia Plantarum**, v.126, n.3, p.435-445, 2006.
- 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**, v.34, n.1, p.297-308, 2012.

- MALAGOLI, M.; DAL CANAL, A. QUAGGIOTTI, S., PEGORARO, P., BOTTACIN, A. Differences in nitrate and ammonium uptake between Scots pine and European larch. **Plant and Soil**, v.221, n.1, p.1-3, 2000.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. 2. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MARÇAL, J. A. **Crescimento inicial do pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.) sob irrigação com águas salinas em solo com matéria orgânica.** Areia: UFPB, 2011. 80p. Dissertação de Mestrado.
- MARQUES, E. C.; FREITAS, V. S.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Efeitos do estresse salino na germinação, emergência e estabelecimento da plântula de cajueiro anão precoce. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.4, p.993-999, 2011.
- MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N.; Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v.15, n.345, p.659-668, 2000.
- MEDEIROS, J. F.; LISBOA, R. A.; OLIVEIRA, M. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.469-472, 2003.
- MENDOZA-VILLARREAL, R.; VALDEZ-AGUILAR, L. A.; SANDOVAL-RANGEL, A.; ROBLEDO-TORRES, V.; BENAVIDES-MENDOZA, A. Tolerance of lisianthus to high ammonium levels in rockwool culture. **Journal of Plant Nutrition**, v.38, n.1, p.73-82, 2015.
- MILLER, A. J.; CRAMER, M. D. Root nitrogen acquisition and assimilation. **Plant and Soil**, v.274, n.1, p.3-6, 2004.
- MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New Phytologist**, v.167, n.3, p.645-663, 2005.
- MUNNS, R.; GILLIHAM, M. Salinity tolerance of crops – what is the cost? **New Phytologist**, v.208, n.3, p.668-673, 2015.
- MUNNS, R.; HUSAIN, S. RIVELLI, A. R.; RICHARD, A. J.; CONDON, A. G.; MEGAN, P. L.; EVANS, S. L.; SCHACHTMAN, D. P.; HARE, R.A. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. **Plant and Soil**, v.247, p.93-105, 2002

- MUNNS, R.; SHARP, R.E; Involvement of abscisic acid in controlling plant growth in soils of low water potential. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.20, n.5, p.425-437, 1993.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanism of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, n.1, p.651-681, 2008.
- NEVES, L. A. S.; SPAT, C. Concentração de clorofila e de prolina em genótipos de arroz submetidos à salinidade. **Revista Unimontes Científica**, v.15, n.1, p.1-10, 2013
- NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G.; SOARES, F. A. L.; ANDRADE, L. O. Crescimento e floração do girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.3, p.358-365, 2010.
- NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; CARDOSO, J. A. F. Produção de girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.10, p.929-937, 2011.
- NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; LOURENÇO, G. S.; SOARES, L. A. A. Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p.76-85, 2013.
- NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; GHEYI H. R., SOARES, L. A. A.; SILVA, A. O. Crescimento, consumo e eficiência do uso da água pela mamoneira sob estresse salino e nitrogênio. **Revista Caatinga**, v.27, n.2, p.148–158, 2014.
- NOBRE, R. G.; SOARES, L. A. A.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; LOURENÇO, G. S.; SOARES, S. S. Acúmulo de NPK e sódio a mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.10, p.1066-1073, 2013.
- NOVAIS, R. F.; NEVES J. C. L.; BARROS N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA A. J. (ed.) **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: Embrapa-SEA. 1991. Cap.12, p.189-253.
- OAKS, A. Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation. **Canadian Journal of Botany**, v.72, n.6, p.739-750, 1994.
- OGAWA, K.; SOUTOME, R.; HIROYAMA, K.; HAGIO, T.; IDA, S.; NAKAGAWA, H.; KOMAMINE, A. Co-regulation of nitrate reductase and nitrite reductase in cultured spinach cells. **Journal of Plant Physiology**, v. 157, n.3, p. 299-306, 2000

OLIVEIRA, F. A., MEDEIROS, J. F., ALVES, R. C., LINHARES, P. S. F, MEDEIROS, A. M. A., OLIVEIRA, M. K. T. Interação entre salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada na cultura da berinjela. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.5, p.480–486, 2014.

PATADE, V. Y.; BHARGAVA, S.; SUPRASANNA, P. Salt and drought tolerance of 4 sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: growth, osmolytes accumulation, 5 and antioxidant defense. **Journal of Plant Interactions**, v.6, n.4, p.275-282, 2011.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências dos processos de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v.19, n.2, p.1308-1324, 2015.

PERES, V. N.; COELHO, L. M.; FERREIRA, I. M. Avaliação da qualidade da água superficial da microbacia do Córrego Fundo - Catalão (Go). **Revista de Ciências Ambientais**, v.3, n.2, p. 67-85, 2009.

PŁAŻEK, A.; TATRZAŃSKA, M.; MACIEJEWSKI, M.; KOŚCIELNIAK, J.; GONDEK, K.; BOJARCZUK, J.; DUBERT, F. Investigation of the salt tolerance of new Polish bread and durum wheat cultivars. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.35, n.8, p.2513-2523, 2013.

PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010. Cap.10, p.143-160.

QUEIROGA, V. P.; BORBA, F. G.; ALMEIDA, K. V.; SOUSA, W. J. B.; JERÔNIMO, J. F.; QUEIROGA, D. A. N. Qualidade fisiológica e composição química das sementes de gergelim com distintas cores. **Revista Agroambiente**, v.4, n.1, p.27-33, 2010.

RHOADES, J. D. Quality of water for irrigation. **Soil Science**, v.113, n.4, p.277-284, 1972.

RIBEIRO, G. M.; MAIA, C. E.; MEDEIROS, J. F. Uso da regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de

irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.1, p.15-22, 2005.

RIBEIRO, M. O.; BOECHAT, C. L.; CONCEIÇÃO, M. G. S.; MOREIRA, F. M.; RIBEIRO, L. O.; SANTOS, A. R. Efeito das interações entre os íons amônio e nitrato na fisiologia do crescimento do amendoimzeiro. **Revista Ceres**, v.59, n.5, p.630-635, 2012.

RIBEIRO, P. H. P., SILVA, S., NETO, J. D., OLIVEIRA, C. S., CHAVES, L. H. G. Crescimento e componentes de produção do girassol em função da irrigação com água salina e adubação nitrogenada. **Engenharia na Agricultura**, v.23 n.1, p.48-56, 2015.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U.S, Department of Agriculture, 1954. 160p.

ROCHA, G. M. G. **Caracterização de genótipos do gergelim utilizando RAPD e microssatélite**. Campina Grande: UEPB, 2012, 44p. Trabalho de conclusão de curso.

ROCHA, J. G.; FERREIRA, L. M.; TAVARES, O. C. H.; SANTOS, A. M.; SOUZA, S. R. Cinética de absorção de nitrogênio e acúmulo de frações solúveis nitrogenadas e açúcares em girassol. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.44, n.4, p.381-390, 2014.

ROOSTA, H. R.; SCHJOERRING, J. K. Effects of nitrate and potassium on ammonium toxicity in cucumber plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.31, n.7, p.1270-1283, 2008.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SOUZA, K. J.; SOUSA, A. M. G.; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e em solos com diferentes níveis texturais. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.5, p.1470-1476, 2007.

SANTI, G. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SEQUINATTO, L.; OSÓRIO FILHO, B.; KUNZ, M.; FONTINELLI, F. Características físicas do solo da microbacia hidrográfica de Cândido Brum – Arvorezinha-RS. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 14, 2002, Cuiabá, Anais... UFMT: Cuiabá, 2002. CD Rom.

SANTOS, A. P. R. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um Argissolo Vermelho Distrófico**

cultivado com Capim-Tifton 85. Piracicaba: ESALQ, 2004. 95p, Dissertação de Mestrado

SANTOS, D. B.; FERREIRA, P. A.; OLIVEIRA, F. G.; BATISTA, R. O.; COSTA, A. C.; CANO, M. A. O. Produção e parâmetros fisiológicos do amendoim em função do estresse salino. **Revista Idesia**, v.30, n.2, p.69-74, 2012.

SARASKETA, A.; GONZÁLEZ-MORO, M. B.; GONZÁLEZ-MURUA, C.; MARINO, D. Exploring ammonium tolerance in a large panel of *Arabidopsis thaliana* natural accessions. **Journal of Experimental Botany**, v.65, n.20, p.6023-6033, 2014.

SARTORI, G. M. S.; MARCHESAN, E.; AZEVEDO, C. F.; STRECK, N. A.; ROSO, R.; COELHO, L. L.; OLIVEIRA, M. L. Rendimento de grãos e eficiência no uso de água de arroz irrigado em função da época de semeadura. **Ciência Rural**, v.43, n.3, p.397-403, 2013.

SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D. M.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; PIAUILINO, A. C. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15, p.1563-1578, 2012.

SCOTTI CAMPOS, P., THU PHANTHI, A. Effect of abscisic acid pretreatment on membrane leakage and lipid composition of *Vigna unguiculata* leaf discs subject to osmotic stress. **Plant Science**, v.130, n.1, p.11-18, 1997.

SENGAR, K.; SENGAR, R. S.; SINGH, A. Biotechnological and genomic analysis for salinity tolerance in sugarcane. **International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research**, v.4, n.5, p.407-414, 2013.

SHAN, A. Y. K. V.; OLIVEIRA, L. E. M.; BONOME, L. T. S.; MESQUITA, A. C. Assimilação metabólica de nitrogênio em plântulas de seringueira cultivadas com nitrato ou amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.6, p.754-762, 2012.

SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, v. 2012, n.1, p.1-26, 2012.

SHOMEILI, M.; NABIPOUR, M.; MESKARBASHEE, M.; MEMARI, H. R. Effects of gibberellic acid on sugarcane plants exposed to salinity under a hydroponic system. **African Journal of Plant Science**, v.5, n.10, p.609-616, 2011.

- SILVA, A. J. **Efeito residual das adubações orgânica e mineral na cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.) em segundo ano de cultivo.** Areia: UFPB, 2006. 89p. Dissertação de Mestrado
- SILVA, E. R.; MARTINO, H. S. D.; MOREIRA, A. V. B.; ARRIEL, N. H. C.; SILVA, A. C.; RIBEIRO, S. M. R. Capacidade antioxidante e composição química de grãos integrais de gergelim creme e preto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.7, p.736-742, 2011.
- SILVA, Í. N.; FONTES, L. O.; TAVELLA, L. B.; OLIVEIRA, J. B.; OLIVEIRA, A. C. Qualidade de água na irrigação. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 07, n. 03, p. 01-15, 2011.
- SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; VITORINO, H. S.; RHEIN, A. F. L.; Pigmentos fotossintéticos e índice Spad como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v.30, n.1, p.173-181. 2014.
- SILVA, P. C. C.; COUTO, J. L.; SANTOS, A. R. Efeito dos íons amônio e nitrato no desenvolvimento do girassol em solução nutritiva. **Revista da FZVA**, v.17, n.1, p.104-114, 2010.
- SILVA, S. M. OLIVEIRA, L. J.; FARIA, F. P.; REIS, E. F.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, M. S. Atividade da enzima nitrato redutase em milho cultivado sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e potássica. **Revista Ciência Rural**, v.41, n.11, p.1931-1937, 2011.
- SIMONS, M.; SAHA, R.; GUILLARD, L.; CLÉMENT, G., ARMENGAUD, P.; CAÑAS, R.; MARANAS, C. D.; LEA, P. J.; HIREL, B. Nitrogen-use efficiency in maize (*Zea mays* L.): from 'omics' studies to metabolic modelling. **Journal of Experimental Botany**, v.65, p.657-667, 2014.
- SODEK, L. Metabolismo do nitrogênio. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. Cap.4, p.94-113.
- SOUSA, A. B. O.; BEZERRA, M. A.; FARIAS, F. C. Germinação e desenvolvimento inicial de clones de cajueiro comum sob irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.4, p.390-394, 2011.

- SOUSA, A. E. C.; LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; UYEDA, C. A. Teores de nutrientes foliares e respostas fisiológicas em pinhão manso submetido a estresse salino e adubação fosfatada. **Revista Caatinga**, v.25, n.2, p.144-152, 2012.
- SOUZA, Y. A.; PEREIRA, A. L.; SILVA, F. F. S.; RIBEIRO-REIS, R. C.; EVANGELISTA, M. R. V.; CASTRO, R. D.; DANTAS, B. F. Efeito da salinidade na germinação de sementes e no crescimento inicial de mudas de pinhão-manso. **Revista Brasileira de sementes**, v.32, n.2, p.83-92, 2010.
- SPERA, S. T.; DENARDIN, J. E.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; SANTOS, H.P.; FIGUEROA, E. A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.especial, p.2613-2620, 2008.
- STITT, M.; MULLER, C.; MATT, P.; GIBON, Y.; CARILLO, P.; MORCUENDE, R.; SCHEIBLE, W. R.; KRAPP, A. Steps towards an integrated view of nitrogen metabolism. **Journal of Experimental Botany**, v.53, n.370, p.959-970, 2002.
- SUASSUNA, J. F. **Tolerância de genótipos de gergelim ao estresse salino**. Campina Grande: UFCG, 2013. 126p. Tese Doutorado.
- SZABOLCS, I. **Salt-affected soils**. 1. ed. Flórida: Library of Congress, 1989. 274p
- TABATABAEI, S. A.; NAGHIBALGHORA, S. M. The effect of salinity stress on germination characteristics and changes of biochemically of sesame seeds, *Cercetari Agronomice in Moldova*, v. 47, n. 158, p. 61-68, 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- VACULÍKOVÁ, M.; VACULÍK, M.; SIMKOVÁ, L.; FIALOVÁ, I.; KOCHANOVÁ, Z.; SEDLÁKOVÁ, B.; LUXOVÁ, M. Influence of silicon on maize roots exposed to antimony e grow than dantioxidative response. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.83, p.279-284, 2014.
- VIEIRA, D. A. P.; PORTES, T. A.; STACCIARINI-SERAPHIN, E.; TEIXEIRA, J. B. Fluorescência e teores de clorofilas em abacaxizeiro cv. Pérola submetido a diferentes concentrações de sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, n.2, p.360-368, 2010.
- VOIGT, E. L.; ALMEIDA, T. D.; CHAGAS, R. M.; PONTE, L. F. A.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Source-sink regulation of cotyledonary reserve mobilization during

cashew (*Anacardium occidentale*) seedling establishment under NaCl salinity. **Journal of Plant Physiology**, v.166, n.1, p.80-89, 2009.

WANDERLEY, J. A. C.; ARAÚJO FILHO, J. B.; SOUZA, J. S.; ALVES, L. S.; MARACAJÁ, P. B. Efeito de doses de rejeito de caulim em solo sódico no desenvolvimento inicial da mamoneira (*Ricinus communis* L.). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.5, n.1, p.26-38, 2010.

WANG, C.; SONG, H. Z.; PEI F. W.; WEI, L.; JIE, L. Effects of ammonium on the anti oxidative response in *Hydrilla verticillata*, L. royle plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.73, n.2, p.189-195, 2010.

WANG, W. Y.; YAN, X. F.; JIANG, Y.; QU, B.; XU, Y. F. Effects of salt stress on water content and photosynthetic characteristics in *Iris lactea* var. *Chinensis* seedlings, Middle-East. **Journal of Scientific Research**, v.12, n.1, p.70-74, 2012.

WILLADINO, L., CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: Aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera**, v.16, n.11, p.1-23, 2010.

WILLIAMS, L. E.; MILLER, A. J. Transporters responsible for the uptake partitioning of nitrogenous solutes. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.52, n.1, p.659- 668, 2001.

ZEBARTH, B.; TAI, H.; LUO, S.; MILLARD, P.; KOEYER, D.; LI, X.; XIONG, X. Effect of nitrogen form on gene expression in leaf tissue of greenhouse grown potatoes during three stages of growth. **American Journal of Potato Research**, v.89, n.4, p.315-327, 2012.

ZHOU, Y.; ZHANG, Y.; WANG, X.; CUI, J.; XIA, X.; SHI, K.; YU, J. Effects of nitrogen form on growth, CO₂ assimilation, chlorophyll fluorescence, and photosynthetic electron allocation in cucumber and rice plants. **Journal of Zhejiang University Science**, v.12, n.2, p.126-134, 2011.