



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

FRANCISCO VANIES DA SILVA SÁ

**MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS DE FEIJÃO-CAUPI SOB ESTRESSE SALINO
E ADUBAÇÃO FOSFATADA**

MOSSORÓ/RN
FEVEREIRO/2016

FRANCISCO VANIES DA SILVA SÁ

**MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS DE FEIJÃO-CAUPI SOB ESTRESSE SALINO
E ADUBAÇÃO FOSFATADA**

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Orientador: Miguel Ferreira Neto, D. Sc.

**MOSSORÓ/RN
FEVEREIRO/2016**

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do(a) autor(a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data da defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu(a) respectivo(a) autor(a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO TEIXEIRA - CAMPUS MOSSORÓ
Setor de Informação e Referência

S111m Sá, Francisco Vanies Da Silva.

Morfofisiologia de plantas de feijão-caupi sob estresse salino e adubação fosfatada / Francisco Vanies Da Silva Sá. - Mossoró, 2016.
94f: il.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Ferreira Neto

Dissertação (MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA) -
Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pesquisa e
Pós-Graduação

1. Feijão-caupi. 2. Irrigação - Água salina. 3. Adubação fosfatada. 4.
Plantas - efeitos de sais. 5. Solo - Efeitos de sais. I. Título

RN/UFERSA/BOT/044

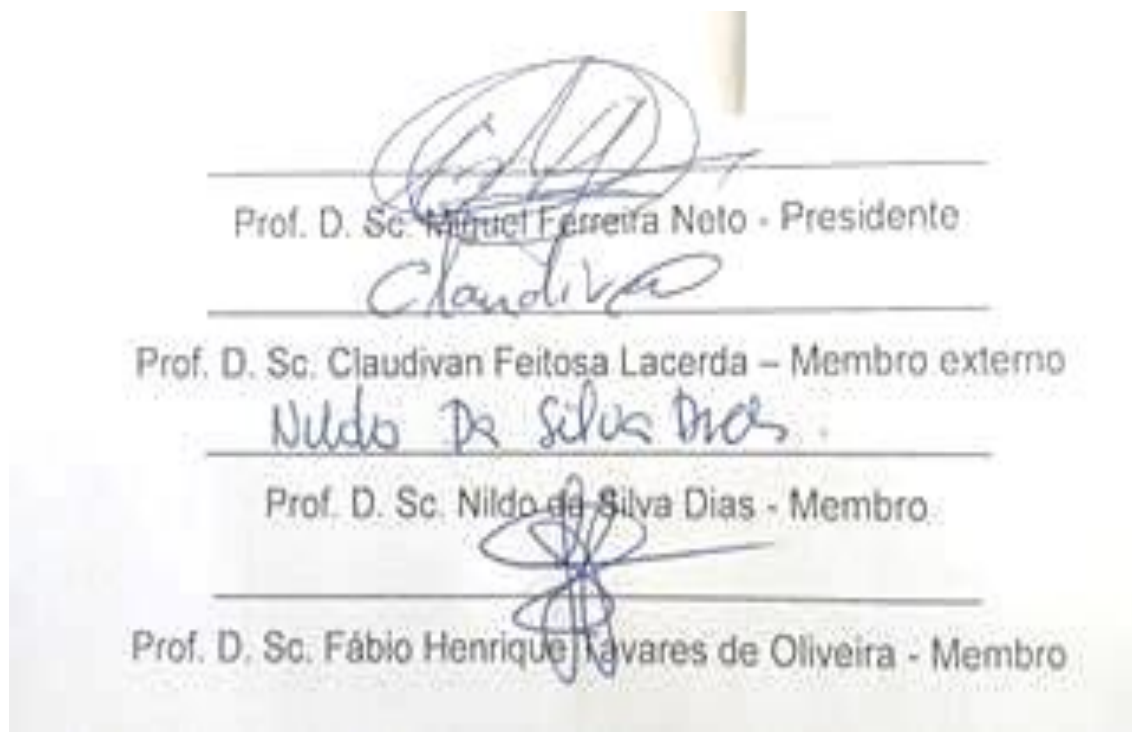
CDD 635.652

FRANCISCO VANIES DA SILVA SÁ

**MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS DE FEIJÃO-CAUPI SOB ESTRESSE SALINO
E ADUBAÇÃO FOSFATADA**

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Aprovada em: 25 / 02 / 2016.



MOSSORÓ/RN

FEVEREIRO/2016

Aos meus pais, Francisco Forte da Silva e Maria de Lourdes da Silva Sá e meus avôs, Sebastião Forte de Sá, Maria Eliza da Silva Sá, José Emanuel da Silva e Ilza Monteiro de Farias Silva pelo apoio, incentivo, integridade, moral e conduta em me fazer acreditar que com muito esforço e força de vontade conseguimos mudar o nosso destino.

Com muito carinho, ao minha esposa Emanoela Pereira de Paiva pelo seu amor, amizade, compreensão e incentivo, por me fazer erguer a cabeça nos momentos mais difíceis e por me motivar para concluir esse trabalho.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, ser supremo ao qual devo minha existência.

Aos meus pais Aos meus pais, Francisco Forte da Silva e Maria de Lourdes da Silva Sá e meus avôs, Sebastião Forte de Sá, Maria Eliza da Silva Sá, José Emanuel da Silva e Ilza Monteiro de Farias Silva por estarem presente em toda a minha existência.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido e o **Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água** pelos momentos vividos na pós-graduação e pelos ensinamentos prestados;

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)** pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor **Miguel Ferreira Neto**, pelas suas sabias palavras e pelo voto de confiança.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, **INCT-SAL**, pelo apoio a pesquisa.

A **Yuri Bezerra de Lima e Rômulo Costa Prata** pela fundamental ajuda para .conclusão desse trabalho

A minha esposa **Emanoela Pereira de Paiva**, por me fortalecer ao longo dessa jornada e pelo incentivo e colaborações na conclusão desse trabalho.

Aos professores **Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água** pelo grande apoio, simplicidade, amizade e ensinamentos repassados;

Aos amigos e colegas da pós-graduação, em especial há Arthur Allan Sena De Oliveira, Francisco Irael De Souza, Jorge Luis Fabricio De Queiroz, Marcio Gleybson Da Silva Bezerra, Manoel Simões De Azevedo Junior, Joseane Dunga Da Costa, Pollyana Mona Soares Dias e Talyana Kadja De Melo pela sua eterna amizade e companheirismo.

Aos amigos e colegas da graduação, em especial há **Luderlândio de Andrade Silva e Rômulo Carantino Lucena Moreira** pela sua eterna amizade e companheirismo.

Aos conselheiros Claudivan Feitosa Lacerda, Fábio Tavares de Oliveira e Nildo da Silva Dias pelas contribuições dadas a este trabalho;

A todos aqueles que estiveram presentes e colaboraram direta ou diretamente de alguma forma para o cumprimento desta etapa da minha vida, um grande abraço.

"Quantas chances desperdicei, quando o que eu mais queria era provar para todo o mundo o que eu não precisava provar pra ninguém".

Renato Russo

*"Não importa que o passado seja tão desolador.
Você sempre poderá começar tudo de novo".*

Buda

RESUMO

Objetivou-se com esse trabalho estudar os efeitos da irrigação com água salina associada à adubação fosfatada com superfosfato simples no balanço de sais no solo e na morfofisiologia de plantas de feijão-Caupi. A pesquisa foi realizada em casa de vegetação do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN. O experimento foi realizado em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 5×3 constituído de cinco níveis de salinidade da água de irrigação ($S_1 = 0,5$; $S_2 = 1,5$; $S_3 = 2,5$; $S_4 = 3,5$; $S_5 = 4,5$ dS m^{-1}) e três manejos de adubações com superfosfato simples ($A_1 = 60\%$; $A_2 = 100\%$ e $A_3 = 140\%$ da dose recomendação da cultura), com 5 repetições, perfazendo 75 parcelas experimentais. As plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha foram cultivadas em vasos com capacidade para 8 litros, preenchidos com materiais de solo e esterco bovino. O experimento foi dividido em quatro etapas onde foram estudados: 1 - Emergência e crescimento inicial; 2 - Fisiologia e o crescimento na fase vegetativa, 3 - Fisiologia e o crescimento na fase reprodutiva e 4 - Balanço de sais lixiviados e análise de crescimento de planta. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste 'F' até o nível de 5% de probabilidade, e nos casos de significância foram realizadas análises de regressão polinomial linear ou quadrática para o fator níveis de salinidade e para o fator doses de fósforo foi aplicado o teste de média Tukey, ambos ao nível de 5% de probabilidade. Os níveis de salinidade superiores a 1,5 dS m^{-1} atingiram o limiar da cultura (4,9 dS m^{-1}) a partir dos primeiros 21 dias de cultivo. A irrigação com água de alta salinidade aumentou a condutividade elétrica do extrato de saturação em até 10,6 dS m^{-1} . O aumento da salinidade da água de irrigação reduziu a emergência, o crescimento, a atividade fotossintética e acúmulo de massa seca das plantas de feijão-Caupi. O incremento de 40% na recomendação da adubação fosfatada do feijão-caupi, promoveu incrementos no crescimento, na atividade fotossintética e no acúmulo de biomassa da planta, independente da salinidade. Adubação fosfatada não influenciou na fluorescência da clorofila *a* das plantas de feijão-Caupi. O aumento da salinidade afetou a partição de fitomassa das plantas de feijão-Caupi, havendo maior acúmulo de fitomassa nas folhas e caule, em relação à raiz.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* L. walp., desenvolvimento, superfosfato simples, salinidade.

ABSTRACT

The objective of this work was to study the effects of irrigation with saline water associated to fertilization with superphosphate in the salt balance in soil and morphophysiology bean-cowpea plants. The survey was conducted in Department of greenhouse Environmental Sciences and Technology of the Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA) in Mossoró-RN, from September to December 2015. It's experiment was conducting a randomized block design in 5 x 3 factorial design consisting of five levels of irrigation water salinity ($S_1 = 0.5$, $S_2 = 1.5$; $S_3 = 2.5$; $S_4 = 3.5$ and $S_5 = 4.5$ dS m⁻¹) and management strategies fertilization with superphosphate ($A_1 = 60\%$; $A_2 = 100\%$ and $A_3 = 140\%$ of the recommended dose for culture), with 5 repetitions, totaling 75 experimental plants. Zebra fish were grown in pots with a capacity of 8 liters, filled with soil material and manure. The experiment was divided into four stages which were studied: 1 - Emergence and initial growth; 2 - Physiology and growth in the vegetative phase, 3 - Physiology and growth in the reproductive phase and 4 - leached salts balance and plant growth analysis. The data were submitted to analysis of variance by the test 'F' to the level of 5% probability, and in cases of significance were performed linear polynomial regression analyzes or square to the levels of salinity factor and the facts doses of phosphorus the average test was used Tukey, both at the level of 5% probability. Salinity levels above 1.5 dS m⁻¹ culture reached the threshold (4.9 dS m⁻¹) from the first 21 days of cultivation. Irrigation with water of high salinity increased the electrical conductivity of the saturation extract to 10.6 dS m⁻¹. The increase in water salinity reduced the emergence, growth, photosynthetic activity and dry matter accumulation of cowpea plants. The increase of 40% on the recommendation of phosphorus fertilization of cowpea, promoted increases in growth, photosynthetic activity and plant biomass accumulation, regardless of salinity. Phosphate Fertilizer did not influence the chlorophyll a fluorescence of cowpea plants. Increased salinity affected the biomass partition of cowpea plants, with greater accumulation of dry matter in the leaves and stem, relative to the root.

Key words: *Vigna unguiculata* L. walp., development, superphosphate, salinity.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – Desenvolvimento inicial de plantas de feijão-caupi sob estresse salino e adubação com superfosfato simples

	Pág.
Figura 1. Percentagem de emergência (PE) (A), tempo médio de emergência (TME) (B), índice de velocidade de emergência (IVE) (C) e coeficiente de velocidade de emergência (CVE) (D) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada. UFERSA, 2016... ..	45
Figura 2. Altura (AT) (A e B), diâmetro do caule (DC) (C) e número de folhas (NF) (D) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada (A1 = 60%; A2 = 100% e A3 = 140% da recomendação). UFERSA, 2016... ..	46
Figura 3. Massa seca do caule (MSC) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada. UFERSA, 2016... ..	48
Figura 4. Massa seca da folha (MSF) (A e B) e massa seca da parte aérea (MSPA) (C e D) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada. UFERSA, 2016... ..	48

CAPÍTULO 2 - Morfofisiologia de plantas de feijão-caupi sob estresse salino e adubação fosfatada

	Pág.
Figura 1. Altura (AT) (A e B), diâmetro do caule (DC) (C e D) e número de folhas (NF) (E e F) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase vegetativa (30 dias). UFERSA, 2016... ..	61
Figura 2. Taxa de assimilação de CO ₂ (A) (A), transpiração (E) (B), condutância estomática (gs) (C), concentração interna de CO ₂ (Ci) (D), eficiência no uso da água (A/E) (E) e eficiência instantânea da carboxilação (A/Ci) (F), de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase vegetativa (30 dias). UFERSA, 2016... ..	63
Figura 3. Taxa de assimilação de CO ₂ (A) (A), transpiração (E) (B), condutância estomática (gs) (C) e eficiência instantânea da carboxilação (A/Ci) (F), de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase vegetativa (30 dias). UFERSA, 2016... ..	64
Figura 4. Fluorescência inicial (Fo) (A), fluorescência máxima (Fm) (B), fluorescência variável (Fv) (C) e a eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) (D), de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase vegetativa (30 dias). UFERSA, 2016... ..	65

Figura 5. Massa seca da parte aérea (A e B) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase vegetativa (30 dias). UFERSA, 2016...	66
Figura 6. Altura (AT) (A e B), diâmetro do caule (DC) (C e D) e número de folhas (NF) (E e F) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase reprodutiva (49 dias). UFERSA, 2016.....	67
Figura 7. Taxa de assimilação de CO ₂ (A) (A), transpiração (E) (B), condutância estomática (gs) (C), concentração interna de CO ₂ (Ci) (D), eficiência no uso da água (A/E) (E) e eficiência instantânea da carboxilação (A/Ci) (F), de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase reprodutiva (49 dias). UFERSA, 2016... ..	69
Figura 8. Fluorescência inicial (Fo) (A), fluorescência máxima (Fm) (B), fluorescência variável (Fv) (C) e a eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) (D), de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase reprodutiva (49 dias). UFERSA, 2016... ..	70
Figura 9. Massa seca da parte aérea de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase reprodutiva (49 dias). UFERSA, 2016... ..	71

CAPÍTULO 3 – Acúmulo de sais no solo, crescimento e fitomassa do feijão-caupi sob salinidade e adubação fosfatada

	Pág.
Figura 1. Condutividade elétrica (CE) A1 (A), A2 (B), A3 (C), CE média (D) da solução lixiviada do solo cultivado com feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada. UFERSA, 2016.....	85
Figura 2. Taxa de crescimento relativo em Altura (TCRAT) (cm cm ⁻¹ dia ⁻¹) de 0-15 (A), 15-30 (C) e 30-49 dias após a semeadura (E) e taxa de crescimento relativo em diâmetro do caule (TCRDC) (mm mm ⁻¹ dia ⁻¹) de 0-15 (B), 15-30 (D) e 30-49 dias após a semeadura (F) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada. UFERSA, 2016... ..	87
Figura 3. Massa seca da folha (A), caule (B), raízes (C) e partição de fitomassa (D) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada. UFERSA, 2016... ..	88

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – Desenvolvimento inicial de plantas de feijão-Caupi sob estresse salino e adubação com superfosfato simples

	Pág.
Tabela 1. Características físicas e químicas de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Latossólico coletado na camada de 0–30 cm, e do esterco bovino utilizado no cultivo do feijão-caupi. UFERSA, 2016.....	42

CAPÍTULO 2 - Morfofisiologia de plantas de feijão-Caupi sob estresse salino e adubação fosfatada

	Pág.
Tabela 1. Características físicas e químicas de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Latossólico coletado na camada de 0–30 cm, e do esterco bovino utilizado no cultivo do feijão-caupi. UFERSA, 2016.....	58

CAPÍTULO 3 – Acúmulo de sais no solo, crescimento e fitomassa do feijão-Caupi sob salinidade e adubação fosfatada

	Pág.
Tabela 1. Características físicas e químicas de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Latossólico coletado na camada de 0–30 cm, e do esterco bovino utilizado no cultivo do feijão-caupi. UFERSA, 2016.....	81

SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Água na agricultura.....	16
2.2 Água no Semiárido	16
2.3 Efeito de sais no solo	17
2.4 Efeito de sais nas plantas	19
2.5 Cultura do Feijão-Caupi.....	20
2.5.1 Origem, Botânica e Características Morfológicas	20
2.5.2 Importância econômica, social e alimentar	22
2.5.3 Potencial de cultivo do feijão-Caupi	23
2.5.4 Tolerância do feijão-Caupi à salinidade.....	24
2.5.5 Características Fisiológicas	25
2.6 Adubação Fosfatada no Caupi	26
2.5 Superfosfato Simples	27
2.5 Fósforo vs. Salinidade.....	38
LITERATURA CITADA	30
 CAPÍTULO 1 – DESENVOLVIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE FEIJÃO-CAUPI SOB ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO COM SUPERFOSFATO SIMPLES	38
RESUMO	38
ABSTRACT	39
1 INTRODUÇÃO	40
2 MATERIAL E MÉTODOS	41
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4 CONCLUSÕES	50
LITERATURA CITADA	51

CAPÍTULO 2 - MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS DE FEIJÃO-CAUPI SOB ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO FOSFATADA.	53
RESUMO.....	53
ABSTRACT	54
1 INTRODUÇÃO	55
2 MATERIAL E MÉTODOS	57
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4 CONCLUSÕES.....	72
LITERATURA CITADA.....	73
 CAPÍTULO 3 - ACÚMULO DE SAIS NO SOLO, CRESCIMENTO E FITOMASSA DO FEIJÃO-CAUPI SOB SALINIDADE E ADUBAÇÃO FOSFATADA.	 76
RESUMO.....	76
ABSTRACT	77
1 INTRODUÇÃO	78
2 MATERIAL E MÉTODOS	80
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
4 CONCLUSÕES.....	90
LITERATURA CITADA.....	91
 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	 94

1 INTRODUÇÃO

A constante renovação das águas da Terra se dá pelo permanente mecanismo de circulação, denominado ciclo hidrológico. Por meio desse mecanismo obtemos a renovação das águas de mais de 90% do território brasileiro, uma altura média anual de chuva entre 1000 e mais de 3000 milímetros. No entanto, a região semiárida localizada no Nordeste brasileiro não se enquadra nesse contexto, de modo que nessa região a precipitação pluviométrica é relativamente inferior e varia de 300 e 800 mm ano⁻¹ (Rebolças, 1997). Essa região além de enfrentar problemas de escassez quantitativas dos recursos hídricos, devido à baixa pluviosidade ocorrentes e secas rotineiras, também enfrentam problemas de escassez qualitativa devido à salinidade (Medeiros et al., 2003). O que tem forçado os agricultores a utilizarem águas salinas para irrigação das culturas.

As utilizações de águas salinas, por exemplo, ficam condicionadas à tolerância das culturas à salinidade e ao manejo adequado de irrigação e demais práticas culturais, reduzindo-se os efeitos da salinidade sobre o ambiente (Oliveira & Maia, 1998; Cavalcante et al., 2005). Os sais podem afetar o crescimento das plantas em virtude da sua concentração na solução do solo, elevando a pressão osmótica e reduzindo a disponibilidade de água para os vegetais (Richards, 1954). Pode ocorrer, também, o efeito tóxico de íons específicos, como sódio, cloreto e boro, dentre outros, que provocam injúrias associadas à acumulação excessiva desses sais na planta (Flowers, 2004; Flowers & Flowers, 2005).

De acordo com Shibli et al. (2001), o aumento de doses de fósforo (P) pode minimizar os efeitos adversos da salinidade sobre o desenvolvimento das plantas. O P por sua vez, é um elemento pouco móvel no solo e seu suprimento para as raízes é efetuado principalmente pelo processo de difusão em curta distância, o qual depende da umidade do solo e da superfície radicular (Gahoonia et al., 1994), além de que o seu teor no solo é baixo, promovendo limitação nutricional generalizada na produção agrícola nos trópicos (Arf, 1994). Assim, uma adequada nutrição fosfatada é de fundamental importância, em plantas cultivadas sob condições de estresse salino.

No entanto, a interação entre salinidade e adubação fosfatada em plantas é bastante complexa e dependente da espécie vegetal ou cultivar, estágio de desenvolvimento, composição e concentração de sais, além da concentração de P no meio de cultivo (Grattan & Grieve 1999).

Desse modo, acredita que o manejo adequado da adubação fosfatada auxilie na amenização do estresse salino, principalmente quando aplicado associado a outros aditivos atenuadores do estresse. A utilização do superfosfato simples, por exemplo, pode garantir o suprimento não apenas do fósforo, visto que se trata de um fertilizante mineral ou um formulado composto de 18% de P_2O_5 , 16% de Cálcio (Ca) e 8% de Enxofre(S). A presença do sulfato de cálcio componente básico do gesso agrícola exerce resultados promissores em solo alcalinos, haja vista, que o gesso é um dos corretivos mais eficazes na correção de solo sódicos, quando associados à lavagem (Sá et al., 2015).

Dentre as culturas que apresentam potencial para esse estudo, destaca-se a cultura do feijão-Caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) também vulgarmente conhecida como feijão-de-corda, feijão macassar, feijão-fradinho, feijão-de-praia, feijão gerutuba, feijão-trepa-pau, feijão miúdo (Guedes, 2008). Devido a sua grande expressão no semiárido Nordeste, região líder de produção da cultura no país, onde a cultura tem uma grande importância como fonte geradora de emprego e renda e constitui-se em um dos principais componentes da alimentação humana, estando entre as principais culturas de subsistência, em virtude do elevado teor protéico, constituindo-se uma cultura de valor estratégico e atual (Freire Filho et al., 2005).

No entanto, a produção de feijão-Caupi no Nordeste brasileiro tem apresentado, ao longo dos últimos anos, variações importantes de acréscimo e decréscimo, em função dos regimes de secas ocorrentes. Este efeito é mais observado no cultivo de sequeiro, que geralmente é responsável por mais de 70% da produção média anual, ficando os 30% restantes por conta do cultivo irrigado (Frota & Pereira, 2000). Todavia, para que a cultura alcance índices satisfatórios de produtividade é necessário aumentar o número de cultivos irrigados, e para isso, é necessária a determinação de estratégias de manejo da irrigação, a exemplo da utilização de águas de qualidade inferior na agricultura, como as águas salinas.

Com isso, objetivou-se com esse trabalho estudar os efeitos da irrigação com água salina associada à adubação fosfatada com superfosfato simples no balanço de sais no solo e na morfofisiologia de plantas de feijão-Caupi.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Agricultura irrigada

A água é o recurso natural mais abundante na face da terra, cobrindo com cerca de 75% do planeta que, na verdade, poderia chamar-se planeta água, ressaltando-se que a maior parcela deste percentual é de água salgada, contida, principalmente, nos oceanos, sendo a responsável, através da intervenção nos ciclos energéticos físicos, químicos e biológicos pela manutenção da vida. Assim, a opção de uso sustentável dos recursos hídricos deve ser relacionada à manutenção e garantia da qualidade de vida, agregando o desenvolvimento econômico social, aliado à conservação do meio ambiente.

Ressalta-se que, dentre as atividades econômicas, a agricultura é responsável por cerca de 70% do uso consultivo dos recursos hídricos; nota-se também, porém, que as taxas de crescimento da população mundial vêm superando as taxas de crescimento da oferta de alimentos, podendo-se destacar, como alternativa: O aumento de áreas produtivas e aumentar a produtividade (Paz et al., 2000). Estudos preliminares da FAO têm mostrado a importância do aumento da produtividade agrícola para suprir o aumento demográfico e do deslocamento da população para grandes centros urbanos. Tais fatos justificam o uso da água na irrigação de cultivos, como alternativa à melhoria na produtividade e aumento de áreas de cultivo, já que tal tecnologia pode, em média, dobrar a produtividade, possibilitando o cultivo de plantas em épocas e locais com baixa precipitação pluviométrica.

Nota-se, ainda, que o uso de água nos sistemas produtivos, especificamente na irrigação, deve atender a critérios relacionados à quantidade e à qualidade dos recursos hídricos, como mencionado por Ayers & Westcot (1999). No entanto, assim como abordado por estes autores, o aspecto qualidade tem sido pouco considerado devido à quantidade e facilidade na aquisição destes recursos até então ocorrentes. Apesar deste fato se ter modificado em razão da variabilidade climática e do aumento dos impactos ambientais ocasionados pela irrigação, aumentando a importância do uso de águas com melhor qualidade e manejo da irrigação preconizando o uso racional da água.

2.2 Água no semiárido

O semiárido nordestino é uma região pobre em volume de escoamento de água dos rios, devido à variabilidade temporal das precipitações e das características geológicas dominantes, onde há predominância de solos rasos baseados sobre rochas cristalinas e, conseqüentemente, baixas trocas de água entre o rio e o solo adjacente. O que resulta em uma densa rede de rios intermitentes, com poucos rios perenes (Cirilo et al., 2010).

Quanto às águas subterrâneas, há predominância de águas com elevados teores de sais devido ao território nordestino ser constituído por mais de 80% de rochas cristalinas, principalmente distribuídas em poços de baixa vazão: da ordem de $1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (Cirilo et al., 2010). Com exceção do ocorrente em formações sedimentares, onde as águas normalmente apresentam menores concentrações de sais e maiores vazões, que podem chegar a centenas de $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$, de forma contínua (Cirilo, 2008).

Nessa região a demanda por águas de boa qualidade vem forçando a utilização de reservas hídricas com diferentes níveis de salinidade, preservando-se o uso prioritário da “água doce” para consumo humano. Entretanto, as águas de mananciais existentes, em pequenas propriedades e na maioria dos poços no interior da região são de qualidade inferior. A utilização dessas águas fica condicionada à tolerância das culturas à salinidade e ao manejo adequado de irrigação, reduzindo-se os efeitos da salinidade sobre o ambiente (Leprun, 1983; Medeiros, 1992; Martins, 1993; Oliveira & Maia, 1998; Cavalcante et al., 2005).

2.3 Efeitos de sais no solo

A minimização dos impactos ambientais e sociais proporcionados pelas áreas degradadas pelo excesso de sais em áreas irrigadas passa necessariamente pela adoção de técnicas de recuperação. O emprego de corretivos químicos como o gesso, o ácido sulfúrico, o enxofre elementar e matéria orgânica, em solos salino-sódicos têm sido largamente difundido na literatura pertinente (Pitman & Laüchili, 2002; Qadir et al., 2007). Quando empregado corretamente, tais corretivos têm se mostrado eficientes na melhoria das condições químicas e físicas do solo, pela remoção do excesso de sódio trocável e estabelecimento de um pH mais apropriado para o adequado desenvolvimento das plantas e melhoria da estrutura do solo (Tanji, 1990; Suarez, 2001).

É relativo que à salinidade e a sodicidade, são condições de solos que ocorrem principalmente nas regiões áridas e semiáridas. Uma avaliação nessas áreas revela que

os solos afetados por sais ocupam uma superfície de 952, 2 milhões de hectares, constituindo 7% da área total das terras ou 33% dos solos potencialmente aráveis do mundo (Gupta & Abrol, 1990).

No Brasil as áreas salinas localizam-se na região Nordeste ou mais especificamente nos perímetros irrigados, encontrados no Polígono das Secas, que perfazem 57% da área total da região semiárida. São vários os perímetros irrigados no Nordeste: Morada Nova – CE (3611 ha), Lima Campos – CE (353 ha), Moxotó – PE (9147 ha), Curu Paraibana – CE (1941 ha), São Gonçalo – PB (4600 ha), Sumé – PB (147 ha) e Capoeira – PB (320 ha). Na Paraíba a avaliação de 850 ha no perímetro irrigado de São Gonçalo, revela 40% da área afetada por sais (Cordeiro et al., 1988).

Geralmente os altos valores de pH, o excesso de sais e de sódio trocável, as propriedades físicas indesejáveis e a reduzida disponibilidade de nutrientes prejudicam o crescimento adequado das culturas nesses solos. Quando a salinidade não é muito elevada o sódio é o íon predominante, verificando-se toxidez nas plantas, dispersão de argilas e desestruturação dos solos, tornando-os impermeáveis (Lebron et al., 2002; McBride & Baveye, 2002).

Conforme o tipo de problema que afeta os solos salinizados, eles podem ser classificados em salinos, salino-sódicos e sódicos. Os solos salinos correspondem a solos com elevado teor de sais de Na, K, Ca, Mg que se acumulam no perfil do solo (Ribeiro et al., 2003). Nestes solos a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) é maior que 4 dS m^{-1} a 25°C , com uma percentagem de sódio trocável (PST) menor que 15%, geralmente apresentam valores de pH menor que 8,5. Tais solos quase sempre são reconhecidos no campo pela presença de crostas brancas de sal em sua superfície. Em tais solos, o estabelecimento de um sistema de drenagem eficiente permite, através da lavagem, eliminar o excesso de sais na zona radicular das plantas (Richards, 1954). Neste caso o aumento da força iônica da solução do solo pelo excesso de sais diminui a energia livre da água, dificultando sua absorção pelas plantas.

Solos salino-sódicos são aqueles que apresentam elevados teores de sais solúveis associados a elevados teores de sódio trocável. Esses solos apresentam CEes maior que $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°C , PST superior a 15% e pH em geral, maior que 8,5. Nestes solos a simples lavagem não é suficiente para sua recuperação. Nesta condição, o excesso de sódio aliado ao seu elevado raio hidratado, promove dispersão de argilas, as quais são iluviadas no perfil do solo, entupindo os poros e promovendo a formação de camadas adensadas ou impermeáveis. Em geral, sua recuperação requer o uso de corretivos para

a remoção do sódio trocável, melhorar a estruturação do solo antes de ser procedida a aplicação de uma lâmina de lixiviação (Gupta & Goi, 1992; Santos & Muraoka, 1997).

O solos sódicos são aqueles cuja PST é maior que 15%, com CEes menor que 4,0 dS m⁻¹ a 25 °C e valores de pH que variam de 8,5 a 10,0. Neste solo, a fração argila e a matéria orgânica em geral encontram-se dispersa, o que causa um escurecimento característico na superfície do mesmo. A infiltração e a percolação da água nestes solos são extremamente afetadas, causando dificuldade na sua reabilitação/recuperação. Assim como nos solos salino-sódicos, o uso de corretivos químicos antes da aplicação de uma lâmina de lixiviação é fundamental de importância para sua recuperação.

2.4 Efeito de sais nas plantas

Os solos afetados por sais podem causar efeitos adversos no crescimento da maioria das plantas devido à presença de sais solúveis e sódio trocável na zona radicular, causando redução na produção e produtividade a níveis antieconômicos, constituindo-se num sério problema nas áreas irrigadas, principalmente das zonas áridas e semiáridas, caracterizadas por elevadas taxas de evapotranspiração e baixos índices pluviométricos, fazendo com que os sais não sejam lixiviados e acumulem-se em quantidades excessivas no solo (Oliveira, 1997; Lima, 1997). Nessas áreas, os efeitos adversos da salinidade sobre as plantas constituem um dos fatores limitantes da produção agrícola, devido principalmente à diminuição do potencial osmótico da solução do solo e toxidez causada pela alta concentração de íons específicos tais como o sódio e o cloreto (Munns, 2002).

O manejo inadequado da água de irrigação associado ao uso intensivo de fertilizantes têm contribuído para o aumento de áreas agricultáveis com problemas de salinidade. Esse fato é verificado particularmente nas regiões áridas e semiáridas, devido à escassez da precipitação pluvial e à alta demanda evaporativa, que dificultam a lixiviação dos sais no solo. Estima-se que no Brasil exista aproximadamente, nove milhões de hectares com problemas de salinidade, a maior parte dessa área localizada nos perímetros irrigados do Nordeste (Carneiro et al., 2002).

Segundo Barros (2001), problemas de salinização do solo ocorrem em condições naturais, no entanto os problemas mais significativos de salinização são representados por solos com histórico anteriormente produtivo e que se tornaram salinos através de processos de irrigação, desta forma é importante considerar o uso sucessivo da irrigação

como sendo um dos principais fatores responsáveis pela salinização dos solos, o qual acarreta problemas como perda da fertilidade, restrição ao movimento livre de ar, água, enraizamento e produtividade das culturas (Leite, 2002), estes por sua vez resultam da acumulação de sais na dissolução do solo, acarretando o aumento do potencial osmótico impedindo ou dificultando a captação de água por parte da planta. De acordo com Almeida (2010) o principal agente causador da salinidade dos solos é a qualidade da água utilizada na irrigação, agravando-se com o uso inadequado.

Águas salinas utilizadas na irrigação podem representar risco para a produção agrícola das culturas. Em certos casos, essas águas promovem alterações nas condições físico-químicas em proporções que desfavorecem o crescimento e o desenvolvimento da maioria das culturas (Alencar et al., 2003).

Os sais podem afetar o crescimento das plantas em virtude da sua concentração na solução do solo, elevando a pressão osmótica e reduzindo a disponibilidade de água para os vegetais (Richards, 1954); pode ocorrer, também, o efeito tóxico de íons específicos, como sódio, cloreto, boro e nitrato, dentre outros, que provocam injúrias, associado à acumulação excessiva do íon específico na planta (Flowers, 2004; Flowers & Flowers, 2005).

O conhecimento do teor médio de sais na zona radicular, tolerável pelas plantas, sem afetar significativamente seus rendimentos, pode favorecer a utilização de águas com certo grau de salinidade, tão comuns no Nordeste brasileiro. Nesse sentido devem ser realizados estudos visando à obtenção de índices de tolerância das culturas à salinidade, propiciando dessa forma o estabelecimento do grau de restrição das águas para irrigação (Steppuhn, 2001).

2.5 Cultura do Feijão-Caupi

2.5.1 Origem, Botânica e Características Morfológicas

O feijão-Caupi é originário da África, e foi domesticado nas regiões semiáridas desse Continente, onde ainda se encontram as áreas de maior produção. A cultura desenvolve-se em ampla faixa geográfica, deste a latitude 40 °N até 30 °S, adaptando-se tanto a terras altas como baixas, no oeste da África, na Ásia, na América Latina e na América do Norte (Freire Filho et al., 2005), atingindo produções satisfatórias em uma faixa de temperatura entre 18 e 34 °C (Valadares et al., 2008).

O feijão-caupi é uma planta Dicotyledonea que, segundo Verdcourt (1970) apresenta a seguinte classificação taxonômica: Ordem - Fabales; Família - Fabaceae; Subfamília - Faboideae; Tribo - Phaseoleae; Subtribo - Phaseolinae; Gênero - *Vigna*; Subgênero - *Vigna*; Secção - *Catjang*; Espécie - *Vigna unguiculata* (L.) Walp.; Subespécie - *unguiculata* Verdc.

A espécie *Vigna unguiculata* L. Walp tecnicamente conhecida como feijão-caupi é também vulgarmente conhecida como feijão-de-corda, feijão macassar, feijão-fradinho, feijão-de-praia, feijão gerutuba, feijão-trepa-pau, feijão miúdo (Guedes, 2008).

O feijão-caupi possui germinação epígea, com os cotilédones inseridos no primeiro nó do ramo principal. Seu sistema radicular é do tipo axial, relativamente superficial, atingindo profundidades de até 2,0 m. A raiz principal e as secundárias apresentam nódulos quase sempre eficientes devido à associação com bactérias nitrificadoras nativas do solo (Mafra, 1979). A arquitetura da planta é variável em função das distintas cultivares, sendo verificado de plantas de porte ereto, semiereto, semiprostrado e prostrado, com o número de nós e de ramificações variáveis (Freire Filho 2005). Quanto ao hábito de crescimento, as plantas podem ser de crescimento determinado, crescendo até a emissão da inflorescência ou de crescimento indeterminado quando o ramo principal continua crescendo até o final do ciclo. As primeiras folhas são sésseis, simples e opostas, e as folhas secundárias são trifolioladas e longo-pecioladas e assimétricas em que o folíolo cetral apresenta maior tamanho variando de formas lineares lanceoladas a ovaladas (Araújo, 1979).

Quanto a inflorescência, estas são formada a partir de um eixo central, que consiste de racemos modificados (6 a 8 pares de gemas florais), podem ser simples (1 inflorescência) ou compostas (1 < inflorescência). Suas flores são classificadas como perfeitas, zigomorfas e distribuídas aos pares no racemo, na extremidade do pedúnculo, região que antecede a flor ou o fruto, o qual se desenvolve na axila da folha. O cálice é pentâmero, persistente e gamossépalo, variando de verde a roxo. A corola é pentâmera e dialipétala. A maior pétala é denominada de estandarte e está localizada na parte posterior da flor. Durante a antese, o estandarte é a única pétala que se abre completamente, enquanto as demais permanecem na mesma posição que ocupavam anteriormente na gema. As duas pétalas laterais, denominadas asas, cobrem as pétalas inferiores. O estandarte e as asas podem apresentar padrão de coloração completamente branca à completamente roxa ou intermediária. O androceu apresenta-se incluso em relação à corola. É composto de dez estames, sendo um livre e nove unidos (Rocha et

al., 2001). A biologia floral desta cultura mostra que ela é bastante evoluída, pois, embora sendo amplamente autopolinizada, mantém a capacidade da polinização cruzada em pequenas taxas que varia com o ambiente e com o genótipo (Rocha et al., 2001).

O fruto é uma vagem de tamanho e forma variável, contendo no seu interior sementes disposta em fileiras (Mafra, 1979). A semente de caupi é constituída externamente de um tegumento ou testa, hilo e caracteres relacionados ao hilo. Ela pode apresentar forma arredondada, ovalada, elíptica, reniforme, losangular, quadrangular e comprimida, ondem podem ser encontrados grãos de caupi com variabilidade na cor e no tamanho (Freire Filho et al, 2011).

2.5.2 Importância econômica, social e alimentar

Os principais produtores mundiais de feijão-Caupi são: Nigéria, Níger e Brasil, comportando também a maior área cultivada (Freire Filho et al., 2011). No que diz respeito a exportação a preferência é da classe comercial branco e subclasse fradinho, cuja característica apresenta grãos brancos de coloração preta ou marrom em volta do hilo. Esse tipo de grão é também importado por cerealistas brasileiros para atender aos mercados das regiões sul e sudeste (Vilarinho et al., 2012).

Devido a sua adaptabilidade, versatilidade e potencial nutritivo é um importante alimento e componente fundamental dos sistemas de produção nas regiões secas dos trópicos, cobrindo parte da Ásia, Estados Unidos, Oriente Médio e Américas Central e do Sul (Singh et al., 2002). Nessas regiões, o feijão-caupi constitui-se em uma das principais fontes de proteína vegetal, especialmente para as populações de baixa renda (Grangeiro et al., 2005).

No Brasil o feijão-Caupi apresenta grande importância socioeconômica e desempenha papel fundamental na produção agrícola. É pouco exigente em fertilidade do solo e apresenta boa capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* (Andrade Jr. et al., 2002). Devido ao seu valor é produzido para obtenção de grãos secos e verdes, sendo consumido *in natura*, na forma de conserva ou desidratado (Freire Filho et al., 2005). No geral, apresenta cerca de 60% de carboidratos, 1,3% de gorduras e 3,9% de fibras. Suas folhas e os ramos do feijão-caupi podem ser utilizados como complemento na alimentação animal e sua massa verde pode ser incorporada aos solos como fonte de matéria orgânica (Alves et al., 2009).

Diante da importância da cultura do feijão-caupi para o Brasil, cresce a necessidade de expansão de seu cultivo, tornando-se cada vez mais importante a busca por alternativas de melhoria em seu sistema de cultivo, cultivares adequadas, pois o aumento da sua produtividade é de grande interesse para o setor agrícola nacional. Seu cultivo é principalmente realizado por pequenos produtores que geralmente utilizam mão de obra familiar, destinando-a para sua própria subsistência e com venda de pequenos volumes excedentes em feiras livres (Guedes, 2008).

O feijão-caupi é cultivado nas regiões Norte e Nordeste, principalmente Nordeste onde tem uma grande importância como fonte geradora de emprego e renda e constitui-se em um dos principais componentes da alimentação humana dessas regiões, estando entre as principais culturas de subsistência, em virtude do elevado teor protéico, constituindo-se uma cultura de valor estratégico e atual (Freire Filho et al., 2005).

2.5.3 Potencial de cultivo do feijão-Caupi

O Brasil é o terceiro maior produtor de feijão-Caupi, e no país se destacam principalmente as regiões Nordeste (1,2 milhão de hectares) e Norte (55,8 mil hectares), no entanto, a cultura está conquistando espaço na região Centro-Oeste, em razão do desenvolvimento de cultivares com características que favorecem o cultivo mecanizado. A cultura atinge uma produtividade média de 366 kg ha^{-1} , em função do baixo nível tecnológico empregado no cultivo a exemplo do consórcio com outras culturas (Oliveira, 2013). No entanto cultivares melhoradas e linhagens elite de feijão-caupi têm apresentado produtividades superiores a 2.600 kg ha^{-1} (Bezerra, 1997), demonstrando que a produtividade dessa cultura pode ser aumentada por meio do uso de cultivares melhoradas, contribuindo para reduzir custos de produção e para melhorar a oferta do produto (Sponholz et al., 2006).

A produção de feijão-Caupi no Nordeste brasileiro tem apresentado, ao longo dos últimos anos, variações importantes de acréscimo e decréscimo, com tendência oscilante, em função dos regimes de secas ocorrentes. Este efeito é mais observado no cultivo de sequeiro (plantio das águas), que geralmente é responsável por mais de 70% da produção média anual, ficando os 30% restantes por conta do cultivo irrigado (Frota & Pereira, 2000).

O feijão-caupi por muito tempo foi encarada como uma cultura de subsistência, em que agricultores de pequeno porte e, em minoria, de médio porte, cultivavam a

mesma em ambientes não adequados e, além disso, com utilização restrita de insumos tecnológicos. Atualmente a comercialização do feijão-caupi vem se expandindo para além das fronteiras das regiões Norte e Nordeste do país, inclusive sendo comercializado em bolsas de mercadorias da região Sudeste e no exterior, despertando o interesse de grandes produtores das regiões Centro-Oeste e Sudeste, tornando-se nova opção para o cultivo na safrinha (Freire Filho et al., 2001).

Esse potencial impulsionou pesquisadores a desenvolver cultivares melhoradas com alto potencial que comportem pacotes tecnológicos em sua cadeia de produtiva. Esse estudos estão sendo principalmente realizado pelo Programa de Melhoramento de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte, que nos últimos anos, tem buscado incessantemente atingir, além do pequeno agricultor, o produtor empresarial (Silva, 2008).

2.5.4 Tolerância do feijão-Caupi à salinidade

O feijão-Caupi é considerado moderadamente tolerante à salinidade, tolerando água salina com condutividade elétrica de até $3,3 \text{ dS m}^{-1}$ e salinidade limiar do solo (CE_{es}) em torno de $4,9 \text{ dS m}^{-1}$ (Ayers & Westcot, 1999). As concentrações de sais que restringem o crescimento do feijão-Caupi variam entre os cultivares e parecem depender da composição iônica do meio (Lacerda, 1995). Estudos realizados em condições de campo demonstraram que o uso de águas salinas na irrigação dessa cultura provocou acúmulo de sais no solo e reduziu o crescimento vegetativo e a produção de grãos (Wilson et al., 2006; Assis Júnior et al., 2007). Sendo verificado redução de 25% na atividade fisiológicas das plantas sob condições de estresse salino (Furtado et al., 2013).

O comportamento de plantas são variáveis em relação à salinidade e sodicidade, estando estreitamente relacionado a sensibilidade do genótipo e a intensidade e duração do estresse. O feijão-Caupi pelo seu elevado valor nutritivo, maior rendimento em grãos e maior tolerância à salinidade, quando comparado ao feijão-Caupi comum é cultivado em áreas irrigadas e não irrigadas na região do Nordeste do Brasil (Barros et al., 2009).

Dantas et al. (2002) avaliando o potencial de tolerância de plantas de feijão-Caupi encontraram três genótipos de caupi tolerantes a até 6 dS m^{-1} , demonstrando que o caupi tem alta capacidade de crescimento e produção em ambiente de alta salinidade e que esse fenômeno está sob controle genético. Costa et al. (2003) também

comprovaram os efeitos do sal, testando diferentes cultivares de feijão-Caupi em solução com 75 mmol L^{-1} de NaCl. Esses autores observaram que o grau de tolerância à salinidade variou de cultivar para cultivar. Os mais tolerantes apresentaram maior suculência foliar e índice de esclerofilia. Na avaliação do crescimento de três cultivares de feijão-Caupi submetidas a estresses salinos de 2 e 10 dS m^{-1} , Patel et al. (2010) constataram que houve redução na biomassa seca da parte aérea da planta com o aumento nos níveis de salinidade, da ordem de 33, 39 e 43%, para as cultivares Akshay-102, Gomtivu-89 e Pusa Falguni, respectivamente.

Praxedes et al. (2009) verificou que plantas de Caupi sensíveis apresentam maior acúmulo de prolina em função do estresse salino, indicando que esta pode ser um mecanismo de proteção do feijão-Caupi contra o excesso de sais. Indagando que aumentos nas concentrações de aminoácidos devem estar relacionados à inibição do crescimento das plantas, uma vez que o cultivar que apresentou maior inibição do crescimento, também apresentou tendência de acúmulo de aminoácidos.

2.5.5 Características Fisiológicas

O feijão-Caupi apresenta metabolismo fotossintético do tipo C3, onde a primeira molécula estável resultante da fixação do carbono atmosférico apresenta três átomos de carbono (triose) (Taiz & Zeiger, 2013). As plantas de Caupi saturam-se fotossinteticamente a intensidades de luz relativamente baixas (Santos et al. 2011). E apresentam taxa fotossintética variando entre 12 e $31 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1})$, que dependem das condições climáticas e da ausência e presença de estresses hídricos e salinos, nesses molde também são verificadas condutância estomáticas entre 0,28 à $2,5 (\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1})$, atingindo taxas transpiratórias de 2 a $10 (\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ (Neves et al., 2009; Souza et al., 2011; Furtado et al., 2013).

Neves et al., (2009) verificaram que aplicação de água salina ($5,0 \text{ dS m}^{-1}$) durante todo o ciclo e durante a germinação e estágio inicial de crescimento, em relação à aplicação de água de baixa salinidade ($0,8 \text{ dS m}^{-1}$), reduziu as taxas de fotossíntese e transpiração e as taxas de crescimento vegetativo e ainda provocou acúmulo especialmente de Na^+ e Cl^- , porém nas plantas submetidas ao estresse apenas na fase inicial verificou-se recuperação de todas essas variáveis ao final do ciclo da cultura.

Souza et al. (2011) avaliando o comportamento fisiológico de plantas de feijão-Caupi, verificaram que as reduções na assimilação líquida de CO_2 sob condições de estresse salino, são ocasionadas pelo fechamento estomática, induzindo ao decréscimo da eficiência aparente de carboxilação, e que esse comportamento é devido aos íon cloreto. Os autores verificaram ainda, que o Caupi apresenta características fisiológicas favoráveis à manutenção do processo fotossintético sob curta exposição à salinidade, especialmente quanto à atividade fotoquímica, e que exclusão foliar de Na^+ e a manutenção da disponibilidade de carboidratos solúveis, mesmo sob altas concentrações de NaCl, contribuem para a resistência ao estresse salino.

Esse efeitos podem estar relacionado a deficiência que fósforo, de modo que o decréscimos da ciclagem de P entre o citoplasma e o estroma, ocasionado pela deficiência do nutriente, pode levar a diminuições no consumo e na produção de ATP e NADPH, menor carboxilação/regeneração de Ribulose 1,5 bifosfato carboxilase oxigenasse (Rubisco), decréscimo na expressão de genes relacionados à fotossíntese, fechamento estomático e menor condutância do mesofilo (Lawlor & Cornic, 2002; Flügge et al., 2003; Shubhra et al., 2004). Resultado em comprometimento da atividade fotossintética das plantas, com possível redução de seu crescimento e desenvolvimento.

2.6 Adubação Fosfatada no Caupi

Em solos tropicais, a prática da adubação fosfatada é crucial para de obter rendimentos satisfatórios das culturas (Sanchez & Salinas, 1981). Em regiões onde a agricultura é tradicionalmente praticada em cultivos de subsistência, a disponibilidade de elementos minerais às plantas é, sem dúvida, o fator primordial ao qual culturas como o Caupi, respondem com crescimento, desenvolvimento e produções permitindo, desta forma, que os agricultores permaneçam no campo (Parry et al., 2008).

O fósforo (P), por sua vez, é um elemento pouco móvel no solo e seu suprimento para as raízes é efetuado principalmente pelo processo de difusão em curta distância, o qual depende da umidade do solo e da superfície radicular (Gahoonia et al., 1994), além de que o seu teor no solo é baixo, promovendo limitação nutricional generalizada na produção agrícola nos trópicos (Arf, 1994). Principalmente devido a baixa eficiência da adubação fosfatada, haja vista que a maior parte do fósforo adicionado ao solo via adubação é imobilizado ou não está disponível, em virtude de

reações de adsorção em coloides minerais, precipitação ou conversão em formas orgânicas (Holford, 1997).

Dessa forma poucos trabalhos relatam a eficiência da adubação fosfatada no feijão-Caupi. De acordo com Silva (2007) para solos com concentração inicial de P acima de 141 mg dm^{-3} (resina), deve-se realizar a adubação com 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , para se obterem retornos econômicos elevados em feijão-Caupi, quando o objetivo for a produção de grãos verdes, o que mostra a importância do correto manejo da adubação fosfatada nessa cultura.

Silva et al., (2010) ressalta que além da aplicação de adubos fosfatados, a forma como esses insumos são aplicados deve ser também considerada no manejo das culturas. Segundo Novais et al. (1985), em função das elevadas taxas de adsorção de fósforo (P), a aplicação localizada deste nutriente pode ser mais vantajosa, principalmente em solos com baixos teores de P disponível.

2.6.1 Superfosfato simples

O superfosfato simples é um fertilizante mineral ou um formulado composto de 18% de P_2O_5 , 16% de Cálcio (Ca) e 8% de Enxofre(S). A presença do sulfato de cálcio na composição desses fertilizantes, favorece o desenvolvimento das plantas em solos do cerrado, diminuindo a toxidez de alumínio e deficiência de cálcio nas camadas subsuperficiais do solo, contribuindo para o aprofundamento do sistema radicular e uma maior tolerância aos problemas de veranicos (Lopes et al. 2010). Acredita-se ainda que a presença do sulfato de cálcio, exerça resultado promissores em solo alcalinos, haja vista que o gesso é um dos corretivos mais eficaz na correção de solo sódicos (Sá et al., 2015).

A aplicação do fertilizante fosfatado em sulco duplo proporcionou maior crescimento, produção de grãos e absorção de fósforo pelas plantas, não havendo diferença entre a aplicação a lanço e em sulco simples. A dose de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 proporcionou maior produtividade de grãos de feijão-caupi e aumentou a concentração de fósforo nas folhas quando aplicada em sulco duplo (Silva et al., 2010).

Fonseca et al. (2010) verificou a interação entre as doses de P e a saturação por bases influenciou os teores e os acúmulos de micronutrientes em plantas de feijão-Caupi. Havendo aumento do Cu, Mn e B e diminuição do Fe e do Zn com as doses de P. Os autores verificaram ainda que o N e o P são os nutrientes exportados em maior

quantidade pelos grãos, em relação à quantidade acumulada na matéria seca da parte aérea.

2.6.2 Fósforo vs. Salinidade

Estudos vêm sendo realizados com o intuito de avaliar a influência da adubação fosfatada em plantas cultivadas em condições salinas e em sua maioria verificam-se resultados promissores a exemplo: De Lacerda et al. (2006) em plantas de sorgo forrageiro, que constaram a existência de interação entre salinidade e fósforo sobre o desenvolvimento e nutrição das plantas, verificando que os teores de P no tecido foliar aumentaram em resposta ao aumento de P na solução, independente do nível de salinidade.

No entanto, a interação entre salinidade e adubação fosfatada em plantas é bastante complexa e dependente da espécie vegetal ou cultivar, estágio de desenvolvimento, composição e concentração, além da concentração de P no meio de cultivo (Grattan & Grieve 1999). Souza et al. (2012) avaliando os componentes de produção de pinhão manso irrigados com água de diferentes condutividades elétricas e doses de fósforo observaram que somente o número de dias para emissão da inflorescência é afetado pelas doses de fósforo.

De outra maneira Oliveira et al. (2010), verificou que a qualidade da água de irrigação é fator fundamental na determinação da adubação fosfatada, com resposta mais eficiente em irrigações com águas de baixa salinidade. Além de que doses crescentes de fósforo reduziram a sensibilidade da cultura do rabanete irrigado com água de salinidade até $3,5 \text{ dS m}^{-1}$.

Entretanto, a predominância de Na^+ e de Cl^- na solução do solo afeta o crescimento das plantas, além de causar toxidez, acarretando mudanças na capacidade da planta para absorver, transportar e utilizar os íons necessários ao seu crescimento. A exemplo do acúmulo de fósforo na folha, como verificado por Silva et al. (2003) em plantas de feijão-de-corda submetidas a estresse salino. De acordo com Shibli et al. (2001), o aumento de doses de P pode minimizar os efeitos adversos da salinidade sobre o desenvolvimento das plantas. Assim, uma adequada nutrição fosfatada é de fundamental importância, em plantas cultivadas sob condições de estresse salino.

Os resultados sobre o acúmulo de fósforo nas folhas de plantas estressadas evidenciam a necessidade de cautela no caso de adubação fosfatada em meio salino. É

possível que o nível ótimo do nutriente para a produção vegetal, na ausência de sais, possa ser tóxico para algumas plantas quando cultivadas em meio salino (Larceda et al. 2006).

LITERATURA CITADA

Alencar, R. D.; Porto Filho, F. Q.; Medeiros, J. F.; Holanda, J. S.; Porto, V. C. N.; Ferreira Neto, M. Crescimento de cultivares de melão amarelo irrigadas com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.221-22, 2003.

Almeida, O. A. Qualidade de água de irrigação. Cruz das Almas - BA: Empraba Mandioca e Fruticultura. 1ª Ed. 2010, 233 p.

Alves, J. M. A.; Araújo, N. P.; Uchôa, S. C. P.; Albuquerque, J. A. A.; Silva, A.J.; Rodrigues, G. S.; Silva, O. D. C. Avaliação agroeconômica da produção de cultivares de feijão-caupi em consórcio com cultivares de mandioca em Roraima. *Revista Agro@mbiente On-line*, v.3, p.15-30, 2009.

Andrade Junior, A.S., Santos, A. A., Sobrinho, A.C., Bastos, E. A., Melo, F. B., Viana, F.M.P., Freire Filho, F. R., Carneiro, J. S., Rocha, M. M., Cardoso. M.J., Silva, P.H. S., Ribeiro, V.Q. (2002) Cultivo de feijao-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Terezina - PI: Embrapa meio Norte, Boletim técnico 110 p.

Araújo, J. P. P. Morfologia: estágios de crescimento e desenvolvimento do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). spp. *Unguiculata*. In: Curso de treinamento para pesquisadores de feijão-caupi, 1., 1979, Goiânia. Anais... Goiânia: EMBRAPA-CNPAF/IITA, 1979. p. 1-19.

Arf, O. Importância da adubação na qualidade do feijão e caupi. In: Sá, M. E.; Buzetti, S. Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas. São Paulo. p. 233-248, 1994.

Assis Júnior, J. O.; Lacerda, C. F.; Silva, F. B.; Silva, F. L. B.; 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. *Engenharia Agrícola*, v.27, p.702-713, 2007.

Ayres, R. S.; Wescot, D. W. A qualidade da água na agricultura. Tradução de Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Damasceno, E. F. A. V. Campina Grande, UFPB, 1999. 153p.

Barros, M. F. C. Recuperação de solos salino-sódicos pelo uso do gesso jazida e calcário. 2001. 112p.Tese (Doutorado Ciência do Solo e Nutrição de plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2001.

Barros, M. F. C.; Bebé, F. V.; Santos, T. O.; Campos, M. C. C. Influência da aplicação de gesso para correção de um solo salino-sódico cultivado com feijão caupi. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.9, p.77-82, 2009.

Bezerra, A. A. C. Variabilidade e diversidade genética em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) precoce, de crescimento determinado e porte ereto e semi ereto. 1997. 105 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) -Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 395p.

Carneiro, P.T.; Fernandes, P.D.; Gheyi, H.R.; Soares, F.A.L. Germination and initial growth of precocious dwarf cashew genotypes under saline conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v.6, p.199-206, 2002.

Cavalcante, L. F.; Cavalcante, I. H. L.; Pereira, K. S. N.; Oliveira, F. A. De; Gondim, S. C.; Araújo, F. A. R. De. Germination and initial growth of guava plants irrigated with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.515-519, 2005.

Cirilo, J. A. ; Montenegro, S. M. G. L. ; Campos, J. N. B. A questão da água no semiárido brasileiro. In: Bicudo, C. E. M.; Tundisi, J. G.; Scheuenstuhl, M. C. B. (Org.). *Águas do Brasil análises estratégicas*. 1ed. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010, v.1, p.81-91.

Cirilo, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido brasileiro. Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 63, p. 61-82, 2008.

Cordeiro, G.G.; Barreto, A.N.; Carvajal, A.C.N. Levantamento das condições de salinidade e sodicidade do Projeto de irrigação de São Gonçalo (2a parte). Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1988. 57p. (Documentos 54).

Costa, P.H.A.; Silva, J.V.; Bezerra, M.A.; Enéas-Filho, J.; Prisco, J.T; Gomes-Filho, E. Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidos à salinidade. *Revista Brasileira de Botânica*, v.26, p.289-297, 2003.

Dantas, J. P.; Marinho, F. J. L.; Ferreira, M. M. M.; Amorim, M. S. N.; Andrade, S. I. O.; Salles, A. L. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, p.425-430, 2002.

Flowers, T. J. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, v.55, n.396, p.307-319, 2004.

Flowers, T. J.; Flowers, S. A. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? *Agricultural Water Management*, v.78, p.15-24, 2005.

Flügge, U. I.; Häusler, R. E.; Ludewig, F.; Fischer, K. Functional genomics of phosphate antiport systems of plastids. *Physiologia Plantarum*, v.118, p.475-482, 2003.

Fonseca, M. R.; Fernandes, A. R.; Silva, G. R.; Brasil, E. C. Teor e acúmulo de nutrientes por plantas de feijão caupi em função do fósforo e da saturação por bases. *Revista Ciências Agrárias*, v.53, p.195-205, 2010.

Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q.; Barreto, P. D. Santos, A. A. Melhoramento genético. In: Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q.; Barreto, P. D. Santos, A. A. *Feijão caupi: avanços tecnológicos*. Brasília: EMBRAPA, 2005. Cap. 1. p. 29–92.

Freire Filho, F.R.; Lima, J.A.A.; Silva, P.H.S.; Ribeiro, V.Q. (Eds.). Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001. 519 p.

Freire Filho, R. R.; Ribeiro, V. Q.; Rocha, M. M.; Silva, K. J. D.; Rocha, M. S.; Rodrigues, E. V. Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2011. 84 p.

Frota, A. B.; Pereira, P. R. Caracterização da produção de feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil. In: CARDOSO, M. J.(Org.). A cultura do feijão-caupi no Meio Norte do Brasil. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000.

Furtado, G. F.; Soares, L. A. A.; Sousa, J. R. M.; Andrade, E. M. G.; Guerra, H. O. C. Alterações fisiológicas em feijão-Caupi irrigado com água salina e adubação nitrogenada. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.8, p.175-181, 2013

Gahoonia, T. S.; Raza, S.; Nielsen N. E. Phosphorus depletion in the Rhizosphere as Influenced by Soil Moisture. Plant And Soil, v. 159, p. 213-218, 1994.

Grangeiro, T. B.; Castellón, R. E. R.; Araújo, F. M. M. C.; Silva, S. M. De S.; Freire, E. A.; Cajazeiras, J. B.; Amaral Neto, M.; Grangeiro, M. B.; Cavada, B. S. Composição bioquímica da semente. In: Freire Filho, F. R.; Lima, J. A. A.; Ribeiro, V. Q. (Eds.). Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.338-365.

Grattan, S. R.; Grieve, C. M. Salinity-mineral relations in horticultural crops. Scientia Horticulturae, v.78, p.127-157, 1999.

Guedes, R.E. Bases para o Cultivo Orgânico de Feijão-Caupi [*Vigna unguiculata* L. (Walp.)] no Estado do Rio de Janeiro. 2008, 93p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Seropédica - RJ.

Gupta, J.P.; Goi, A.T.R. Effect of gypsum applications on physicochemical characteristics of sodic soil and crop yield of rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*). Indian Journal of Agronomy, v.37, p.812-814, 1992.

Gupta, R.K.; Abrol, I.P. Salt-affected soils: their reclamation and management for crop production. Advances in Soil Science, v.11, p.224-88, 1990.

Holford, I. C. R. Soil Phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. Journal of Soil Research, v.35, p.227-239, 1997.

Lacerda, C. F. Efeitos da salinidade no desenvolvimento e composição mineral do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e utilização do Ca²⁺ como meio para minorar tais efeitos. 1995. 87f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE.

Lacerda, C. F.; Moraes, M. M. M.; Prisco, J. T.; Gomes Filho, E.; Bezerra, M. A. Interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo forrageiro. *Revista Ciência Agronômica*, v.37, p.258- 263, 2006.

Lawlor, D. W.; Cornic, G. Photosynthetic carbon and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*, v.25, p.275-294, 2002.

Lebron, I.; Suarez, D.L.; Yoshida, T. Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. *Soil Science Society of America Journal*. v.66, p.92-98, 2002.

Leite Neto, F. O. Recursos hídricos do estado da bahia: uma avaliação. 2002. 6f. Artigo (Especialização em Economia Baiana) – Universidade Salvador: UNIFACS. Salvador - BA.

Leprun, J.C. Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste. Relatório do convênio de manejo e conservação do solo do Nordeste brasileiro. Recife: SUDENE, 1983. p.91-141.

Lima, L.A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: Gheyi, H.R.; Queiroz, J. E.; Medeiros, J. F.(Ed.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997. p.113-33.

Lopes, A. S.; Guilherme, L. R. G.; Cunha, J. F. Superfosfatos simples e outros fertilizantes fosfatados solubilizados industrialmente via rota do ácido sulfúrico. São Paulo: Ed. Gráfica Nagy, 2010. 48 p.

Mafrá, R. C. Contribuição ao estudo do “feijão massacar”: fisiologia, ecologia e tecnologia de produção. In: Curso de treinamento para pesquisadores de feijão-caupi, 1., 1979, Goiânia. Anais... Goiânia: EMBRAPA-CNPAP/IITA, 1979. p. 1-39.

Martins, L. H. Avaliação da qualidade da água nos mananciais superficiais disponíveis para irrigação na zona Oeste Potiguar. Mossoró: ESAM, 1993. 97p. Monografia de Especialização.

McBride, M.B.; Baveye, P. Diffuse double-layer models, long-range forces, and ordering in clay colloids. *Soil Science Society of America Journal*, v.66, p.1207-1217, 2002.

Medeiros, J.F. Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos Estados do RN, PB e CE. Campina Grande, 1992. 173p. Dissertação - (Mestrado em Irrigação e Drenagem), Universidade Federal da Paraíba.

Medeiros, J.F.; Lisboa, R. A.; Oliveira, M.; Silva Júnior, M. J. ; Alves, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, v.7, p.469-472, 2003.

Munns, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, v. 25, p. 239–250, 2002.

Neves, A. L. R.; Lacerda, C. F.; Guimarães, F. V. A.; Gomes Filho, E.; Feitosa, D. R. C. Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.873–881, 2009.

Novais, R. F.; Ferreira, R. P.; Neves, J. C. L.; Barros, N. F. Absorção de fósforo e crescimento do milho com sistema radicular parcialmente exposto à fonte de fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.20, p.749-754, 1985.

Oliveira, F. R. A.; Oliveira, F. A. O.; Medeiros, J. F.; Sousa, V. F. L.; Freire, A. G. Interação entre salinidade e fósforo na cultura do rabanete. *Revista Ciências Agronômica*, v.41, p.519-526, 2010.

Oliveira, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada: XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Campina Grande, UFPB/SBEA, 1997. p.1-35.

Oliveira, M.; Maia, C.E. Qualidade físicoquímica da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, p.42-46, 1998.

Oliveira, S. R. M. Densidade populacional do feijão-caupi sob níveis de irrigação. 2013, 103p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza- CE.

Parry, M. M.; Kato, M. S. A.; Carvalho, J. G. Macronutrientes em caupi cultivado sob duas doses de fósforo em diferentes épocas de plantio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.236–242, 2008.

Patel, P. R.; KajaII, S. S.; PatelI, V. R.; Patel, V. J.; KhristiII, S. M. Impact of saline water stress on nutrient uptake and growth of cowpea. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.22, p.43-48, 2010.

Paz, V.P.S.; Teodoro, R.E.F.; Mendonça, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v.4, p. 465-473, 2000.

Pitman, M.G., Laüchli, A. Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: Laüchli, A; Lüttge, U. (Ed.). *Salinity: Environment–Plants–Molecules*, Kluwer Academic, Dordrecht, the Netherlands. 2002. p. 3 - 20.

Praxedes, S. C.; Ferreira, T. M.; Gomes Filho, E. Acúmulo de prolina e aminoácidos em cultivares de feijão caupi com tolerância diferencial à salinidade. *Revista Caatinga*, v.22, p.211-214, 2009.

Qadir, M.; Oster, J.D.; Schubert, S.; Noble, A.D.; Sahrawat, K.L. Phytoremediation of Sodic and Saline-Sodic Soils. *Advances in Agronomy*, v.96, p.197-247, 2007.

Rebouças, A.C. Água na Região Nordeste: desperdício e escassez. Universidade de São Paulo, São Paulo, v.11, p.127-154, 1997.

Rhoades, J.D.; Kandiah, A.; Mashali, Q.M. The use of saline waters for crop production. Rome: FAO, 1992. 133p. (Irrigation and Drainage Paper, 48).

Ribeiro, M.R.; Freire, F. J.; Montenegro, A.A.A. Solos Halomórficos do Brasil: Ocorrência, Gênese, Classificação, Uso e Manejo Sustentável. In: Curi, N.; Marques, J.J.; Guilherme, L.R.G.; Lima, J.M.; Lopes, A.S.; Alvarez, V.H. Tópicos em Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v.3, Viçosa, 2003.

Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954, 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

Rocha, F. M. R.; Mousinho, S. F.; Freire Filho, F. R.; Silva, S. M. S. E; Bezerra, A. A. C. Aspectos da biologia floral do caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) In: Reunião nacional de pesquisa de caupi, 5., 2001, Teresina. Avanços tecnológicos no feijão caupi: Anais. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001. p.27-29. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 56).

Sá, F. V. S.; Mesquita, E. F.; Bertino, A. M. P.; Costa, J. D.; Araújo, J. L. Influência do gesso e biofertilizante nos atributos químicos de um solo salino-sódico e no crescimento inicial do girassol. Irriga, v.20, p.46-59, 2015.

Sanchez, P.A.; Salinas, J.G. Low input Technology of managing oxisols and ultisols in tropical América. Advances in Agronomy, v.24, p.280-406, 1981.

Santos, R.V.; Muraoka, T. Interação salinidade e fertilidade do solo In: Gheyi, H.R.; Queiroz, J.E.; Medeiros, J.F. (Ed.) Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997. p.289-317.

Shibli, R. A.; Sawwanc, J.; Swaidata, I.; Tahatc, M. Increased phosphorus mitigates the adverse effects of salinity in tissue culture. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.32, p.429-440, 2001.

Shubhra; Dayal, J.; Goswami, C. L.; Munjal, R. Influence of phosphorus application on water relations, biochemical parameters and gum content in cluster bean under water deficit. Biologia Plantarum, v.48, p.445-448, 2004.

Silva, A. J.; Uchôa, S. C. P.; Alves, J. M. A.; Lima, A. C. S.; Santos, C. S. V.; Oliveira, J. M. F.; Melo, V. F. Resposta do feijão-caupi à doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo do Estado de Roraima. Acta Amazonica, v.40, p.31-36, 2010.

Silva, J. A. Aplicação inicial de P_2O_5 no solo, avaliação em três cultivos sucessivos no feijão-caupi. 2007. 55p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia - PB.

Silva, J. V.; Lacerda, C. F.; Costa, P. H. A.; Enéasfilho, J.; Gomes-Filho, E.; Prisco, J. T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with $CaCl_2$. Brazilian Journal Plant Physiology, v.15, p.99-105, 2003.

Silva, K. J. D. Panorama do melhoramento e mercado do Feijão-caupi no Brasil. Embrapa Meio Norte. 2008. Disponível em: <<http://www.agrosoft.org.br/agropag/103401.htm>> Acesso em: 07 abr. 2015.

Silva, L.A.; Brito, M.E.B.; Sá, F.V.S.; Moreira, R.C.L.; Soares Filho, W.S.; Fernandes, P.D. Mecanismos fisiológicos de percepção do estresse salino de híbridos de porta-enxertos citros em cultivo hidropônico. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, v.18, p.S1-S7, 2014.

Singh, B. B.; Ehlers, J. D.; Sharma, B.; Freire Filho, F. R. Recent progress in cowpea breeding. In: Fatokun, C. A.; Tarawali, S. A.; Singh, B. B.; Kormawa, P. M.; Tampò, M. (Eds.). Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production. Ibadan: IITA, 2002. p. 22-40.

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, p.144-152, 2012.

Souza, R. P.; Machado, E. C.; Silveira, J. A. G.; Ribeiro, R. V. Fotossíntese e acúmulo de solutos em feijoeiro caupi submetido à salinidade. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.46, p.586-592, 2011.

Sponholz, C.; Freire Filho, F. R.; Maia, C. B.; Ribeiro, V. Q.; Cardoso, M. O. Reação de genótipos de Feijão-Caupi ao *Colletotrichum truncatum*. Teresina: EMBRAPA, 1996. (Boletim de Pesquisa 65). p. 18.

Steppuhn, H. Pre-irrigation of a severely-saline soil with in situ water to establish dry land forages. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 44, p. 1543-1551, 2001.

Suarez, D.L. Sodic soil reclamation: Modelling and field study. Australian Journal Soil Research, v.39, p.1225 - 1246, 2001.

Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed, 5.ed. 2013. 918p.

Tanji, K.K. Nature and extent of agricultural salinity. In: Agricultural Salinity Assessment and Management, Manuals and Reports on Engineering Practices No. 71 (Tanji, K.K., Ed.), p. 1-17. American Society of Civil Engineers, New York, 1990.

Valadares, J.; Paula, R.C. Temperaturas para germinação de sementes de *Poecilanthe parviflora* Benth (Fabaceae- Faboideae). Revista Brasileira de Sementes, v.30, p.164-170, 2008.

Verdcourt, B. Studies in the Leguminosae-Papilionoidea for the flora of tropical East Africa. Kew Bulletin, v.24, p.597-569, 1970.

Vilarinho, A. A., Rocha, M. M., Freire Filho, F. R., Silva, G. C. BRS ITAIM – Cultivar de Feijão-caupi com Grãos Tipo Fradinho. Embrapa Roraima. Boa Vista, RR, 2012, Comunicado Técnico 58, 5p.

Wilson, C.; Liu, X.; Lesch, S. M.; Suarez, D. L. Growth response of major USA cowpea cultivars: biomass accumulation and salt tolerance. Hort Science, v. 41, p. 225–230, 2006.

CAPÍTULO 1 – DESENVOLVIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE FEIJÃO-CAUPI SOB ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO COM SUPERFOSFATO SIMPLES

RESUMO

Objetivou-se estudar os efeitos da irrigação com água salina associada à adubação fosfatada com superfosfato simples na emergência e crescimento inicial de plantas de feijão-Caupi. A pesquisa foi realizada em casa de vegetação do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN, no período de setembro a dezembro de 2015. O experimento foi realizado em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 3 constituído de cinco níveis de salinidade da água de irrigação ($S_1 = 0,5$; $S_2 = 1,5$; $S_3 = 2,5$; $S_4 = 3,5$; $S_5 = 4,5$ dS m^{-1}) e três manejos de adubações com superfosfato simples ($A_1 = 60\%$; $A_2 = 100\%$ e $A_3 = 140\%$ da dose recomendada para a cultura), com 5 repetições, perfazendo 75 plantas experimentais. Durante os primeiros 15 dias da fase inicial de desenvolvimento as plantas foram avaliadas quanto a emergência mesurando-se a percentagem, velocidade e uniformidade de emergência, e quanto aos aspectos morfológicos determinando-se altura, diâmetro do caule, número de folhas, massa seca da parte aérea, das raízes e total. O aumento da salinidade da água de irrigação reduziu a emergência, o crescimento e acúmulo de massa seca das plantas de feijão-Caupi. O incremento de 40% na recomendação da adubação fosfatada do feijão-Caupi, promoveu incrementos no crescimento e no acúmulo de biomassa da planta, independente da salinidade.

Palavras-chave: água salina, fósforo, manejo de solo e água, *Vigna unguiculata*

CAPÍTULO 1 – INITIAL DEVELOPMENT OF COWPEA PLANTS UNDER SALT STRESS AND FERTILIZATION WITH SINGLE SUPERPHOSPHATE

ABSTRACT

In order to study the effects of irrigation with saline water associated with phosphate fertilizer with superphosphate in the emergence and early growth of cowpea plants. The survey was conducted in Department of greenhouse Environmental Sciences and Technology of the Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA) in Mossoró-RN, from September to December 2015. It's experiment was conducting a randomized block design in 5 x 3 factorial design consisting of five levels of irrigation water salinity ($S_1 = 0.5$, $S_2 = 1.5$; $S_3 = 2.5$; $S_4 = 3.5$ and $S_5 = 4.5$ dS m⁻¹) and management strategies fertilization with superphosphate ($A_1 = 60\%$; $A_2 = 100\%$ and $A_3 = 140\%$ of the recommended dose for culture), with 5 repetitions, totaling 75 experimental plants. During the first 15 days of the initial stage of development the plants were evaluated for emergency measuring the percentage, speed and emergency uniformity, what about the morphology determining height, stem diameter, number of leaves, dry mass of shoot, root and total. The increase in water salinity reduced the emergence, growth and biomass accumulation of cowpea plants. The increase of 40% on the recommendation of phosphate fertilizer bean-cowpea, promoted increases in growth and plant biomass accumulation, regardless of salinity.

Keywords: saline water, phosphorus, soil and water management, *Vigna unguiculata*

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., é uma cultura de significativa importância socioeconômica no Brasil, atuando na suplementação alimentar e na fixação de mão de obra no campo especialmente na região Nordeste (Rocha et al., 2009; Bezerra et al., 2010). No entanto, a restrita disponibilidade hídrica da região Nordeste, principalmente no semiárido nordestino a cultura necessita de irrigação para atingir rendimentos satisfatórios (Mousinho et al., 2008). Todavia, além de aspectos quantitativos a região ainda enfrenta fatores de ordem qualitativa como excesso de sais na água disponível para irrigação (Medeiros et al., 2003). Desse modo, adoções de estratégias que vão além do manejo da irrigação, fazem-se necessárias, podendo destacar o manejo de fertilizantes minerais e orgânicos junto ao manejo da irrigação, de modo auxiliar na manutenção da salinidade e sodicidade do solo.

Dentre as estratégias de adubação pode-se destacar adubação fosfatada, por ser crucial para obter rendimentos satisfatórios das culturas, além de que, o fósforo é nutriente mais problemático dos solos brasileiros, devido a sua baixa disponibilidade e mobilidade no solo (Sanchez & Salinas, 1981). Dentre os adubos fosfatados o superfosfato simples apresenta o maior potencial de usos em solos afetados por sais, por ser formulado a base de fósforo, cálcio e enxofre, por além de suprir a necessidade de fósforo, a presença do sulfato de cálcio (gesso) favorece uma melhor nutrição da planta (Lopes et al. 2010). Além de que a disponibilização do cálcio e do sulfato no solo, pode favorecer ao maior equilíbrio de cátions e ânions na zona radicular da planta, minimizando os impactos causados pelo sódio, haja vista, que o gesso é um dos corretivos mais eficazes no manejo da sodicidade dos solos (Souza et al., 2012; Sá et al., 2013; Sá et al., 2015; Mesquita et al., 2015).

Com isso objetivou-se estudar os efeitos da irrigação com água salina associada à adubação fosfatada com superfosfato simples na emergência e crescimento inicial de plantas de feijão-Caupi.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em casa de vegetação do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN, no período de setembro a dezembro de 2015. O município de Mossoró-RN localiza-se na região semiárida do nordeste brasileiro. Possui coordenadas geográficas 5°11' de latitude sul, 37°20' de longitude W. Gr., e 18 m de altitude.

O experimento foi realizando em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 3, constituído de cinco níveis de salinidade da água de irrigação ($S_1 = 0,5$; $S_2 = 1,5$; $S_3 = 2,5$ $S_4 = 3,5$; $S_5 = 4,5$ dS m⁻¹) e três manejos de adubações fosfatada com superfosfato simples ($A_1 = 60\%$; $A_2 = 100\%$ e $A_3 = 140\%$ da dose recomendada para a cultura), com 5 repetições, perfazendo 75 parcelas experimentais.

As doses de fósforo foram calculadas com base na análise de solo, e o solo usado no experimento foi proveniente de uma área virgem da fazenda experimental da UFERSA Campus de Mossoró, classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Latossólico, conforme EMBRAPA (2013). As amostras de solos foram coletadas na camada de 0,0 - 30,0 cm e levadas para o Laboratório de Análise de Solos, Água e Planta – LASAP, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, onde o mesmo foi caracterizado quanto as suas características físicas e químicas seguindo metodologia da EMBRAPA (2011) (Tabela 1).

Para adubação tomou-se como base a análise de solo e o boletim técnico de recomendação de adubação para o estado de Pernambuco (Cavalcanti et al., 2008). A recomendação para cultura do feijão-Caupi 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 20 kg ha⁻¹ de K₂O e 50 kg ha⁻¹ de N para um ciclo de cultivo, adicionando-se ainda 15 kg ha⁻¹ de Mg, na forma de MgSO₄. Com base na recomendação de adubação foram estipuladas as doses de P₂O₅ ($A_1 = 36$; $A_2 = 60$ e $A_3 = 84$ kg ha⁻¹) aplicados na forma de superfosfato simples ($A_1 = 0,7$; $A_2 = 1,17$ e $A_3 = 1,64$ g vaso⁻¹ de P₂O₅), posteriormente o solo foi incubado por 20 dias.

Após caracterização física e química do solo, e estipulação as adubações, o solo foi acondicionado em lisímetros com capacidade de 8 dm³ dos quais, 7 dm³ foram constituídos pelo solo e 0,5 dm³ foi preenchido por esterco bovino e de 0,5 dm³ de brita em sua parte inferior para facilitar a drenagem. O preenchimento dos lisímetros consistiu na seguinte ordem: tela; brita; 2 dm³ de solo; e a mistura de solo (5 dm³), esterco (0,5 dm³) e a dose estipulada para cada tratamento.

Tabela 1. Características físicas e químicas de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Latossólico coletado na camada de 0–30 cm, e do esterco bovino utilizado no cultivo do feijão-caupi. UFERSA, 2016.

Solo														
Argila		Areia		Silte		DS		DP		Porosidade		Classe Textural		
-----%-----						g cm ⁻³		g cm ⁻³		----%----				
10,0		89,0		1,0		1,57		2,51		37,45		Areia Franca		
CE 1:2,5	pH	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	SB	T	MO	PST		
dSm ⁻¹	H ₂ O	mg dm ⁻³					cmolc dm ⁻³				g kg ⁻³	%		
0,16	6,72	1,20	0,20	1,40	0,50	0,05	0,00	0,70	2,15	2,85	13,23	1,75		
Esterco														
N	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Fe	Mn	pH	C. Org	CTC	C/N	CE
-----g Kg ⁻¹ -----				-----mg Kg ⁻¹ -----						H ₂ O	%	Cmolc dm ⁻³	mS/cm	
14.85	3.25	1.16	16.11	3.07	0.66	65	15	3.77	121	6.53	10.70	34.24	7.21	2.56

Após o preparo do solo, foi realizada uma irrigação, deixando o solo próximo a máxima capacidade de retenção de água, e as irrigações subsequentes foram realizadas uma vez ao dia de modo a deixar o solo com umidade próxima à capacidade máxima de retenção, com base no método da lisimetria de drenagem, sendo a lâmina aplicada acrescida de uma fração de lixiviação de 20% a cada sete dias. O volume aplicado (Va) por recipiente foi obtido pela diferença entre a lamina anterior (La) aplicada menos a média de drenagem (d), dividido pelo número de recipientes (n), como indicado na equação 1:

$$Va = \frac{La - D}{n(1 - FL)} \quad \text{Eq. 1}$$

As águas da solução utilizadas na irrigação foram preparadas com adição de sais de cloreto de sódio NaCl, o qual, compõe 70% dos íons de sais em fontes de água utilizada para irrigação, em pequenas propriedades do Nordeste brasileiro (Medeiros et al., 2003).

No preparo da água de irrigação com vários níveis de salinidade, foi considerada a relação entre CE_a e concentração de sais (10*meq L⁻¹ = 1 dS m⁻¹ de CE_a), extraída de Rhoades et al. (1992), válida para CE_a de 0,1 a 5,0 dS m⁻¹ em que se enquadram os níveis testados. Utilizou-se no preparo das soluções água de abastecimento, existente no local (Ce_a= 0,53 dS m⁻¹), a qual foi acrescida de sais conforme necessário. Após preparadas, as águas salinizadas foram armazenadas em recipientes plásticos de 150 L, um para cada nível de CE_a estudado, devidamente protegidos, evitando-se a evaporação, a entrada de água de chuva e a contaminação com materiais que pudessem comprometer sua qualidade. Para preparo das águas, com as devidas condutividades elétricas (CE), os

sais foram pesados conforme tratamento, adicionando-se águas, até ser atingido o nível desejado de CE, conferindo-se os valores com um condutivímetro portátil, que tem sua condutividade ajustada à temperatura de 25°C.

Após a irrigação foi realizado a semeadura do feijão-Caupi cv. Paulistinha no dia 14 de outubro de 2015, utilizando-se de 10 sementes por vaso. Foi realizada a contagem do número de plântulas emergidas(cotilédones acima do nível do solo), sem que estas fossem descartadas, obtendo-se, portanto, um valor cumulativo. Dessa maneira, o número de plântulas emergidas referentes a cada contagem foi obtido subtraindo-se do valor lido com o valor referente à leitura do dia anterior. Com o número de plântulas emergidas referentes a cada leitura, calculou-se o tempo médio de emergência (TME), o índice de velocidade de emergência (IVE) e o coeficiente de velocidade de emergência (CVE), conforme equações descritas por Schuab et al. (2006):

$$TME = \frac{(N_1 G_1) + (N_2 G_2) + \dots + (N_n G_n)}{G_1 + G_2 + \dots + G_n} \text{Eq. 2}$$

Onde: VE = velocidade de emergência (dias); G = número de plântulas emergidas observadas em cada contagem; N = número de dias da semeadura a cada contagem.

$$IVE = \frac{(N_1) + (N_2) + \dots + (N_n)}{G_1 + G_2 + \dots + G_n} \text{Eq. 3}$$

Onde: IVE = índice de velocidade de emergência;

$$CVE = \frac{G_1 + G_2 + \dots + G_n}{(N_1 G_1) + (N_2 G_2) + \dots + (N_n G_n)} \times 100 \text{Eq. 4}$$

Onde: CVE = coeficiente de velocidade de emergência;

Após a estabilização da emergência aos 10 dias após a semeadura foi determinada a percentagem de emergência (PE) (%), obtida pela relação entre o número de plantas emergidas e o número de sementes plantadas.

Para a monitoração do crescimento inicial das plântulas de feijão-Caupi em que foi feita análise de crescimento aos 15 dias após a semeadura, avaliando-se a altura de planta (AP) (cm), medida com uso de uma régua graduada, pela distância entre o solo e o ápice das plantas; o diâmetro do colmo (DC) (mm), medido com uso de um paquímetro digital no colo das plantas; e o número de folhas (NF), a partir da contagem das folhas maduras. Foram coletadas três plantas separando-se a parte aérea e raízes e acondicionadas em estufa de circulação de ar, a 65°C, para secagem do material, até que as mesmas atinjam peso constate, e posteriormente serão pesadas em balança analítica

com precisão de 0,0001 g. De posse destes dados, foi possível mensurar a massa seca da parte aérea folha (MSF) (g) e massa seca do caule (MSC) (g), a massa seca total (MSPA) (g).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste 'F' até o nível de 5% de probabilidade, e nos casos de significância foram realizadas análises de regressão polinomial para o fator salinidade da água de irrigação, e para o fator adubação fosfatada foi aplicado o teste de médias Tukey, ambos ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do software estatístico SISVAR® (Ferreira, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A salinidade da água de irrigação afetou à emergência das plantas de feijão-Caupi, com decréscimos de 5,05% de PE por dS m^{-1} (Figura 1A). Para TME, ocorreu aumento no tempo gasto para total emergência das plantas, de modo que, as plantas irrigadas com alta de salinidade ($4,5 \text{ dS m}^{-1}$) necessitaram de 11% a mais de tempo para emergir, em relação ao controle ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$) (Figura 1B). Corroborando com aumento dos dias para emergência, verificou-se que o IVE das plantas de feijão-caupi também foi reduzido em 7,4% por dS m^{-1} (Figura 1C).

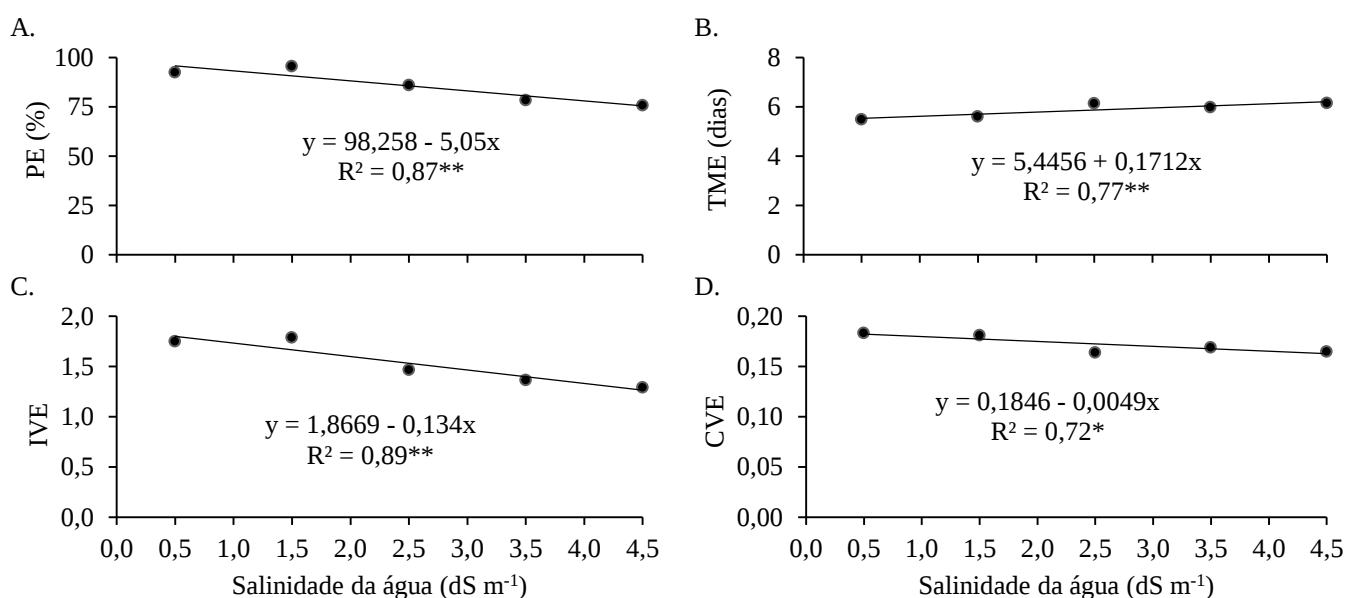
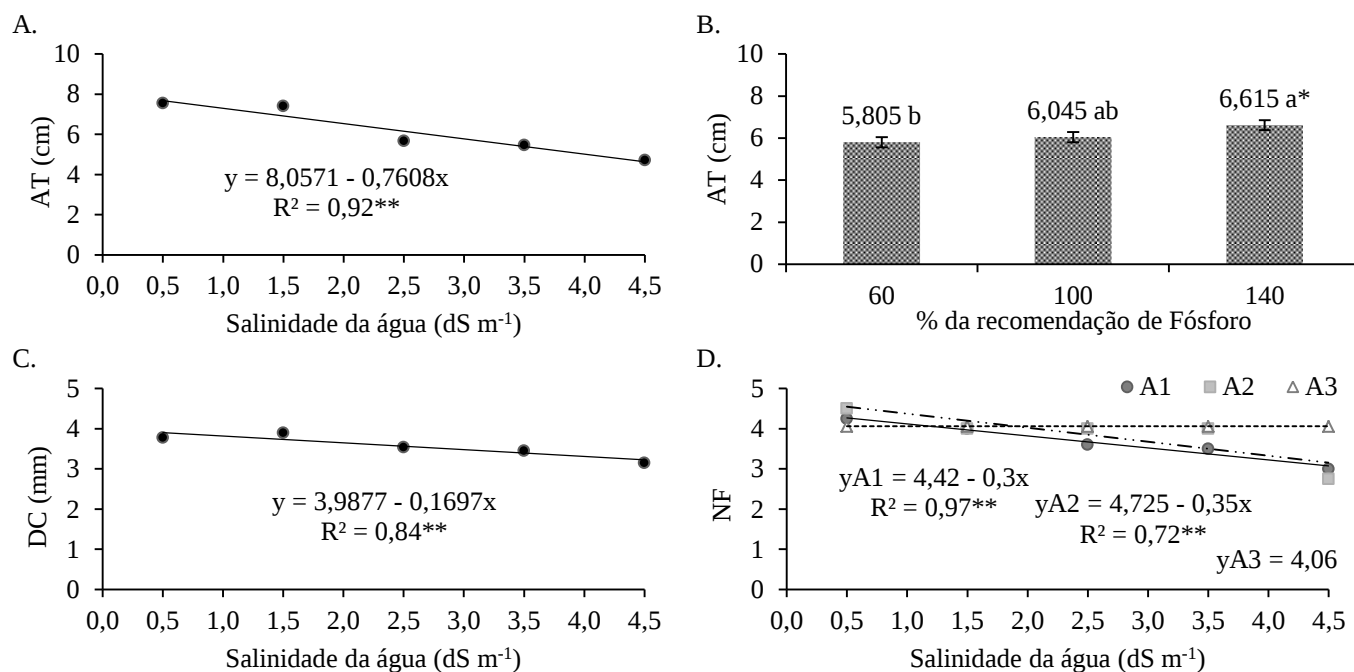


Figura 1. Percentagem de emergência (PE) (A), tempo médio de emergência (TME) (B), índice de velocidade de emergência (IVE) (C) e coeficiente de velocidade de emergência (CVE) (D) de plantas de feijão-Caupi (cv. Paulistinha) sob diferentes níveis de água salina. UFERSA, 2016.

Ainda sobre a emergência das plantas de feijão-Caupi, constatou-se que a redução do número de sementes emergidas, assim como, da velocidade de emergência ocasionada pelo estresse salino reduziu linearmente CVE, e consequentemente a uniformidade de emergência das plantas, indicando que o estresse salino afetou o potencial fisiológico das sementes e plântulas emergidas em alta salinidade, ocasionadas redução do vigor e possivelmente morte das mesmas ainda na fase de germinação, provavelmente pela redução do potencial osmótico ocasionado pelo aumento dos teores de NaCl no solo, além da toxicidade ocasionado por esses íons, diminuindo a

viabilidade das sementes e a emergência das plântulas (Munns & Tester, 2008; Voigt et al., 2009; Dantas et al., 2011; Taiz & Zaiger, 2013).

O aumento da salinidade reduziu linearmente a altura e o diâmetro do caule das plantas de feijão-Caupi em taxa de 0,79 cm e 0,17 mm por dS m^{-1} , respectivamente (Figura 2A e C). Para altura de planta também foi observado efeito significativo dos manejos da adubação fosfatada, de modo, que as plantas obtiveram maior crescimento quando adubadas com 40% a mais de P_2O_5 . Observa-se ainda, que os níveis de 60 e 100% da recomendação de fósforo não diferiram entre si, possivelmente devido às baixas concentrações de fósforo existente no solo desses tratamentos, não sendo suficiente para promover crescimento satisfatório das plantas (Figura 2B).



Letras iguais não diferem perante o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade
 Figura 2. Altura (AT) (A e B), diâmetro do caule (DC) (C) e número de folhas (NF) (D) de plantas de feijão-Caupi (cv. Paulistinha) sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada. UFERSA, 2016.

Observou-se interação significativa dos níveis de salinidade da água de irrigação e da adubação fosfatada sob o número de folhas das plantas de feijão-Caupi, de modo que, as plantas quando cultivada com 60 e 100 da recomendação de P reduziram linearmente o seu número de folhas em 28,1 e 30,7% na alta salinidade ($4,5 \text{ dS m}^{-1}$) em relação ao controle ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$). As plantas cultivadas com 140% da recomendação de P obtiveram emissão média de 4,06 folhas por planta, em todos os níveis de salinidade

estudados, fato que indica a inexistência previa do estresse salino sob emissão de folhas das plantas desse tratamento (Figura 2D).

A redução do crescimento das plantas de feijão-Caupi-Caupi quando submetidas ao estresse salino, podem estar relacionadas à redução no potencial hídrico dos tecidos causada pelo excesso de sais na solução do solo, provocando restrições nas taxas de alongação e de divisão celular, que dependem diretamente do processo de extensibilidade da parede celular, consequentemente as falhas ocorrentes no ajustamento resultaram em injurias semelhantes aos da seca, como a perda de turgescência e a redução no crescimento (Ashraf & Harris, 2004; Souza et al., 2011).

Além de que o baixo conteúdo de água nas células, ocasionado pela restrição impostas pelos sais, devido à salinidade do solo, promovem alterações de ordem metabólicas, além de efeitos indiretos como a toxicidade por íons específicos, a exemplo dos sais de sódio e de cloro (Flowers & Flowers, 2005; Munns & Tester, 2008).

No entanto, as plantas que foram adubadas com maiores doses de fósforo obtiveram maior crescimento em altura e, não tiveram o número de folhas afetado pela salinidade durante os primeiros 15 dias de cultivo, indicando que as plantas responderam adubação fosfatada mesmo sob condições salinas (Figura 2B e D). Ferreira et al. (2007) observaram que a alta salinidade do solo diminui a concentração de fósforo nos tecidos das plantas de milho, em virtude da força iônica reduzir a atividade de fosfato no solo. Possivelmente, adição de fósforo além da recomendação favoreceu a maior disponibilidade do nutriente, com isso promovendo melhor crescimento em relação às plantas cultivadas sob as menores doses.

A MSC foi influenciada pela salinidade da água, com reduções lineares no acúmulo de fitomassa do caule de 15,3% por dS m^{-1} (Figura 3). De acordo com Munns & Tester (2008), o crescimento da planta é restringido tanto pelo déficit hídrico induzido pela osmolaridade elevada da solução, quanto pela toxicidade iônica envolvendo danos metabólicos e fisiológicos afetado com isso o acúmulo de fitomassa da planta.

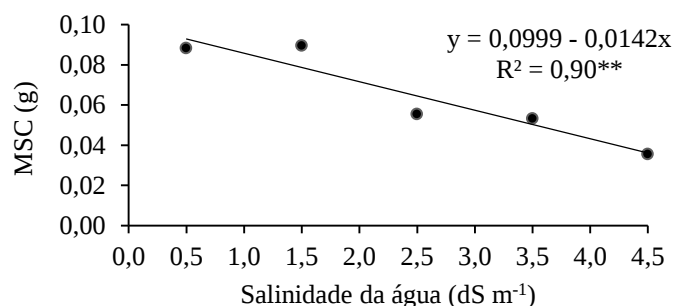
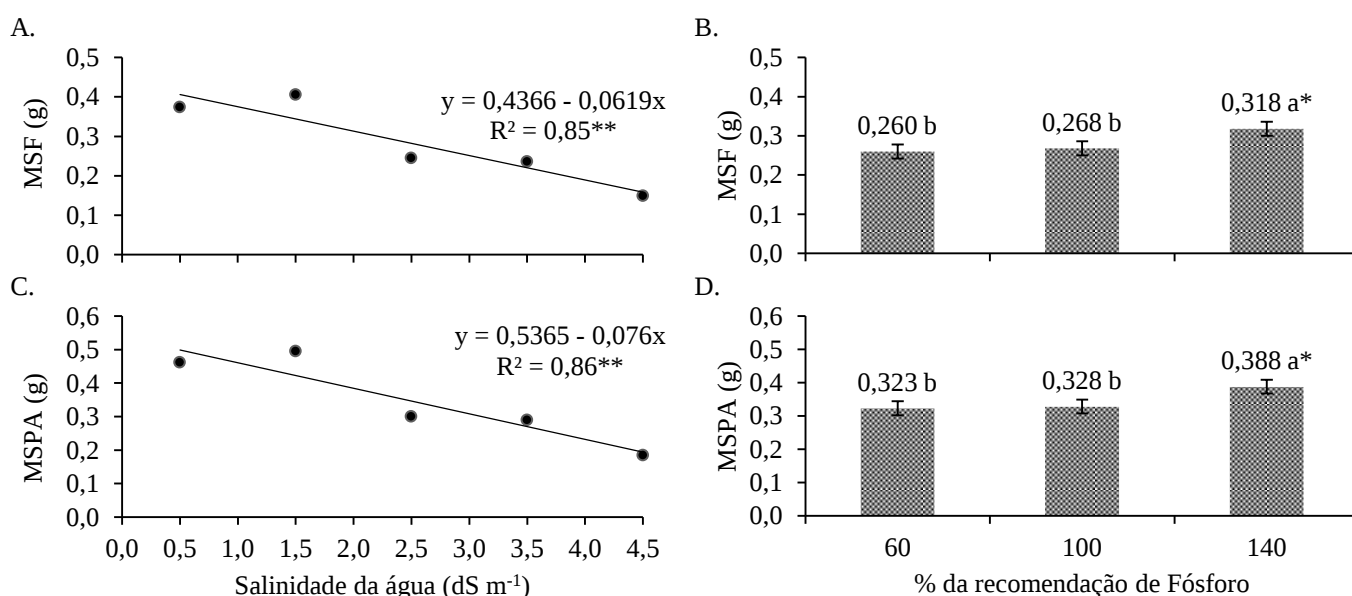


Figura 3. Massa seca da raiz (MSR) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada. UFERSA, 2016.

Para MSF e MSPA, assim como, observado para MSR constataram-se reduções lineares do acúmulo de fitomassa conforme o aumento da salinidade da água de irrigação de 0,062 e 0,76 g por dS m⁻¹ (Figuras 4A e C).



Letras iguais não diferem perante o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Figura 4. Massa seca da folha (MSPA) (A e B) e massa seca da parte aérea (C e D) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada. UFERSA, 2016.

O comportamento observado denota a severidade do estresse salino sob as plantas de feijão-Caupi, que afetou a síntese de carboidratos e, conseqüentemente o acúmulo de biomassa da planta. Todavia, nas plantas cultivadas no solo contendo 140% da dose recomendada P, registraram maiores acúmulos de MSF e MSPA em relação aos demais tratamentos, indicando que nessa condição a redução do acúmulo de fitomassa pelo estresse salino foi amenizada (Figuras 4B e D). Possivelmente, a aplicação do fósforo na forma de superfosfato simples, além de suprir as necessidades de fósforo, a

liberação do sulfato de cálcio favoreceu o suprimento de cálcio e enxofre, como também a redução do índice de sodicidade do solo, pela eliminação do sódio do complexo de troca e da solução do solo, com a realização da lavagem do perfil do solo (Souza et al., 2012; Sá et al., 2013; Sá et al., 2015; Mesquita et al., 2015).

4 CONCLUSÕES

O aumento da salinidade da água de irrigação reduziu a emergência, o crescimento e acúmulo de massa seca das plantas de feijão-Caupi.

O incremento de 40% na recomendação da adubação fosfatada do feijão-caupi, promoveu incrementos no crescimento e no acúmulo de biomassa da planta, independente da salinidade.

LITERATURA CITADA

- Ashraf, M.; Harris, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, v.166, p.3-16, 2004.
- Barros, M. F. C.; Fontes, M. P. F.; Alvarez, V. H.; Ruiz, H. A. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.320 - 326, 2005.
- Bezerra, A. K. P.; Lacerda, C. F.; Hernandez, F. F. F.; Silva, F. B.; Gheyi, H. R. Rotação cultural feijão caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. *Ciência Rural*, v.40, p.1075-1082, 2010
- Coelho, J. B. M.; Barros, M. F. C.; Bezerra Neto, E.; Correa, M. M. Comportamento hídrico e crescimento do feijão vigna cultivado em solos salinizados. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.379-385, 2013.
- Dantas, C. V. S.; Silva, I. B.; Pereira, G. M.; Maia, J. M.; Lima, J. P. M. S.; Macedo, C. E. C. Influência da salinidade e deficit hídrico na germinação de sementes de *Carthamus tinctorius* L.. *Revista Brasileira de Sementes*, v.33, p.574-582, 2011.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. 3 ed. Rio de Janeiro, 2011, 230 p. (Embrapa – CNPS. Documentos, 132).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.
- Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, p.1039-1042, 2011.
- Ferreira, P. A.; Garcia, G. O.; Neves, J. C. L.; Miranda, G. V.; Santos, D. B. Produção relativa do milho e teores folheares de nitrogênio, fósforo, enxofre e cloro em função da salinidade do solo, *Revista Ciência Agronômica*, v.38, p.7-16, 2007.
- Flowers, T. J.; Flowers, S. A. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? *Agricultural Water Management*, v.78, p.15-24, 2005.
- Gahoonia, T. S.; Raza, S.; Nielsen N. E. Phosphorus depletion in the Rhizosphere as Influenced by Soil Moisture. *Plant And Soil*, v.159, p.213-218, 1994.
- Medeiros, J. F.; Lisboa, R. A.; Oliveira, M.; Silva Júnior, M. J. ; Alves, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.469-472, 2003.
- Mesquita, E. F.; Sá, F. V. S.; Bertino, A. M. P.; Cavalcante, L. F.; Paiva, E. P.; Ferreira, N. M. Effect of soil conditioners on the chemical attributes of a saline-sodic soil and on the initial growth of the castor bean plant. *Semina: Ciências Agrárias*, v.36, p.2527-2538, 2015.

- Mousinho, F. E. P.; Andrade Jr, A. S.; Frizzzone, J. A. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no Estado do Piauí. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.30, p.139-145, 2008.
- Munns, R.; Tester, M. Mechanism of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, p.651-681, 2008.
- Oliveira, F. R. A.; Oliveira, F. A. O.; Medeiros, J. F.; Sousa, V. F. L.; Freire, A. G. Interação entre salinidade e fósforo na cultura do rabanete. *Revista Ciências Agronômica*, v.41, p.519-526, 2010.
- Patel, P. R.; Kajalii, S. S.; Pateli, V. R.; Patel, V. J.; Khristiii, S. M. Impact of saline water stress on nutrient uptake and growth of cowpea. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.22, p.43-48, 2010.
- Rhoades, J. D.; Kandiah, A.; Mashali, Q. M. The use of saline waters for crop production. Rome: FAO, 1992. 133p. (Irrigation and Drainage Paper, 48).
- Rocha, M. M.; Carvalho, K. J. M.; Freire Filho, F. R.; Lopes, A. C. A.; Gomes, R. L. F.; Sousa, I. S. Controle genético do comprimento do pedúnculo em feijão-caupi. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.270-275, 2009.
- Sá, F. V. S.; Mesquita, E. F.; Bertino, A. M. P.; Costa, J. D.; Araújo, J. L. Influência do gesso e biofertilizante nos atributos químicos de um solo salino-sódico e no crescimento inicial do girassol. *Irriga*, v.20, p.46-59, 2015.
- Sá, F.V.S.; Araújo, J.L.; Novais, M.C.; Silva, A.P.; Pereira, F.H.F.; Lopes, K.P. Crescimento inicial de arbóreas nativas em solo salino-sódico do nordeste brasileiro tratado com corretivos. *Revista Ceres*, v.60, p.388-396, 2013.
- Sanchez, P.A.; Salinas, J.G. Low input Technology of managing oxisols and ultisols in tropical América. *Advances in Agronomy*, v.24, p.280-406, 1981.
- Sousa, A. E. C.; Gheyi, H. R.; Correia, K. G.; Soares, F. A. L.; Nobre, R. G. Crescimento e consumo hídrico de pinhão manso sob estresse salino e doses de fósforo. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, p.310-318, 2011.
- Sousa, F. Q.; Araújo, J. L.; Silva, A. P.; Pereira, F. H. F.; Santos, R. V.; Lima, G. S. Crescimento e respostas fisiológicas de espécies arbóreas em solo salinizado tratado com corretivos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.173-181, 2012.
- 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, p.80-89, 2009.

CAPÍTULO 2 - MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS DE FEIJÃO-CAUPI SOB ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO FOSFATADA

RESUMO

Objetivou-se estudar a influência da adubação fosfatada com superfosfato simples sobre os componentes morfofisiológicos de plantas de feijão-Caupi irrigadas com água salina durante a fase vegetativa. A pesquisa foi realizada em casa de vegetação do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN, no período de setembro a dezembro de 2015. O experimento foi realizado em delineamento de blocos casualizado em esquema fatorial 5 x 3 constituído de cinco níveis de salinidade da água de irrigação ($S_1 = 0,5$; $S_2 = 1,5$; $S_3 = 2,5$; $S_4 = 3,5$; $S_5 = 4,5$ dS m⁻¹) e três doses de P na forma de superfosfato simples ($A_1 = 60\%$; $A_2 = 100\%$ e $A_3 = 140\%$ da dose recomendada para a cultura), com 5 repetições, perfazendo 75 parcelas experimentais. Durante os primeiros 30 e 49 dias após a semeadura nas fases vegetativa e reprodutiva da cultura as plantas foram avaliadas quanto ao crescimento, trocas gasosas, fluorescência da clorofila a e acúmulo de fitomassa. O aumento da salinidade da água de irrigação reduziu o crescimento, atividade fotoquímica e o acúmulo de fitomassa das plantas de feijão-Caupi. As maiores doses de fósforo resultaram em maior crescimento vegetativo e melhorias nas respostas fisiológicas, porém esses efeitos foram independentes da salinidade da água de irrigação.

Palavras-chave: fósforo, irrigação, manejo de solo e água, salinidade, *Vigna unguiculata*

CAPÍTULO 2 - MORPHOPHYSIOLOGY OF COWPEA PLANTS UNDER SALT STRESS AND PHOSPHATE FERTILIZATION

ABSTRACT

The objective of this study was evaluate the influence of phosphorus fertilization with superphosphate on the morphophysiological components of cowpea plants irrigated with saline water during vegetative growth stage. The survey was conducted at greenhouse of the Department of Environmental Sciences and Technology of the Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA) in Mossoró-RN, from September to December 2015. The experiment was conducting following a randomized block design in 5 x 3 factorial design consisting of five levels of irrigation water salinity ($S_1 = 0.5$, $S_2 = 1.5$; $S_3 = 2.5$; $S_4 = 3.5$ and $S_5 = 4.5$ dS m⁻¹) and three doses of phosphorus as superphosphate ($A_1 = 60\%$; $A_2 = 100\%$ and $A_3 = 140\%$ of the recommended dose for culture), with 5 repetitions, totaling 75 experimental units. During the first 30 and 49 days after sowing in the vegetative e reproductive growth stage of the crop plants were evaluated for growth, gas exchange, fluorescence of chlorophyll *a* and biomass accumulation. The increase in water salinity reduced growth, photochemical activity and biomass accumulation of cowpea plants. The larger phosphorus levels resulted in increased vegetative growth and improvements in physiological responses, but these effects were independent of water salinity.

Keywords: phosphorus, irrigation, soil and water management, salinity, *Vigna unguiculata*

1INTRODUÇÃO

O feijão-Caupi é amplamente cultivado em regiões semiáridas, com ênfase no semiárido Brasileiro principal região produtora do mundo, onde constitui um dos principais componentes da dieta alimentar da população dessa região (Lima et al., 2007). No entanto, a região semiárida enfrenta sérios problemas com a salinidade da água e do solo, fator limitante para o desenvolvimento de diversas planta, inclusive o feijão-Caupi, que tolera a irrigação com água salina com condutividade elétrica de até $3,3 \text{ dS m}^{-1}$ e condutividade elétrica do extrato de saturação do solo de até $4,9 \text{ dS m}^{-1}$ (Ayers & Westcot, 1999) , sendo que as fontes de água disponíveis, notadamente as subterrâneas, e muitas áreas agrícolas da região, podem apresentar salinidade similar ou superior a estes valores; Medeiros et al., 2003).

O estresse salino é um dos principais estresses ambientais que afetam negativamente o crescimento e o metabolismo vegetal, atribuído ao estresse osmótico, provocado pela redução do potencial hídrico externo, e ao efeito iônico causado pelo acúmulo de íons nos tecidos vegetais (Esteves & Suziki, 2008; Munns & Tester, 2008; Taiz & Zaiger, 2013). Dentre os efeitos negativos promovido pelo estresse salino, a redução da atividade fotossintética destaca-se como um dos mais limitantes às culturas (Neves et al., 2009; Souza et al., 2011; Silva et al., 2014), podendo ou não está atribuída a fatores de origem estomática (Munns & Tester, 2008; Neves et al., 2009; Taiz & Zaiger, 2013; Silva et al., 2014), ou a restrições na atividade fotoquímica, ocasionando reduções na eficiência quântica potencial do fotossistema II (Praxedes et al., 2010; Souza et al., 2011; Silva et al., 2014).

Inúmeras práticas que visam mitigar os efeitos depressivos do estresse salino sob as plantas vêm sendo estudados. Dentre estas estratégias, cita-se o manejo da adubação empregando fertilizantes que favorecem a aquisição de nutrientes pelas plantas em condições de salinidade (Silva et al., 2011; Prazeres et al., 2015). Pode se destacar, por exemplo, fósforo, que apesar da baixa eficiência da adubação fosfatada, este elemento é essencial às plantas em virtude de sua atuação no crescimento das raízes, na maturação de frutos, na formação de grãos, frutos e fibras e no vigor das plantas. Todavia, plantas com deficiência de P apresentam taxas fotossintéticas líquidas baixas, visto ser o fósforo fundamental para que esse processo ocorra, além de reduções no número e tamanho das folhas, consequentemente na área fotossinteticamente ativa. Vale salientar que fósforo aumenta a produção de matéria seca da parte aérea, o número de vagens e a massa de

sementes na cultura do feijão, sendo determinante na produtividade da cultura, possivelmente pelo aumento da taxa fotossintética (Zucareli et al., 2010; Henry et al. 2012; Cruz et al., 2015).

Diante do exposto, objetivou-se estudar a influência da adubação fosfatada com superfosfato simples sob os componentes morfofisiológicos de plantas de feijão-Caupi irrigadas com água salina durante a fase reprodutiva.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em casa de vegetação do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN, no período de setembro a dezembro de 2015. O município de Mossoró-RN localiza-se na região semiárida do nordeste brasileiro. Possui coordenadas geográficas 5°11' de latitude sul, 37°20' de longitude W. Gr., e 18 m de altitude.

O experimento foi realizando em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 3, constituído de cinco níveis de salinidade da água de irrigação ($S_1 = 0,5$; $S_2 = 1,5$; $S_3 = 2,5$ $S_4 = 3,5$; $S_5 = 4,5$ dS m^{-1}) e três manejos de adubações fosfatada com superfosfato simples ($A_1 = 60\%$; $A_2 = 100\%$ e $A_3 = 140\%$ da dose recomendada para a cultura), com 5 repetições, perfazendo 75 parcelas experimentais.

As doses de fósforo foram calculadas com base na análise de solo, e o solo usado no experimento foi proveniente de uma área virgem da fazenda experimental da UFERSA Campus de Mossoró, classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Latossólico, conforme EMBRAPA (2013). As amostras de solos foram coletadas na camada de 0,0 - 30,0 cm e levadas para o Laboratório de Análise de Solos, Água e Planta – LASAP, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, onde o mesmo foi caracterizado quanto as suas características físicas e químicas seguindo metodologia da EMBRAPA (2011) (Tabela 1).

Para adubação tomou-se como base a análise de solo e o boletim técnico de recomendação de adubação para o estado de Pernambuco (Cavalcanti et al., 2008). A recomendação para cultura do feijão-Caupi 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 20 kg ha^{-1} de K_2O e 50 kg ha^{-1} de N para um ciclo de cultivo, adicionando-se ainda 15 kg ha^{-1} de Mg, na forma de $MgSO_4$. Com base na recomendação de adubação foram estipuladas as doses de P_2O_5 ($A_1 = 36$; $A_2 = 60$ e $A_3 = 84$ kg ha^{-1}) aplicados na forma de superfosfato simples ($A_1 = 0,7$; $A_2 = 1,17$ e $A_3 = 1,64$ g vaso $^{-1}$ de P_2O_5), posteriormente o solo foi incubado por 20 dias. Devido às características arenosas da amostra de solo as adubações nitrogenadas e potássicas foram aplicadas em cobertura, sendo as nitrogenadas distribuídas aos 14, 21 e 27 dias após a semeadura e a adubação potássica aplicada aos 28 e 35 dias após a semeadura.

Após caracterização física e química do solo, e estipulação as adubações, o solo foi acondicionado em lisímetros com capacidade de 8 dm³ dos quais, 7 dm³ foram constituídos pelo solo e 0,5 dm³ foi preenchido por esterco bovino e de 0,5 dm³ de brita

em sua parte inferior para facilitar a drenagem. O preenchimento dos lisímetros consistiu na seguinte ordem: tela; brita; 2 dm³ de solo; e a mistura de solo (5 dm³), esterco (0,5 dm³) e a dose estipulada para cada tratamento.

Tabela 1. Características físicas e químicas de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Latossólico coletado na camada de 0–30 cm, e do esterco bovino utilizado no cultivo do feijão-caupi. UFERSA, 2016.

Solo														
Argila	Areia		Silte	DS		DP		Porosidade		Classe Textural				
-----	-----	-----		g cm ⁻³		g cm ⁻³		-----	-----					
10,0	89,0		1,0	1,57		2,51		37,45		Areia Franca				
CE 1:2,5	pH	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	SB	T	MO	PST		
dSm ⁻¹	H ₂ O	mg dm ⁻³		-----cmolc dm ⁻³ -----							g kg ⁻³	%		
0,16	6,72	1,20	0,20	1,40	0,50	0,05	0,00	0,70	2,15	2,85	13,23	1,75		
Esterco														
N	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Fe	Mn	pH	C. Org	CTC	C/N	CE
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	H ₂ O	%	Cmolc dm ⁻³	-----	mS/cm
14,85	3,25	1,16	16,11	3,07	0,66	65	15	3,77	121	6,53	10,70	34,24	7,21	2,56

Após o preparo do solo, foi realizada uma irrigação, deixando o solo próximo a máxima capacidade de retenção de água, e as irrigações subsequentes foram realizadas uma vez ao dia de modo a deixar o solo com umidade próxima à capacidade máxima de retenção, com base no método da lisimetria de drenagem, sendo a lâmina aplicada acrescida de uma fração de lixiviação de 20% a cada sete dias. O volume aplicado (Va) por recipiente foi obtido pela diferença entre a lamina anterior (La) aplicada menos a média de drenagem (d), dividido pelo número de recipientes (n), como indicado na equação 1:

$$Va = \frac{La - D}{n(1 - FL)} \quad \text{Eq. 1}$$

As águas da solução utilizadas na irrigação foram preparadas com adição de sais de cloreto de sódio NaCl, o qual, compõe 70% dos íons de sais em fontes de água utilizada para irrigação, em pequenas propriedades do Nordeste brasileiro (Medeiros et al., 2003).

No preparo da água de irrigação com vários níveis de salinidade, foi considerada a relação entre CE_a e concentração de sais (10*meq L⁻¹ = 1 dS m⁻¹ de CE_a), extraída de Rhoades et al. (1992), válida para CE_a de 0,1 a 5,0 dS m⁻¹ em que se enquadram os níveis testados. Utilizou-se no preparo das soluções água de abastecimento, existente no local (Ce_a= 0,53 dS m⁻¹), a qual foi acrescida de sais conforme necessário. Após

preparadas, as águas salinizadas foram armazenadas em recipientes plásticos de 150 L, um para cada nível de CE_a estudado, devidamente protegidos, evitando-se a evaporação, a entrada de água de chuva e a contaminação com materiais que pudessem comprometer sua qualidade. Para preparo das águas, com as devidas condutividades elétricas (CE), os sais foram pesados conforme tratamento, adicionando-se águas, até ser atingido o nível desejado de CE, conferindo-se os valores com um condutivímetro portátil, que tem sua condutividade ajustada à temperatura de 25°C.

Após a irrigação foi realizado a semeadura do feijão-caupifeijão-Caupi cv. Paulistinha no dia 14 de outubro de 2015, utilizando-se de 10 sementes por vaso. Quinze dias após a semeadura com a total emergência das plântulas, realizou-se o desbaste, deixando-se apenas três plantas por vaso.

Aos 30 e aos 49 dias após a semeadura durante as fases: vegetativa (V4) e do início da fase reprodutiva na transição das fases V8 e R1 da cultura, as plantas de feijão-Caupi foram avaliadas quanto as trocas gasosas foliares, mesuradas no período de 8 às 10 horas da manhã. As avaliações foram realizadas na parte mediana de folhas maduras situadas entre a 3ª e 5ª folha de cada plantas a partir do ápice, com analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA), modelo LI6400XT (Licor, USA) com irradiação de $1500 \mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, fluxo de ar de 500 ml min^{-1} e sob condições naturais de temperatura e concentração de CO_2 . Foram obtidas as seguintes taxas: taxa de assimilação de CO_2 (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs) ($\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a concentração interna de CO_2 (Ci). De posse desses dados foram quantificadas a eficiência no uso da água (A/E) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$] e a eficiência instantânea da carboxilação (A/Ci) (SILVA et al., 2014).

Ainda nessas folhas, foram colocadas pinças foliares e, após um período de 30 min. de adaptação ao escuro, ocasião em que se determinou: a fluorescência inicial (F0), a fluorescência máxima (Fm), a fluorescência variável (Fm-F0) e a eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) (SILVA et al., 2014), usando-se o equipamento PEA - Hansatech.

Após análise fisiológica as plantas de feijão-Caupi foram avaliadas quanto a altura de planta (AP) (cm), medida com uso de uma régua graduada, pela distância entre o solo e o ápice das plantas; o diâmetro do colmo (DC) (mm), medido com uso de um paquímetro digital no colo das plantas; e o número de folhas (NF), a partir da contagem das folhas maduras. Aos termino da análise de crescimento, a parte aérea de uma das

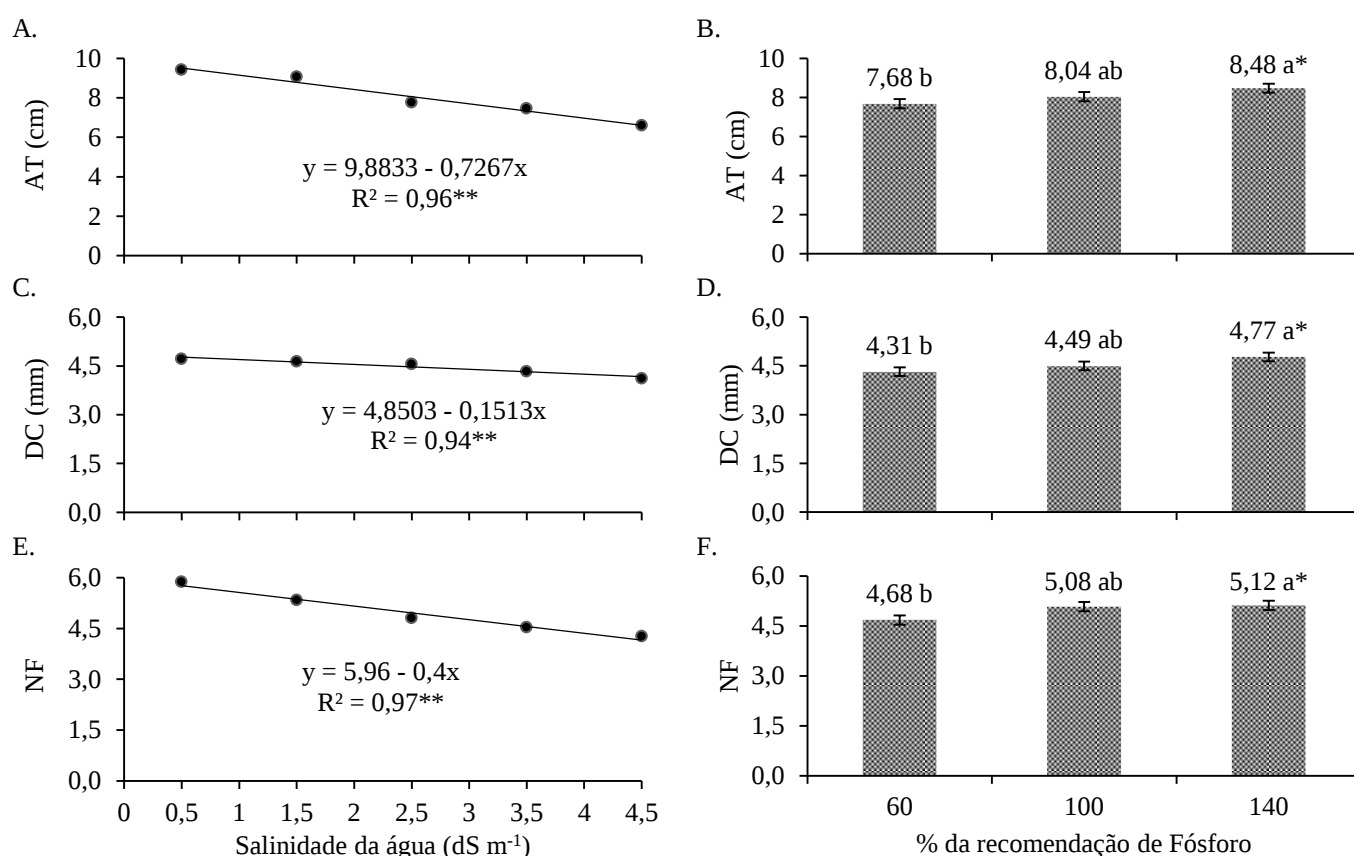
plantas foi coletada, separando-se as folhas e o caule, os quais foram condicionados em sacos de papel, e posteriormente colocados em estufa de circulação de ar, a 65°C, para secagem do material, até que os mesmos atinjam peso constate, e posteriormente serão pesadas em balança analítica com precisão de 0,0001 g, obtendo-se a massa seca da parte aérea (MSPA) (g).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste 'F' até o nível de 5% de probabilidade, e nos casos de significância foram realizadas análises de regressão polinomial para o fator salinidade da água de irrigação, e para o fator adubação fosfatada foi aplicado o teste de médias Tukey, ambos ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do software estatístico SISVAR® (Ferreira, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fase vegetativa

Observou-se comportamento linear decrescente no crescimento das plantas de feijão-Caupi durante a fase vegetativa, com reduções de 0,7 cm de altura, 0,15 mm de diâmetro do caule e 0,4 folhas, para cada aumento de 1,0 dS m⁻¹ na salinidade da água de irrigação (Figura 1A, C e E). Os resultados indicam que o estresse salino influenciou negativamente as plantas de feijão-Caupi, possivelmente pelos efeitos osmóticos provocados pelo acúmulo de sais no solo e pelas interações iônicas causadas pelo excesso de sais de cloreto de sódio no solo afetando a disponibilidade, absorção, transporte, assimilação e distribuição dos nutrientes pela planta, promovendo reduções no crescimento da mesma (Neves et al., 2009). Lima et al. (2007) e Silva et al. (2009) avaliando a tolerância de plantas de feijão-Caupi sob condições de salinidade também observaram reduções no crescimento com o aumento da salinidade da água de irrigação.



Letras iguais não diferem perante o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Figura 1. Altura (AT) (A e B), diâmetro do caule (DC) (C e D) e número de folhas (NF) (E e F) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase vegetativa (30 dias). UFERSA, 2016.

Verifica-se ainda, que adubação fosfatada contribuiu para o aumento do crescimento das plantas de feijão-Caupi independente da irrigação com água salina, notoriamente quando se compara a dose abaixo da recomendação e a dose acima da recomendação da cultura, promovendo incrementos de 9,4, 9,6 e 8,5% para altura, diâmetro e número de folhas, respectivamente durante os primeiros 30 dias de cultivo. Isso demonstra que a adubação fosfatada estimulou o crescimento das plantas de feijão-Caupi independente das condições de salinidade estudadas (Figura 1B, D e F). Resultados semelhantes aos observados por Oliveira et al. (2010), os quais observaram que a maior disponibilidade de fósforo aumentou o número de folhas das plantas de rabanete, independente da salinidade estudada.

As variáveis de trocas gasosas das plantas de feijão-Caupi decresceram linearmente em função do aumento da salinidade da água de irrigação, com exceção da eficiência no uso da água que obteve comportamento quadrático. Verificaram-se redução de 45,22%; 60,00%; 43,02%; 10,71% e 39,06%, para as variáveis: taxa de assimilação de CO₂, transpiração, condutância estomática, concentração interna de CO₂ e eficiência instantânea da carboxilação, respectivamente quando comparados o maior (4,5 dS m⁻¹) e o menor (0,5 dS m⁻¹) nível de salinidade da água estudado (Figura 2).

As reduções da atividade de trocas gasosas observadas nesse trabalho, possivelmente estão relacionadas ao efeito osmótico. O efeito osmótico atua nas relações hídricas da planta, reduzindo o conteúdo celular promovendo retrações e relaxamento da membrana celular (Taiz & Zeiger, 2013). Dessa maneira, a expressão do efeito osmótico atua sobre a atividade estomática, promovendo o fechamento dos estômatos e consequentemente reduções na taxa transpiratória, na concentração interna de CO₂ pela redução do influxo de CO₂ para interior da célula, comprometendo com isso, atividade fotossintética. Assim como foi observado nesse trabalho, Neves et al. (2009) e Souza et al. (2011) trabalhando com plantas de feijão-Caupi sob condições de estresse salino, também observaram que o fechamento estomático limitou diretamente a atividade fotossintética das plantas.

No entanto, observou-se que a A/C_i também reduziu com aumento da salinidade, essa variável expressa a relação entre o consumo e a disponibilidade de CO₂ na cavidade sub estomática. Dessa forma, a redução da A/C_i está ligada a fatores de ordem não estomática, como atividade da enzima RuBisCO, possivelmente alterada devido a distúrbios de processos metabólicos, haja vista, que as interações promovidas por íons específicos como NaCl afetam a absorção, assimilação e transporte de nutrientes nas

funções da membrana plasmática e nos distúrbios de processos metabólicos, como síntese de proteínas, atividade de enzimas, respiração e fotossíntese (Esteves & Suzuki, 2008; Munns & Tester, 2008; Syvertsen; García-Sánchez, 2014).

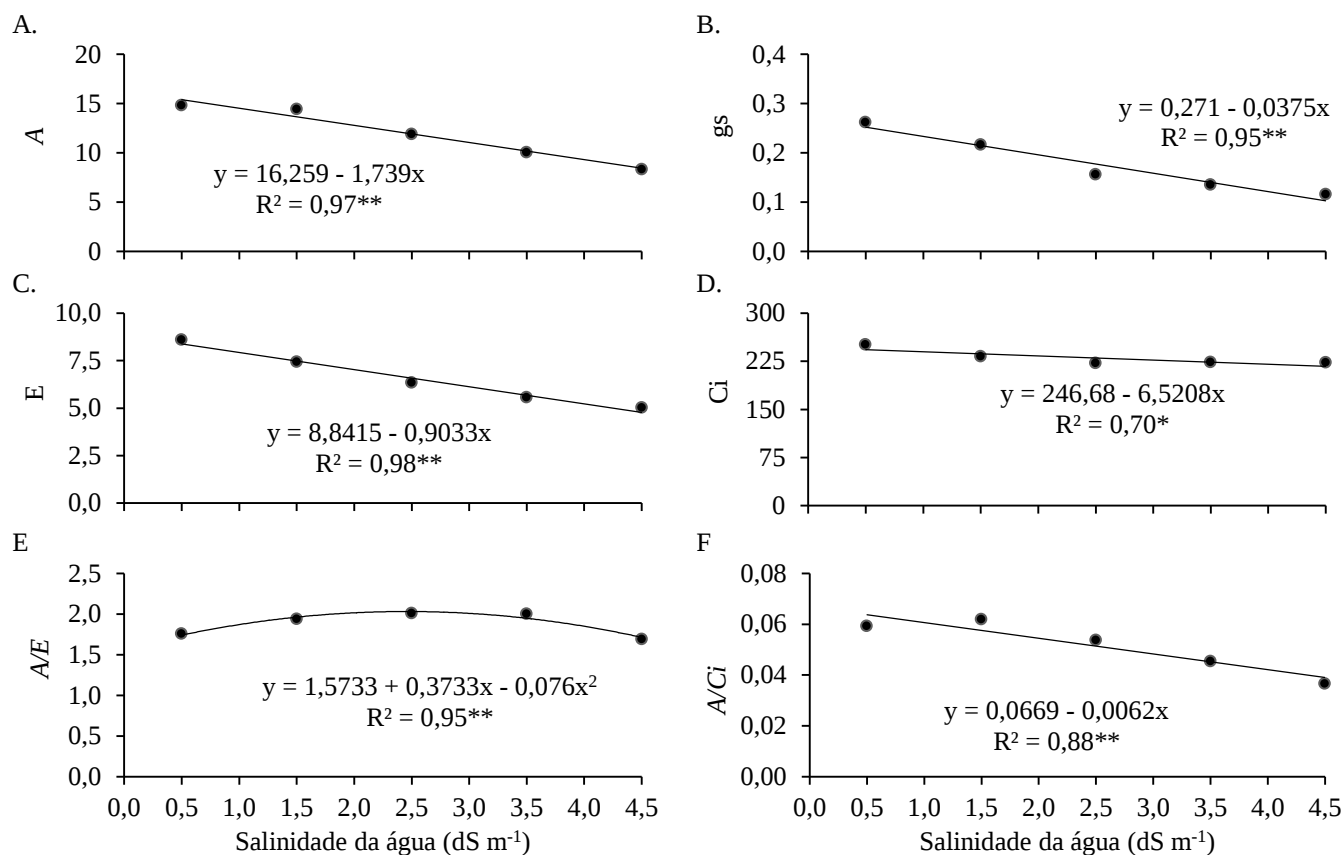
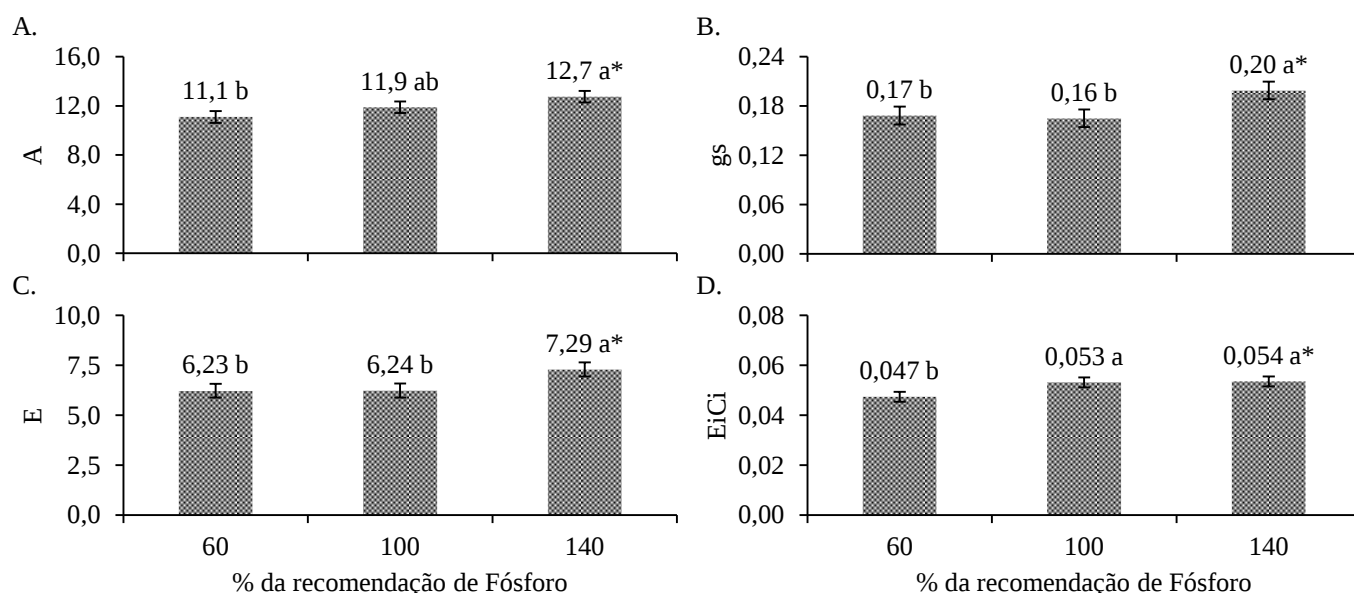


Figura 2. Taxa de assimilação de CO₂ (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (A), transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (B), condutância estomática (gs) ($\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (C), concentração interna de CO₂ (Ci) (D), eficiência no uso da água (EUA) (A/E) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$] (E) e eficiência instantânea da carboxilação (EICi) (A/Ci) (F), de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase vegetativa (30 dias). UFERSA, 2016.

Constatou-se que a maior eficiência no uso da água, quando as plantas de feijão-Caupi foram irrigadas com água salina à $2,45 \text{ dS m}^{-1}$, atingindo a eficiência máxima de $2,03 [(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}]$, decrescendo sua eficiência em níveis superiores a este (Figura 2E). Tal resultado indica que as plantas de feijão-Caupi tentaram se adaptar as condições de estresse salino, no entanto, a pressão exercida pelo estresse em níveis superiores a esse afetou diretamente a fisiologia da planta. Possivelmente o elevado acúmulo de sais no solo, restringiu a disponibilidade de água

para as plantas, considerando que a perda de água pelas plantas é regulada pela atividade das células-guardas. O fechamento estomático contribui para redução da taxa de assimilação de CO₂, devido as restrições na atividade do cloroplasto pela menor disponibilidade de CO₂ no meio (Machado et al., 2010; Ferraz et al., 2012; Furtado et al., 2013; Silva et al., 2014).



Letras iguais não diferem perante o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Figura 3. Taxa de assimilação de CO₂ (A) (μmol m⁻² s⁻¹) (A), transpiração (E) (mmol de H₂O m⁻² s⁻¹) (B), condutância estomática (gs) (mol de H₂O m⁻² s⁻¹) (C) e eficiência instantânea da carboxilação (EiCi) (A/Ci) (F), de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase vegetativa (30 dias). UFERSA, 2016.

Ainda sobre as trocas gasosas, observou-se influência significativa da adubação fosfatada sob as plantas de feijão-Caupi, de modo, que as plantas que receberam mais fósforo obtiveram maiores taxas de assimilação de CO₂, maiores condutâncias estomáticas e taxas transpiratórias independente do nível de salinidade estudado (Figura 3A, B e C). fósforoA redução da absorção de P pela planta, pode acarretar diminuições no consumo e na produção de ATP e NADPH, menor carboxilação/regeneração da Ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase oxigenasse, decréscimo na expressão de genes relacionados à fotossíntese (Shubhra et al., 2004; Santos et al., 2006; Machado et al., 2010; Silva et al., 2014), alterações que podem ter sido verificadas na menor dose de P.

Quanto à fluorescência da clorofila *a* observou-se comportamento linear crescente da fluorescência inicial das plantas de feijão-caupi, em função do aumento da salinidade da água de irrigação (Figura 4A). De acordo com Zanandrea et al. (2006) o estado adaptado ao escuro é uma situação em que a folha encontra-se fotoquimicamente inativa, ou seja, onde todos os processos de transporte de elétrons na membrana do tilacóide estão desativados, resultando em um gradiente transtilacoidal mínimo e baixíssimas concentrações de NADPH e ATP, permitindo desta forma obtenção de valores de eficiência máxima para os processos fotoquímicos da fotossíntese. Desse modo, a fluorescência inicial explica a energia dissipada quanto todos os sítios de troca de elétrons do fotossistema II estão em repouso. Dessa forma, o aumento da F0 indica perda de energia luminosa devido a danos ao aparato fotossintético da planta, fato que pode estar relacionado às perdas na atividade fotossintética com aumento do estresse salino.

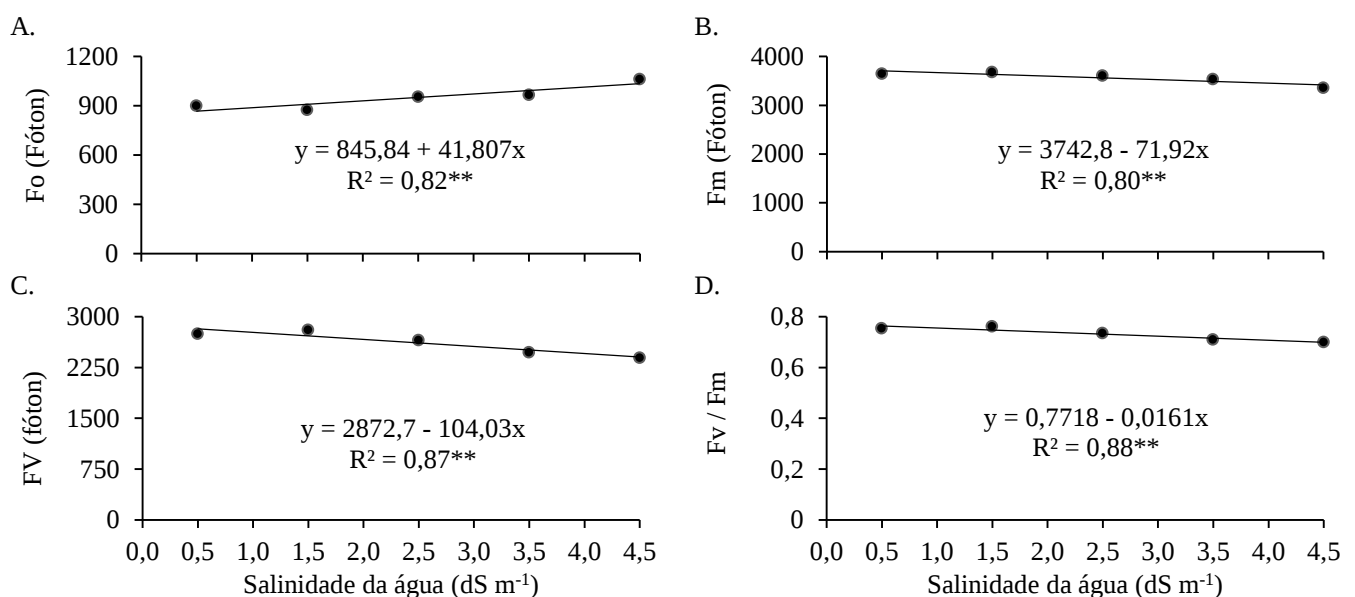
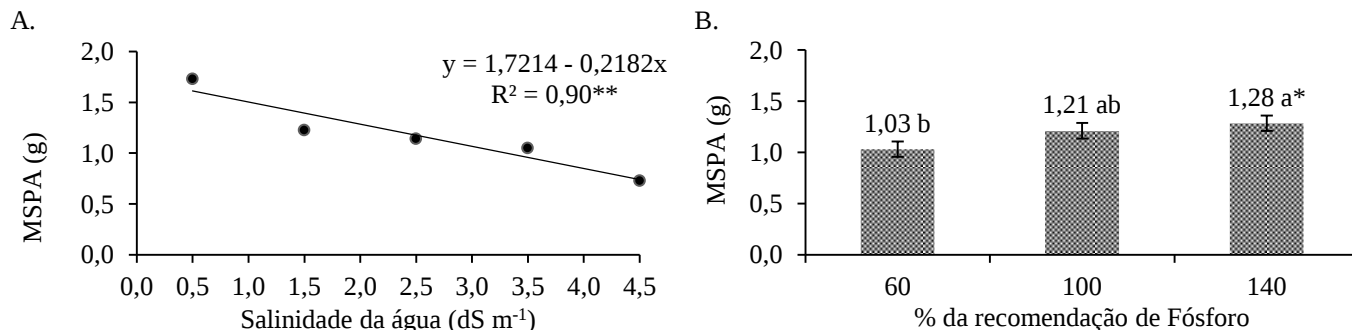


Figura 4. Fluorescência inicial (F_o) (A), fluorescência máxima (F_m) (B), fluorescência variável (F_v) (C) e a eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) (D), de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase vegetativa (30 dias). UFERSA, 2016.

Ainda sobre a fluorescência da clorofila *a*, foram observadas reduções lineares da fluorescência máxima, variável e eficiência quântica do fotossistema II na ordem de 71,92 (Fóton), 104,03 (Fóton) e 0,016, respectivamente, para cada aumento unitário da salinidade da água de irrigação (Figura 1B, C e D). As alterações observadas na F_o

(fluorescência inicial) para Fm (fluorescência máxima) é uma situação em que o aceptor QA fica reduzido porque a taxa da concorrente reoxidação de QA pelo pool de plastoquinona é menor do que a taxa de redução de QA (Zanandrea et al., 2006). Diante disso, as reduções na Fm e Fv aliadas ao aumento da Fo confirmam existência de danos causados no aparato fotossintético na planta, possivelmente pela não redução do aceptor QA, ocasionado danos ao fotossistema II. Haja vista, que índices de rendimento quânticos foram em sua maioria inferiores a 0,75, o que indicam mau funcionamento do mesmo, originado pelo mecanismo de fotoproteção, diminuindo a pressão energética nos fotossistemas em condições de excesso de energia (Machado et al., 2010; Silva et al., 2014).

Os resultados observados na atividade fisiológica e no crescimento das plantas de feijão-Caupi se repercutiram no acúmulo de fitomassa, constatando-se reduções lineares com aumento da salinidade (Figura 5^a). Considerando que a fitomassa reflete o acúmulo real de carboidratos gerado na fotossíntese, a redução da atividade fotossintética ocasionada pelo estresse salino afetou diretamente o acúmulo de fitomassa das plantas de feijão-Caupi.



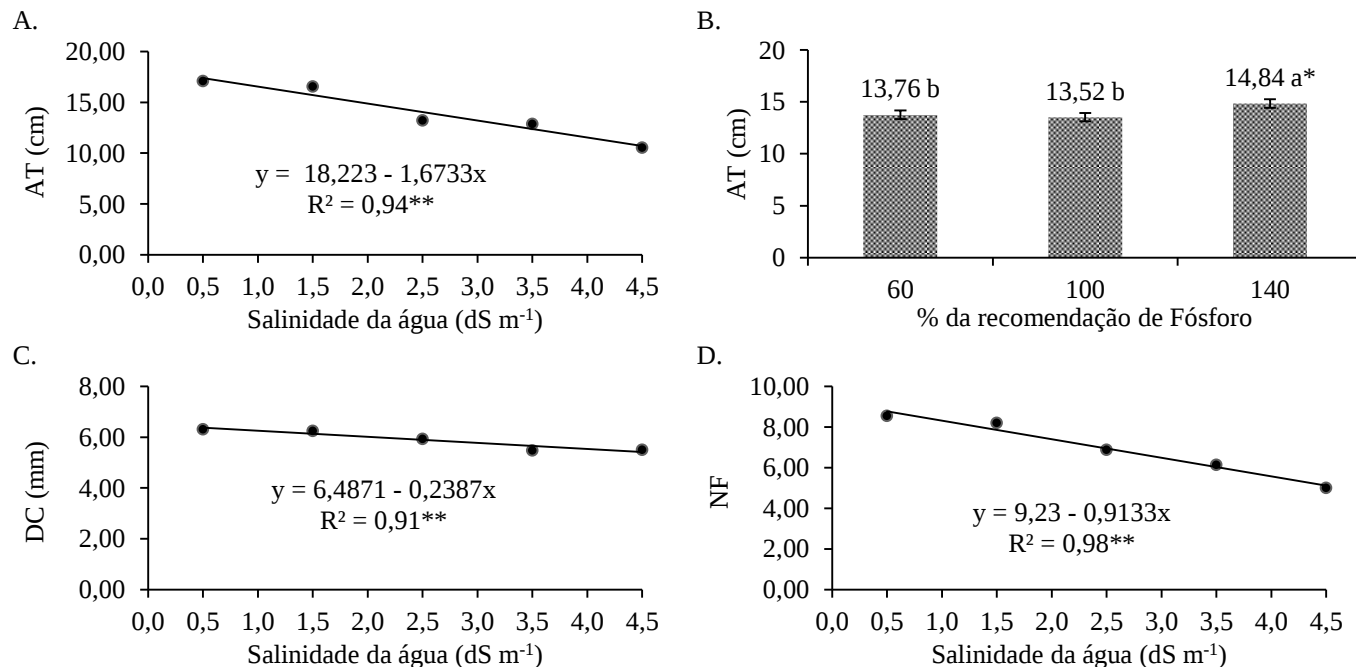
Letras iguais não diferem perante o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade
Figura 5. Massa seca da parte aérea (A e B) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase vegetativa (30 dias). UFERSA, 2016.

Por outro lado, as plantas que receberam maiores doses de fósforo obtiveram maior acúmulo de fitomassa, independente da salinidade estudada (Figura 5B). Sob condições de maior disponibilidade de fósforo, o maior acúmulo de fitomassa das plantas pode estar relacionado à essencialidade do fósforo à planta, por ser componente estrutural e bioquímico, além de promover estímulos na atividade fotossintética. Diante disto, as plantas que receberam menos fósforo, além de sofrer limitações na absorção de

nutrientes pelo efeito osmótico, ainda tiveram um gasto de energia maior pelo reduzido conteúdo de fósforo no meio. Apesar disso, não se verificou interação entre salinidade e fósforo nas variáveis fisiológicas e de crescimento, durante o estágio vegetativo do feijão-caupi. De modo, que o aumento do acúmulo de massa seca, está principalmente relacionado a melhor condição nutricional da planta.

Fase Reprodutiva

As respostas de crescimento observada na fase reprodutiva das plantas de feijão-Caupi, foram semelhantes as observada na fase de crescimento. Constatando-se reduções lineares no crescimento em altura, diâmetro do caule e número de folhas das plantas de feijão-Caupi na ordem de 1,7 cm, 0,24 mm e 0,91 folhas para cada aumento 1 dS m⁻¹ (Figura 6). No entanto, observou-se que quando adubadas com a maior dose de superfosfato simples as plantas de feijão-Caupi obtiveram maiores crescimento em altura que as demais doses estudadas, independente do nível de salinidade avaliado (Figura 1). Possivelmente, adubação fosfatada aumentou vigor das plantas de feijão-Caupi, denotando que a resposta nutricional da adubação fosfatada se repercute até a fase reprodutiva da cultura, mesmo quando submetida à salinidade.



Letras iguais não diferem perante o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Figura 6. Altura (AT) (A e B), diâmetro do caule (DC) (C e D) e número de folhas (NF) (E e F) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase reprodutiva (49 dias). UFERSA, 2016.

A atividade fotossintética das plantas de feijão-Caupi decresceu em função do aumento da salinidade da água de irrigação, observando-se reduções de 1,63 e 4,97 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para os manejos de adubação A2 e A3 respectivamente, para cada unitário da salinidade da água. Todavia, não foram observados ajustes para plantas cultivadas sob manejo A1, com média de 9,73 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de assimilação líquida de CO_2 . Observa-se ainda, que as plantas cultivadas no manejo A3 obtiveram as maiores taxas fotossintéticas sob os menores níveis de salinidade, no entanto, com aumento gradual da salinidade da água essas plantas reduziram drasticamente a sua atividade fotossintética (Figura 2A).

Os resultados indicam, que a resposta do feijão-Caupi a adubação fosfatada, variam conforme a condição de estresse da planta. De modo, que as plantas não estressadas respondem mais ao aumento da disponibilidade de P, possivelmente relacionados ao maior balanço nutricional, e essencialidade do nutriente como observado na fase vegetativa da cultura. E que as plantas estressadas não respondem adubação fosfata, podendo até obter resultados inferiores às aquelas que recebem menos fósforo. Resultados semelhantes foram observado em plantas de sorgo por Lacerda et al. (2006), avaliando a interação fósforo salinidade, os autores também verificaram que as plantas estressadas não responderam à aplicação de P e tiveram inclusive um pequeno decréscimo no crescimento no nível mais elevado desse elemento essencial.

Acredita-se que as reduções da atividade fotossintética das plantas de feijão-Caupi foram drasticamente reduzidas em função da atividade estomática, que decresceu em ordem proporcional a taxa de assimilação de CO_2 e na transpiratória, atingido níveis baixíssimos nos maiores níveis de salinidade estudados (3,5 e 4,5 dS m^{-1}) (Figura 2 A B e C). Salienta-se ainda, que a restrição da atividade de trocas gasosas foi tão drástica que a redução da atividade fotossintética nos maiores níveis de salinidade promoveu aumento da concentração interna de CO_2 , como observado nas plantas do manejo A3, indicando mau funcionamento da atividade da enzima Ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase oxigenase (RuBisCO) (Figura 2D). Resultados estes que corroboram com as reduções na eficiência instantânea da carboxilação, que chegaram a mais de 80% quando comparados o maior (4,5 dS m^{-1}) e o menor nível de salinidade (0,3 dS m^{-1}) estudados, nos manejos A1 e A3 (Figura 2F). Isso configura a existência de efeito de ordem não estomáticos atuando sob atividade fotossintética das plantas de feijão-Caupi, possivelmente, abaixa atividade de carboxilação da enzima RuBisCo, haja vista o

aumento da concentração interna de CO₂ (Machado et al., 2010; Ferraz et al., 2012). Fato que também corrobora com os resultados observados na fase vegetativa da cultura.

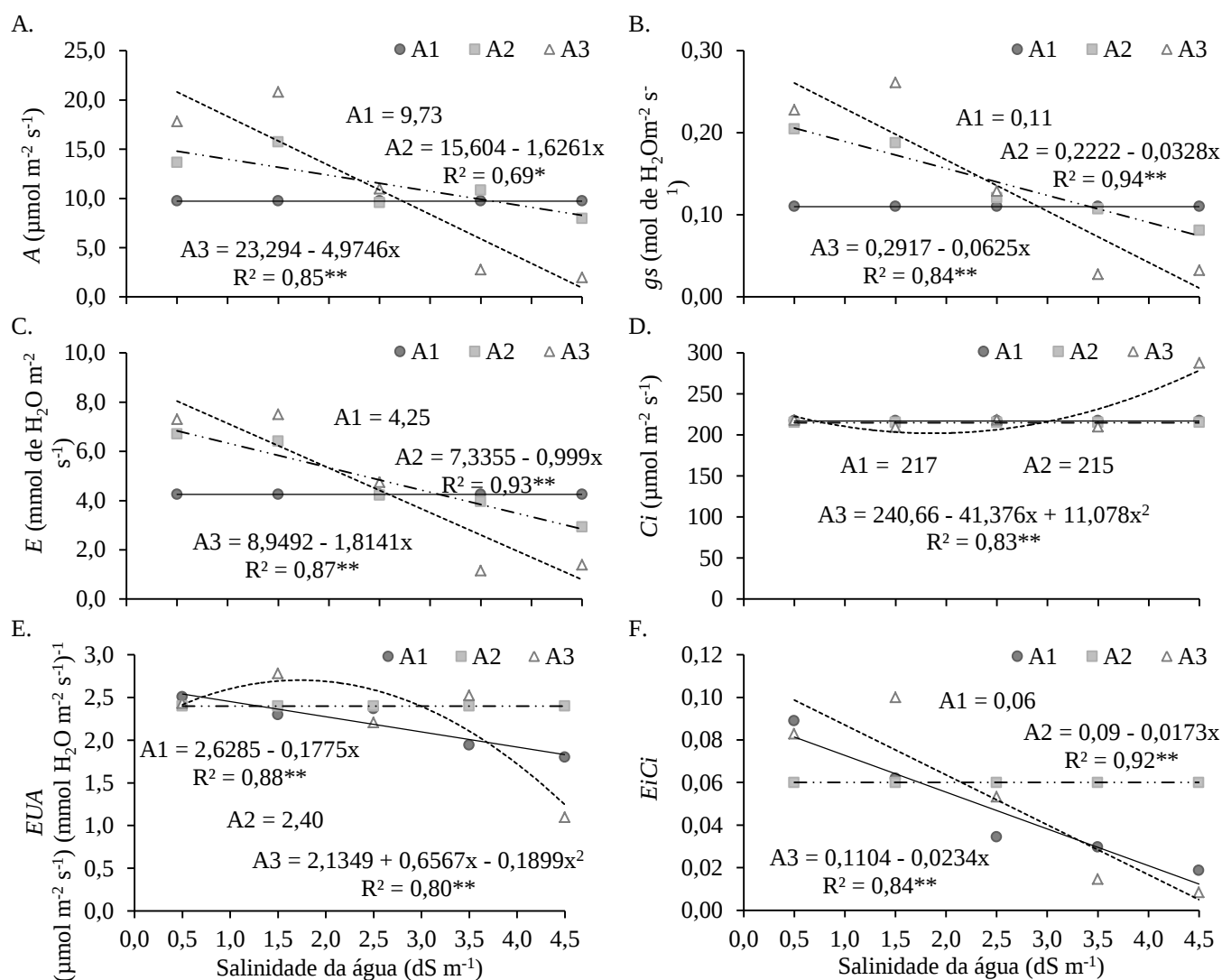


Figura 7. Taxa de assimilação de CO₂ (A) (A), transpiração (E) (B), condutância estomática (gs) (C), concentração interna de CO₂ (Ci) (D), eficiência no uso da água (EUA) (A/E) (E) e eficiência instantânea da carboxilação (EICi) (A/Ci) (F), de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase reprodutiva (49 dias). UFERSA, 2016.

A eficiência no uso da água das plantas de feijão-Caupi sob o manejo A3 foi ampliada com o aumento da salinidade da água de irrigação, até o nível de 1,73 dS m⁻¹ com uma EUA de 2,7 (μmol m⁻² s⁻¹) (mmol H₂O m⁻² s⁻¹)⁻¹, decrescendo a partir de então, indicando que as plantas de feijão-Caupi tentaram de adaptar ao estresse salino por ampliar a sua atividade fotossintética e/ou restringindo a taxa transpiratória.

Observou-se ainda que as plantas de feijão-Caupi que receberam menos fósforo (A1) decresceram linearmente a sua EUA em função do aumento da salinidade (Figura 2E). Considerando que o fósforo está ligado, ou regula a biossíntese de amido / sacarose, regula a ativação de RUBISCO e o fornecimento de energia em ATP para o ciclo de Calvin (Marques et al., 2016).

Para a fluorescência da clorofila *a* observou-se aumento nos índices da fluorescência inicial das plantas de feijão-Caupi, em função do aumento da salinidade da água de irrigação (Figura 3A). Observou-se ainda, reduções lineares da fluorescência máxima, variável e eficiência quântica do fotossistema II na ordem de 271 (Fóton), 358,6 (Fóton) e 0,066, respectivamente, para cada aumento de 1,0 dS m⁻¹ na salinidade da água de irrigação (Figura 3 B, C e D), independente da dose de P utilizada.

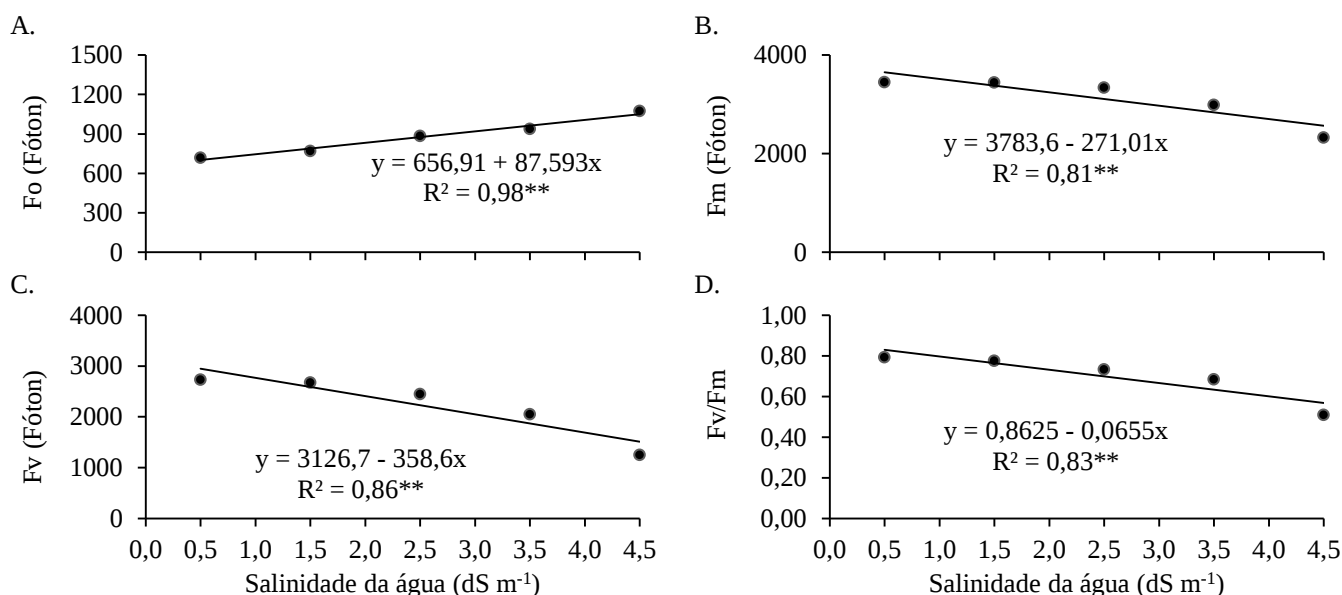


Figura 8. Fluorescência inicial (F_o) (A), fluorescência máxima (F_m) (B), fluorescência variável (F_v) (C) e a eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) (D), de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase reprodutiva (49 dias). UFERSA, 2016.

O aumento da fluorescência inicial associada às reduções na fluorescência máxima são indícios de danos no aparato fotossintético, haja vista, que o estresse salino promove alterações nas estruturas dos tilacóides dos cloroplastos tornando-os desorganizados, consequentemente afetando as moléculas de clorofila (Esteves & Suzuki, 2008). Esses danos causam baixos rendimentos na fluorescência variável, energia luminosa disponível para desempenho da atividade fotossintética, que por sua

vez reduzem o rendimento quântico da clorofila *a*, comprometendo atividade fotossintética (Praxedes et al., 2010; Souza et al., 2011; Silva et al., 2014), assim como também foi verificado nesse trabalho.

A massa seca da parte aérea das plantas de feijão-Caupi decresceu linearmente com o aumento da salinidade da água de irrigação, independente da adubação fosfatada (Figura 9). Pode-se observar com isso, que as reduções no acúmulo de fitomassa da parte aérea, independente da fase da cultura, corroborando com decréscimos observados na atividade fotossintética, denotando a severidade do estresse salino sob as plantas, o potencial de toxicidade dos íons NaCl, afetando a fisiologia, o crescimento e as respostas nutricionais da planta (Esteves & Suzuki, 2008; Munns & Tester, 2008; Syvertsen; García-Sánchez, 2014).

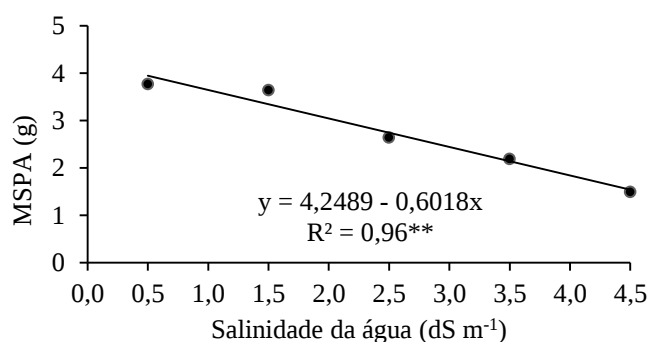


Figura 9. Massa seca da parte aérea de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada na fase reprodutiva (49 dias). UFERSA, 2016.

4 CONCLUSÕES

O aumento da salinidade da água de irrigação reduziu o crescimento, atividade fotoquímica e o acúmulo de fitomassa das plantas de feijão-Caupi.

As maiores doses de fósforo resultaram em maior crescimento vegetativo e melhorias nas respostas fisiológicas, porém esses efeitos foram independentes da salinidade da água de irrigação.

O aumento das doses de fósforo aumentou a atividade fotossintética das plantas de feijão-Caupi.

A irrigação com água salina até o nível de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ aumentou a eficiência no uso da água das plantas de feijão-Caupi.

Adubação fosfatada não influenciou na fluorescência da clorofila *a* das plantas de feijão-Caupi.

LITERATURA CITADA

Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade de água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. FAO Irrigação e Drenagem.

Cruz, J. L.; Souza Filho, L. F. S.; Pelacani, C. R. Influência da adubação fosfatada sobre o crescimento do camapu (*Physalis angulata* L.). Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, v.17, p.360-366, 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. 3 ed. Rio de Janeiro, 2011, 230 p. (Embrapa – CNPS. Documentos, 132).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

Esteves, B. S.; Suzuki, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. Oecologia brasiliensis, v. 12, p.662-679, 2008.

Ferraz, R. L. S.; Melo, A. S.; Suassuna, J. F.; Brito, M. E. B.; Fernandes, P. D.; Nunes Júnior, E. S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecotipos de feijão-Caupi cultivados no semiárido. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 42, p.181-188, 2012.

Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, v.35, p.1039-1042, 2011.

Furtado, G. F.; Soares, L. A. A.; Sousa, J. R. M.; Andrade, E. M. G.; Guerra, H. O. C. Alterações fisiológicas em feijão-caupi irrigado com água salina e adubação nitrogenada. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 8, p. 175-181, 2013.

Henry, A.; Chopra, S.; Clark, D. G.; Lynch, J. P. Responses to low phosphorus in high and low foliar anthocyanin coleus (*Solenostemon scutellarioides*) and maize (*Zea mays*). Functional Plant Biology, v.39, p.255-265, 2012.

Lacerda, C. F.; Morais, H. M. M.; Prisco, J. T.; Enéas Gomes Filho, E.; Marlos Alves Bezerra, M. A. Interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo forrageiro. Revista Ciência Agronômica, v.37, p.258-263, 2006.

Lima, C. J. G. de S.; Oliveira, F. de A. de; Medeiros, J. F. de; Oliveira, M. K. T.; Almeida Júnior, A. B. de. Resposta do feijão-Caupi a salinidade da água de irrigação. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.2, p.79-86, 2007.

Machado, D.F.S.P.; Machado, E.C.; Machado, R.S.; Ribeiro, R.V. Efeito da baixa temperatura noturna e do porta-enxerto na variação diurna das trocas gasosas e na atividade fotoquímica de laranjeira ‘Valência’. Revista Brasileira de Fruticultura, v.32, n.2, p.351-359, 2010.

Marques, D. J.; Silva, E. C.; Ferreira, M. M.; Paglis, C. M.; Souza, T. C.; Maluf, W. R.; Maciel, G. M.; Ferreira, E. D.; Lobato, A. K. S. Differential responses of root system and gas exchange in contrasting tomato genotypes under phosphorus starvation. Australian Journal of Crop Science, v.10, p.101-110, 2016.

Medeiros, J. F.; Lisboa, R. A.; Oliveira, M.; Silva Júnior, M. J. ; Alves, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.469-472, 2003.

Munns, R.; Tester, M. Mechanism of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, p.651-681, 2008.

Neves, A. L. R.; Lacerda, C. F.; Guimarães, F. V. A.; Gomes Filho, E.; Feitosa, D. R. C. Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.873-881, 2009.

Oliveira, F. R. A.; Oliveira, F. A. O.; Medeiros, J. F.; Sousa, V. F. L.; Freire, A. G. Interação entre salinidade e fósforo na cultura do rabanete. *Revista Ciências Agrônômica*, v.41, p.519-526, 2010.

Praxedes, S.C.; Lacerda, C.F. De; Damatta, F.M.; Prisco, J.T.; Gomes-Filho, E. Salt tolerance is associated with differences in ion accumulation, biomass allocation and photosynthesis in cowpea cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.196, p.193-204, 2010.

Prazeres, S. S.; Lacerda, C. F.; Barbosa, F. E. L.; Amorim, A. V.; Araújo, I. C. S.; Cavalcante, L. F. Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-Caupi sob irrigação salina e doses de potássio. *Revista Agro@mbiente On-line*, v.9, p.111-118, 2015.

Rhoades, J. D.; Kandiah, A.; Mashali, Q. M. The use of saline waters for crop production. Rome: FAO, 1992. 133p. (Irrigation and Drainage Paper, 48).

Santos, M. G. Dos; Ribeiro, R. V.; Oliveira, R. F. De; Machado, E. C.; Pimentel, C. The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild water deficit. *Plant Science*, v.170, p.659-664, 2006.

Shubhra; Dayal, J.; Goswami, C. L.; Munjal, R. Influence of phosphorus application on water relations, biochemical parameters and gum content in cluster bean under water deficit. *Biologia Plantarum*, v.48, p.445-448, 2004.

Silva, F. E. O. da; Maracajá, P. B.; Medeiros, J. F. de; Oliveira, F. de A.; Oliveira, M. K. T. de. Desenvolvimento vegetativo do feijão-Caupi irrigado com água salina em casa de vegetação. *Revista Caatinga*, v.22, p.156-159, 2009.

Silva, F. L. B.; Lacerda, C. F.; Sousa, G. G.; Neves, A. L. R.; Silva, G. L.; Sousa, C. H. C. Interação entre salinidade e biofertilizante bovino na cultura do feijão-de-corda. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.383-389, 2011.

Silva, L. A.; Brito, M. E. B.; Sá, F. V. S.; Moreira, R. C. L.; Soares Filho, W. S.; Fernandes, P. D. Mecanismos fisiológicos de percepção do estresse salino de híbridos de porta-enxertos citros em cultivo hidropônico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v.18, p.1-7, 2014.

Souza, R. P.; Machado, E. C.; Silveira, J. A. G.; Ribeiro, R. V. Fotossíntese e acúmulo de solutos em feijão-Caupi submetido à salinidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.586-592, 2011.

Syvertsen, J.P.; Garcia-Sanchez, F. Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. *Environmental and Experimental Botany*, v.103, p.128-137, 2014.

Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 5.ed. 2013. 918p.

Zanandrea, I.; Nassi, F. L.; Turchetto, A. C.; Braga, E. J. B.; Peters, J. A.; Bacarin, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.12, p.157-161, 2006.

Zucareli, C.; Ramos Junior, E. U.; Oliveira, M. A.; Cavariani, C.; Nakagawa, J. Índices biométricos e fisiológicos em feijão-Caupi sob diferentes doses de adubação fosfatada. *Semina: Ciências Agrárias*, v.31, p.1313-1324, 2010.

CAPÍTULO 3 - ACÚMULO DE SAIS NO SOLO, CRESCIMENTO E FITOMASSA DO FEIJÃO-CAUPI SOB SALINIDADE E ADUBAÇÃO FOSFATADA

RESUMO

Objetivou-se avaliar o balanço de sais no solo, crescimento e o acúmulo de fitomassa de plantas de feijão-Caupi sob níveis de salinidade da água de irrigação e adubação com superfosfato simples. A pesquisa foi realizada em casa de vegetação do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN, no período de setembro a dezembro de 2015. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 3 constituído de cinco níveis de salinidade da água de irrigação ($S_1 = 0,5$; $S_2 = 1,5$; $S_3 = 2,5$ $S_4 = 3,5$; $S_5 = 4,5$ dS m⁻¹) e três manejos de adubação fosfatada com superfosfato simples ($A_1 = 60\%$; $A_2 = 100\%$ e $A_3 = 140\%$ da dose recomendada para a cultura), com 5 repetições, perfazendo 75 parcelas experimentais. Durante os primeiros 49 dias após a semeadura foram avaliados o balanço de sais no solo, a taxa de crescimento relativo e produção e partição de fitomassa das plantas de feijão-Caupi. Os níveis de salinidade superiores a 1,5 dS m⁻¹ atingiram o limiar da cultura a partir dos primeiros 21 dias. O aumento da salinidade prejudicou o crescimento e o acúmulo de fitomassa das plantas de feijão-Caupi. A maior dose de fósforo promoveu maior crescimento das plantas de feijão-Caupi. O aumento da salinidade afetou a partição de fitomassa das plantas de feijão-Caupi, havendo maior acúmulo de fitomassa nas folhas e caule, em relação à raiz.

Palavras-chave: análise de crescimento, condutividade elétrica, fósforo, manejo de solo e água, *Vigna unguiculata*

CAPÍTULO 4 – SOIL SALT ACCUMULATION, GROWTH AND BIOMASS OF COWPEA PLANTS UNDER SALINITY AND PHOSPHATE FERTILIZATION

ABSTRACT

In order to study the salt balance in the soil, growth and accumulation of biomass of cowpea bean plants under salinity levels of irrigation water and fertilizing with superphosphate. The survey was conducted in the greenhouse of the Department of Plant Sciences at the Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA) in Mossoró-RN, in the period from september to december 2015. The experiment was conducting a randomized block design in a factorial 5 x 3 consists of five levels of irrigation water salinity (S1 = 0.5, S2 = 1.5; 2.5 = S3 S4 = 3.5; S5 = 4.5 dS m⁻¹) and three managements fertilization with superphosphate (A1 60% of the dose recommendation of culture; A2 - 100% of the recommended dose for culture and 140% of the dose recommendation of culture), with 5 repetitions, totaling 75 experimental plots. During the first 49 days after sowing were evaluated on the salt balance in the soil, the relative growth rate, accumulation and biomass partition of cowpea plants. Salinity levels above 1.5 dS m⁻¹ culture reached the threshold from the first 21 days. Increased salinity impaired growth and biomass accumulation of cowpea plants. The larger level of phosphorus promote greater growth of cowpea plants. Increased salinity affected the biomass partition of cowpea plants, with greater accumulation of dry matter in the leaves and stem, in relative to the root.

Keywords: growth analysis, electrical conductivity, phosphorus, soil and water management, *Vigna unguiculata*

1 INTRODUÇÃO

O feijão-Caupi (*Vigna unguiculata* L.) leguminosa com alto potencial alimentar devido ao seu elevado conteúdo proteico, principalmente para países subdesenvolvidos (Akande, 2007). No Brasil, a cultura do feijão-Caupi ocupa uma área cultivada no país é de aproximadamente um milhão de hectares, dos quais cerca de 90% estão situados na região Nordeste, principalmente na região semiárida (Bezerra et al., 2010).

Todavia, a região semiárida brasileira é caracterizada pela baixa disponibilidade hídrica superficial, e que água disponível para irrigação são em sua maioria de qualidade inferior, principalmente devido alta concentração de sais solúveis, rotineiramente atingindo níveis próximos a $5,0 \text{ dS m}^{-1}$. Considerando que a cultura tolera condutividade elétrica de até $3,3 \text{ dS m}^{-1}$, são necessários estratégias de manejo da irrigação para cultura, haja vista, que o acúmulo de sais no solo, principalmente na forma de cloreto de sódio, pode necrosar os tecidos foliares e acelerar a senescência de folhas maduras, fatores que reduzem a área destinada à fotossíntese (Ayers & Westcot, 1999; Medeiros et al., 2003; Esteves & Suzuki, 2008; Munns & Tester, 2008; Neves et al., 2009; Taiz & Zeiger, 2013).

O estresse salino exerce três efeitos cruciais sob as plantas: o efeito osmótico restringindo absorção de água pela planta, restringindo o crescimento e alongamento celular; o acúmulo de íons potencialmente tóxicos no interior da planta, ocasionado descontinuidade na atividade enzimática e hormonal das plantas; e as desordens nutricionais, ocasionando deficiência de nutrientes essenciais, afetando todo o funcionamento fisiológico da planta (Esteves & Suzuki, 2008; Munns & Tester, 2008; Taiz & Zeiger, 2013). Dentre as estratégias de manejo da salinidade e sodicidade do solo pode-se destacar o uso de corretivos químicos, a exemplo do gesso agrícola que associado a prática da lavagem apresenta resultado promissores no controle da sodicidade do solo (Araújo et al., 2015; Sá et al., 2015; Mesquita et al., 2015).

Dessa forma, a incorporação de insumos agrícolas que apresentem o gesso em sua composição pode auxiliar no controle da sodicidade e estimular o desenvolvimento das culturas, a exemplo do superfosfato simples que além de ser uma fonte primordial de fósforo nutriente essencial ao desenvolvimento das culturas, apresenta intrinsecamente o gesso em sua composição. Podendo auxiliar no balanço de sais no solo. Não obstante, o fósforo é um nutriente crucial no metabolismo das plantas, atuando na transferência de energia da célula, sendo constituinte da moeda energética

vegetal, o trifosfato de adenosina (ATP), além de atuar na respiração e na fotossíntese, sendo componente estrutural de macromoléculas, genes e cromossomos (Taiz & Zeiger, 2013; Dias et al., 2015).

Diante disto, objetivou-se avaliar o acúmulo de sais no solo, o crescimento e o acúmulo de fitomassa de plantas de feijão-Caupi sob níveis de salinidade da água de irrigação e adubação com superfosfato simples.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em casa de vegetação do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN, no período de setembro a dezembro de 2015. O município de Mossoró-RN localiza-se na região semiárida do nordeste brasileiro. Possui coordenadas geográficas 5°11' de latitude sul, 37°20' de longitude W. Gr., e 18 m de altitude.

O experimento foi realizando em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 3, constituído de cinco níveis de salinidade da água de irrigação ($S_1 = 0,5$; $S_2 = 1,5$; $S_3 = 2,5$ $S_4 = 3,5$; $S_5 = 4,5$ dS m^{-1}) e três manejos de adubações fosfatada com superfosfato simples ($A_1 = 60\%$; $A_2 = 100\%$ e $A_3 = 140\%$ da dose recomendada para a cultura), com 5 repetições, perfazendo 75 parcelas experimentais.

As doses de fósforo foram calculadas com base na análise de solo, e o solo usado no experimento foi proveniente de uma área virgem da fazenda experimental da UFERSA Campus de Mossoró, classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Latossólico, conforme EMBRAPA (2013). As amostras de solos foram coletadas na camada de 0,0 - 30,0 cm e levadas para o Laboratório de Análise de Solos, Água e Planta – LASAP, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, onde o mesmo foi caracterizado quanto as suas características físicas e químicas seguindo metodologia da EMBRAPA (2011) (Tabela 1).

Para adubação tomou-se como base a análise de solo e o boletim técnico de recomendação de adubação para o estado de Pernambuco (Cavalcanti et al., 2008). A recomendação para cultura do feijão-Caupi 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 20 kg ha^{-1} de K_2O e 50 kg ha^{-1} de N para um ciclo de cultivo, adicionando-se ainda 15 kg ha^{-1} de Mg, na forma de $MgSO_4$. Com base na recomendação de adubação foram estipuladas as doses de P_2O_5 ($A_1 = 36$; $A_2 = 60$ e $A_3 = 84$ kg ha^{-1}) aplicados na forma de superfosfato simples ($A_1 = 0,7$; $A_2 = 1,17$ e $A_3 = 1,64$ g vaso $^{-1}$ de P_2O_5), posteriormente o solo foi incubado por 20 dias. Devido às características arenosas da amostra de solo as adubações nitrogenadas e potássicas foram aplicadas em cobertura, sendo as nitrogenadas distribuídas aos 14, 21 e 27 dias após a semeadura e a adubação potássica aplicada aos 28 e 35 dias após a semeadura.

Após caracterização física e química do solo, e estipulação as adubações, o solo foi acondicionado em lisímetros com capacidade de 8 dm³ dos quais, 7 dm³ foram constituídos pelo solo e 0,5 dm³ foi preenchido por esterco bovino e de 0,5 dm³ de brita

em sua parte inferior para facilitar a drenagem. O preenchimento dos lisímetros consistiu na seguinte ordem: tela; brita; 2 dm³ de solo; e a mistura de solo (5 dm³), esterco (0,5 dm³) e a dose estipulada para cada tratamento.

Tabela 1. Características físicas e químicas de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Latossólico coletado na camada de 0–30 cm, e do esterco bovino utilizado no cultivo do feijão-caupi. UFERSA, 2016.

Solo														
Argila		Areia		Silte		DS		DP		Porosidade		Classe Textural		
-----%-----						g cm ⁻³		g cm ⁻³		----%----				
10,0		89,0		1,0		1,57		2,51		37,45		Areia Franca		
CE 1:2,5	pH	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	SB	T	MO	PST		
dSm ⁻¹	H ₂ O	mg dm ⁻³		-----cmolc dm ⁻³ -----							g kg ⁻³	%		
0,16	6,72	1,20	0,20	1,40	0,50	0,05	0,00	0,70	2,15	2,85	13,23	1,75		
Esterco														
N	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Fe	Mn	pH	C. Org	CTC	C/N	CE
-----g Kg ⁻¹ -----						-----mg Kg ⁻¹ -----				H ₂ O	%	Cmolc dm ⁻³	mS/cm	
14.85	3.25	1.16	16.11	3.07	0.66	65	15	3.77	121	6.53	10.70	34.24	7.21	2.56

Após o preparo do solo, foi realizada uma irrigação, deixando o solo próximo a máxima capacidade de retenção de água, e as irrigações subsequentes foram realizadas uma vez ao dia de modo a deixar o solo com umidade próxima à capacidade máxima de retenção, com base no método da lisimetria de drenagem, sendo a lâmina aplicada acrescida de uma fração de lixiviação de 20% a cada sete dias. O volume aplicado (Va) por recipiente foi obtido pela diferença entre a lamina anterior (La) aplicada menos a média de drenagem (d), dividido pelo número de recipientes (n), como indicado na equação 1:

$$Va = \frac{La - D}{n(1 - FL)} \quad \text{Eq. 1}$$

As águas da solução utilizadas na irrigação foram preparadas com adição de sais de cloreto de sódio NaCl, o qual, compõe 70% dos íons de sais em fontes de água utilizada para irrigação, em pequenas propriedades do Nordeste brasileiro (Medeiros et al., 2003).

No preparo da água de irrigação com vários níveis de salinidade, foi considerada a relação entre CE_a e concentração de sais (10*meq L⁻¹ = 1 dS m⁻¹ de CE_a), extraída de Rhoades et al. (1992), válida para CE_a de 0,1 a 5,0 dS m⁻¹ em que se enquadram os níveis testados. Utilizou-se no preparo das soluções água de abastecimento, existente no local (Ce_a= 0,53 dS m⁻¹), a qual foi acrescida de sais conforme necessário. Após

preparadas, as águas salinizadas foram armazenadas em recipientes plásticos de 150 L, um para cada nível de CE_a estudado, devidamente protegidos, evitando-se a evaporação, a entrada de água de chuva e a contaminação com materiais que pudessem comprometer sua qualidade. Para preparo das águas, com as devidas condutividades elétricas (CE), os sais foram pesados conforme tratamento, adicionando-se águas, até ser atingido o nível desejado de CE, conferindo-se os valores com um condutivímetro portátil, que tem sua condutividade ajustada à temperatura de 25°C.

Após a irrigação foi realizado a semeadura do feijão-caupifeijão-Caupi cv. Paulistinha no dia 14 de outubro de 2015, utilizando-se de 10 sementes por vaso. Quinze dias após a semeadura com a total emergência das plântulas, realizou-se o desbaste, deixando-se apenas três plantas por vaso.

Para determinação do balanço de sais do solo durante a condução do experimento, a cada sete dias durante a aplicação da lâmina de lixiviação foram coletados a solução de drenagem abaixo da zona radicular de cada vaso, armazenando-as em contêineres plásticos. Posteriormente determinou-se a condutividade elétrica da solução de drenagem (CE_{ad}) nas distintas épocas de coletas, obtida com auxílio de condutivímetro. A partir dos dados de condutividade elétrica da água de drenagem, estimou-se a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}), como indicado na equação 2 descrita por Ayers & Westcot (1999).

$$CE_{es} = \frac{CE_{ad}}{2} \quad \text{Eq.2}$$

Aos 15, 30 e 49 dias após (DAS) a semeadura as plantas de feijão-Caupi foram avaliadas quanto à altura de planta (AP) (cm), medida com uso de uma régua graduada, pela distância entre o solo e o ápice das plantas e o diâmetro do caule (DC) (mm), medido com uso de um paquímetro digital no colo das plantas. De posse desses dados seguindo metodologia proposta por Benincasa (2003), foram determinadas as taxas de crescimento relativo em altura (TCRAP) e diâmetro caulinar (TCRDC) equação 3.

$$TCR = \frac{\ln X_2 - \ln X_1}{t_2 - t_1} \quad \text{Eq.3}$$

Em que:

TCRA = Taxa de crescimento relativo em altura de plantas ($\text{cm cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); Ln = logaritmo natural; X1 = leitura no tempo t1 (cm); X2 = leitura no tempo t2 (cm);

Também aos 49 DAS às plantas foram coletadas para obtenção da massa seca das folhas (MSF) (g), do caule (MSC) (g), das raízes (MSR) (g), a partir da coleta do material, partição e acondicionamento em estufa de circulação de ar, a 65 °C, para

secagem do material que, após 72 horas, foi pesado em balança analítica. Posteriormente, foi determinada a partição de fitomassa, com base na representatividade de cada parte da planta no acúmulo de fitomassa, por meio da divisão desta pela massa seca total da planta.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste ‘F’ até o nível de 5% de probabilidade, e nos casos de significância foram realizadas análises de regressão polinomial linear ou quadrática para o fator salinidade da água de irrigação, e para o fator adubação fosfatada foi aplicado o teste de médias Tukey, ambos ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do software estatístico SISVAR® (Ferreira, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observaram-se variações na condutividade elétrica do extrato de saturação em função das diferentes épocas de coletas, manejos da adubação e condutividade elétrica da água de irrigação utilizada no cultivo das plantas de feijão-Caupi. Verificou-se que durante os primeiro 21 dias de cultivo nenhum dos solos npo vaso atingiram o limiar da cultura do feijão-Caupi que é de $4,9 \text{ dS m}^{-1}$ para extrato de saturação independente do manejo de adubação estudado (Ayers & Westcot, 1999). No entanto, a partir dos primeiros 28 dias de cultivo os solos irrigados com águas salinas acima de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ atingiram níveis maiores que a salinidade limiar da cultura, atingindo valores próximos a 10 dS m^{-1} nos maiores níveis de salinidade estudados (Figura 1).

Esses resultados indicam a severidade da salinização do solo pelo excesso de NaCl, fato também observado por Amorin et al. (2010), avaliando CE_{es} de solos cultivados com cajueiro irrigado com água salina durante quatro meses. Nesse trabalho os autores observaram CE_{es} na zona radicular de até $16,8 \text{ dS m}^{-1}$, indicando alto índice de salinização do solo, que comprometeu drasticamente o cultivo da plantas de cajueiro.

Observa-se ainda, que sob o manejo de adubação A3, os solos irrigados com água de até $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ só atingiram o limiar da cultura no último período de coleta, ao passo que nos demais manejos a irrigação com esse nível de salinidade promoveu a elevação do extrato de saturação superiores a salinidade limiar da cultura a partir dos primeiros 28 dias de condução do experimento (Figura 1A, B e C). Possivelmente a maior dose de superfosfato simples, liberou mais sulfato de cálcio, e com isso, auxiliando na remoção do sódio no processo de lavagem, haja vista que apesar do cálcio também ser um sal, o mesmo promove um risco de toxicidade menor que o sódio (Araújo et al., 2015; Mesquita et al., 2015; Sá et al., 2015).

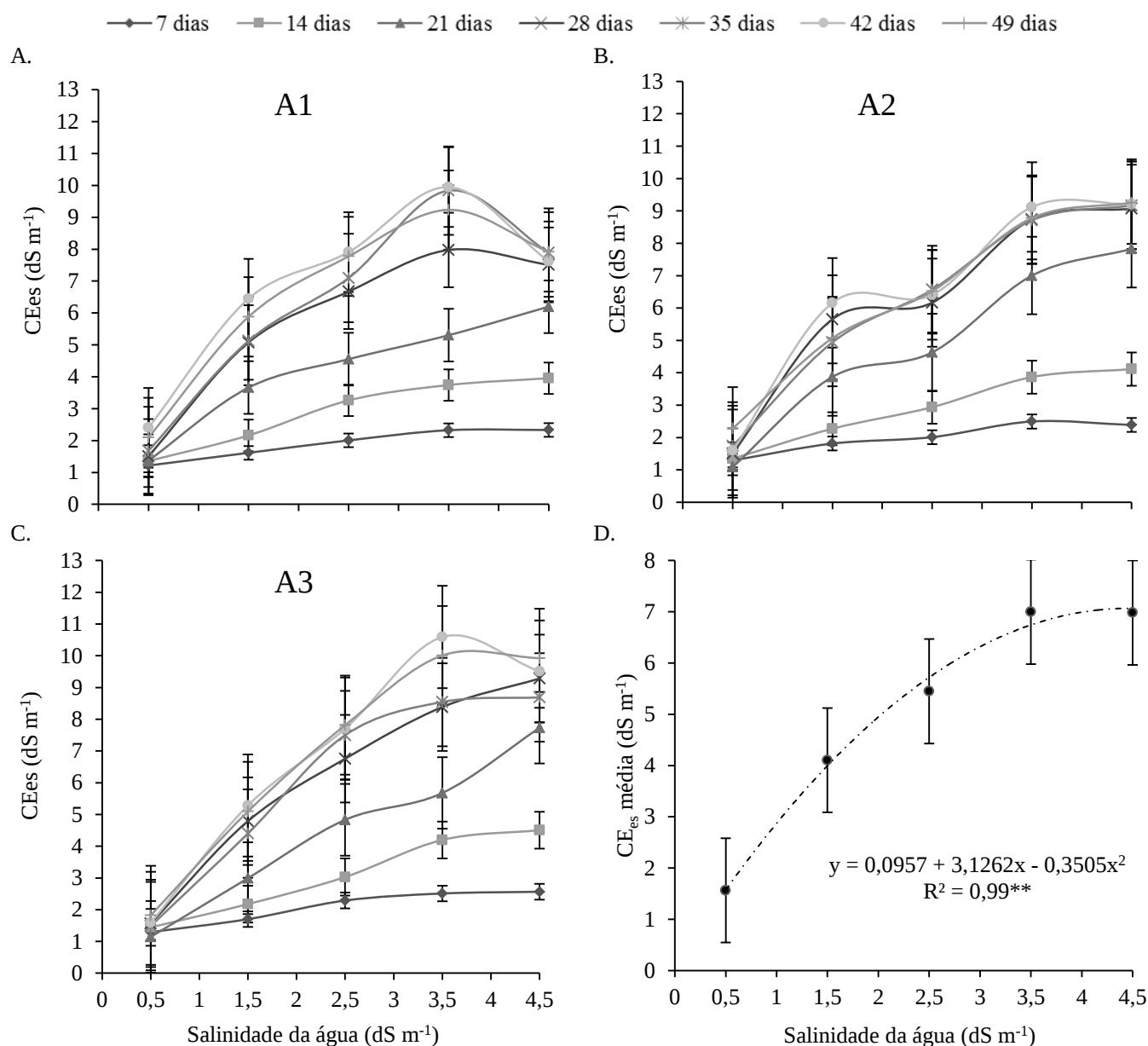


Figura 1. Condutividade elétrica (CE) A1 (A), A2 (B), A3 (C), CE média (D) da solução lixiviada do solo cultivado com feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada. UFRSA, 2016.

Para o crescimento relativo em altura das plantas cultivadas sob o manejo de adubação A1 (60% da recomendação fósforo) houve reduções lineares do crescimento em todas as épocas avaliadas. Para o manejo de adubação A2, verificaram-se reduções lineares nos primeiros 15 dias de cultivo, posteriormente as respostas de crescimento das plantas não foram significativas obtendo as médias de 0,020 e 0,027 (cm cm⁻¹ dia⁻¹), aos 30 e 49 dias de cultivo respectivamente. As alturas das plantas de feijão-Caupi sob o manejo A3 (140% da recomendação de fósforo) foram reduzidas linearmente durante os

primeiros 15 dias de cultivo, em função da salinidade. Todavia, observou-se comportamento quadrático do crescimento das plantas dos 30 aos 49 dias, atingindo o nível máximo de crescimento sob o nível estimado de $1,65 \text{ dS m}^{-1}$ (Figuras 2A, C e E). Resultados estes que corrobora com os resultados de condutividade elétrica do extrato de saturação, em que os solos do manejo A3 não atingiram a salinidade limiar da cultura durante os primeiros 42 dias, e ao atingir possivelmente não foram capaz de promover danos ao crescimento das plantas, haja vista, do início da fase reprodutiva (Figura 1C).

O crescimento relativo em diâmetro do caule não foi influenciado significativamente pelos manejos de adubação, observado apenas influência dos níveis de salinidade. Constatou-se que durante os primeiros 15 dias comportamento linear decrescente da TCRDC, no entanto, dos 15 aos 30 e dos 30 aos 49 dias observou-se comportamento quadrático com índices máximos de crescimento sob os níveis de $1,4$ e $1,6 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Contrapondo os resultados da TCRDC e a CE_{es} pode-se contar que aos primeiros 15 dias como a salinidade não atingiu a salinidade limiar em nenhum dos níveis de salinidade estudadas, as reduções no crescimento acompanharam o aumento linear da salinidade da água e do solo. Posteriormente até os 49 dias como os tratamentos irrigados até $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ não atingiram o limiar da cultura durante a maior parte desse período, as plantas sob essas condições se sobressaíram das demais.

Os sais podem afetar o crescimento das plantas em virtude da sua concentração na solução do solo, elevando a pressão osmótica e reduzindo a disponibilidade de água para os vegetais (Richards, 1954); pode ocorrer, também, o efeito tóxico de íons específicos, como sódio provocando injúrias, associado à acumulação excessiva do íon específico na planta (Flowers & Flowers, 2005; Wilson et al., 2006). Dessa forma, a incorporação do superfosfato simples que além de ser uma fonte primordial de fósforo nutriente essencial ao desenvolvimento das culturas, apresenta intrinsecamente o sulfato de cálcio em sua composição, pode auxiliar no balanço de sais no solo: mantendo os níveis de condutividade elétrica e possivelmente a percentagem de sódio trocável no solo, favorecendo ao maior crescimento da planta.

Vale salientar, que o fósforo é um nutriente crucial no metabolismo das plantas, atuando na transferência de energia da célula. O aumento da disponibilidade de fósforo pode estimular o crescimento da planta, assim como visto na TCRAT, no presente trabalho, possivelmente por aumentar os teores de ATP, e conseqüentemente atividade fotossintética da planta (Taiz & Zeiger, 2013; Dias et al., 2015).

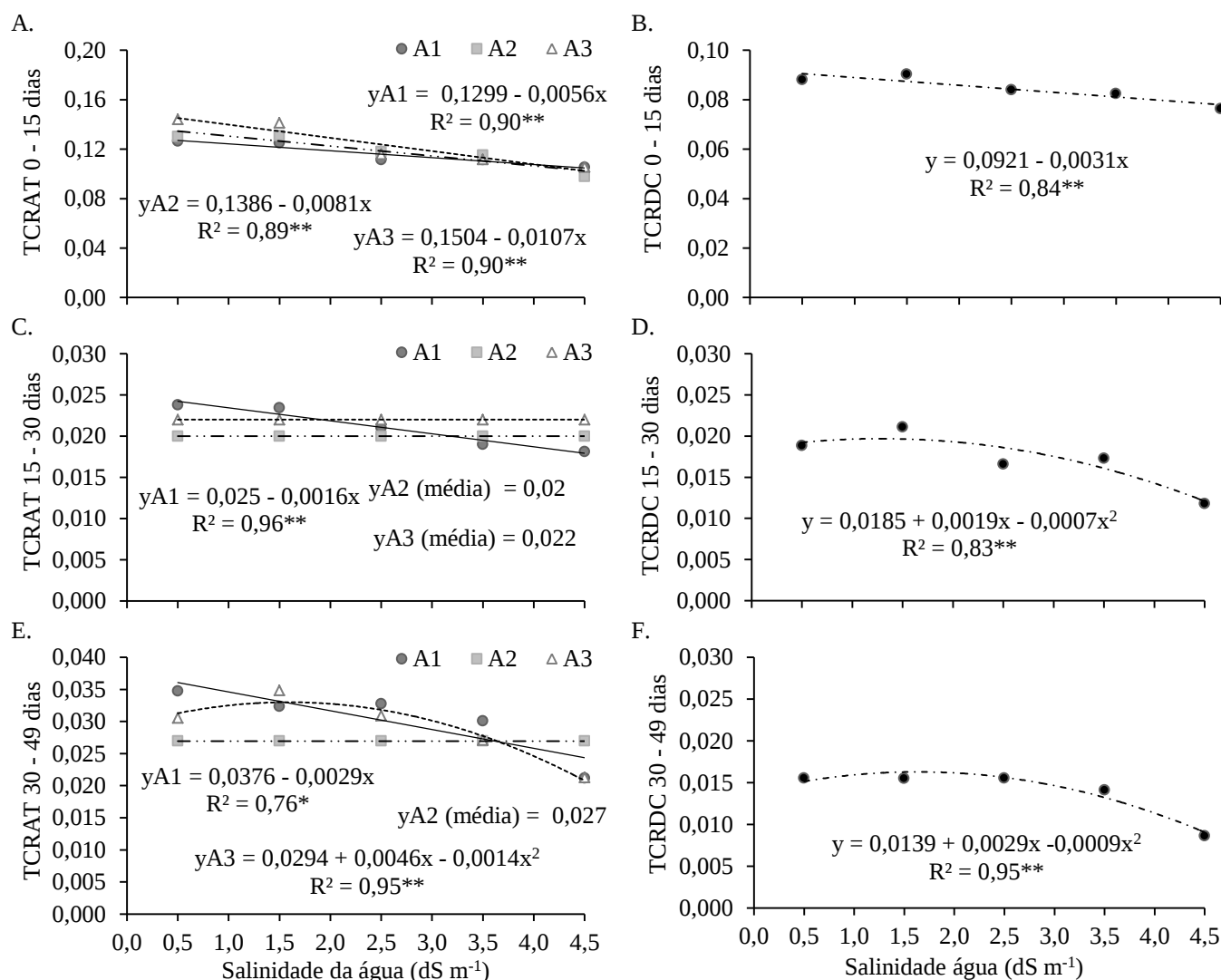


Figura 2. Taxa de crescimento relativo em Altura (TCRAT) (cm cm⁻¹ dia⁻¹) de 0-15 (A), 15-30 (C) e 30-49 dias após a semeadura (E) e taxa de crescimento relativo em diâmetro do caule (TCRDC) (mm mm⁻¹ dia⁻¹) de 0-15 (B), 15-30 (D) e 30-49 dias após a semeadura (F) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada. UFERSA, 2016.

O acúmulo de fitomassa das plantas de feijão-Caupi foi drasticamente reduzido com o aumento da salinidade da água de irrigação. Observando-se reduções unitárias de 0,52 e 0,09 g de MSF e MSC em função do aumento da salinidade da água de irrigação, respectivamente (Figura 3A e B). Estudos realizados por Wilson et al. (2006); Neves et al. (2009) em também demonstraram que aumento da salinidade da água de irrigação promove acúmulo de sais no solo, reduzindo o acúmulo de fitomassa das plantas de feijão-Caupi. Todavia, que o acúmulo de sais no solo, principalmente na forma de cloreto de sódio, é capazes de produzir necrose nos tecidos foliares e acelerar a

senescência de folhas maduras, fatores que reduzem a área destinada à fotossíntese, e consequentemente o acúmulo de biomassa (Ayers & Westcot, 1999; Medeiros et al., 2003; Esteves & Suzuki, 2008; Munns & Tester, 2008; Neves et al., 2009; Taiz & Zeiger, 2013).

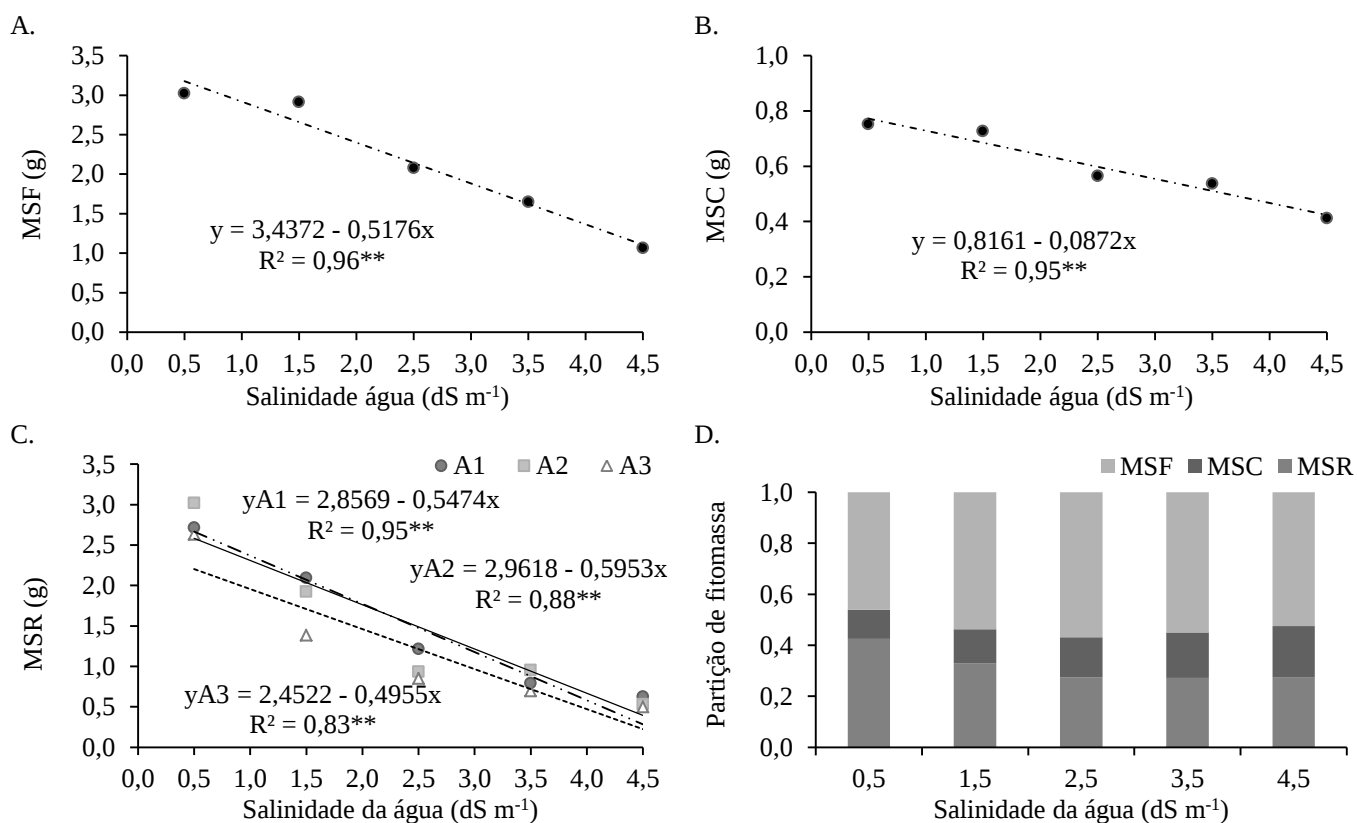


Figura 3. Massa seca da folha (A), caule (B), raízes (C) e partição de fitomassa (D) de plantas de feijão-Caupi cv. Paulistinha sob diferentes níveis de água salina e adubação fosfatada. UFERSA, 2016.

Para FSR observou-se efeito significativo da interação salinidade vs. adubação fosfatada, verificando-se reduções unitárias de 0,55, 0,60 e 0,50g para os manejos de adubação A1, A2 e A3, respectivamente para cada aumento de 1,0 dS m⁻¹ na salinidade da água de irrigação (Figura 3C). Constatando-se que sob a maior disponibilidade de fosfora as plantas obtiveram menores reduções no acúmulo de fitomassa, possivelmente devido à necessidade de menor espaço do sistema radicular, minimizando com isso a superfície de contato com íons de cloreto de sódio, além de que a maior disponibilidade de cálcio pode ter favorecido ao enrijecimento das membranas, deixando a mais resistente absorção do sódio.

Observou-se que quando irrigadas sob o maior nível de salinidade ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$), as plantas de feijão-Caupi obtiveram acúmulo de fitomassa semelhante das folhas e raízes independente do manejo de irrigação. Porém quando submetidas aos níveis crescentes de salinidade, houve aumento no acúmulo de fitomassa das folhas e do caule, decrescendo com isso o acúmulo de fitomassa nas raízes (Figura 3D). Esse comportamento indica que com aumento da salinidade, as plantas de feijão-Caupi param de investir em fitomassa da raiz, e distribui os seus fotoassimilados para o desenvolvimento da parte aérea da planta. Possivelmente para aumentar o número de vacúolos na planta e com isso reduzir o efeito iônico do estresse salino, por meio da compartimentalização de sais no vacúolo, minimizando a toxicidade por íons específicos (Flowers & Flowers, 2005).

4 CONCLUSÕES

Os níveis de salinidade superiores a $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ atingiram o limiar da cultura ($4,9 \text{ dS m}^{-1}$) a partir dos primeiros 21 dias de cultivo.

A irrigação com água de alta salinidade aumentou a condutividade elétrica do extrato de saturação em até $10,6 \text{ dS m}^{-1}$.

O aumento da salinidade prejudicou o crescimento e o acúmulo de fitomassa das plantas de feijão-Caupi.

Na maior dose de fósforo obteve-se maior crescimento das plantas de feijão-Caupi.

O aumento da salinidade afetou a partição de fitomassa das plantas de feijão-Caupi, havendo maior acúmulo de fitomassa nas folhas e caule, em relação à raiz.

LITERATURA CITADA

- Akande, S. R. Genotype by environment interaction for cowpea seed yield and disease reactions in the forest and derived savanna agro-ecologies of south-west Nigeria. *American-Eurasian Journal of Agricultural Environmental Science*, v.2, p.163-168, 2007.
- Amorim, V.; Gomes Filho, E.; Bezerra, M. A.; Prisco, J. T.; Lacerda, C. F. Respostas fisiológicas de cajueiro anão precoce à salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, p.113-121, 2010.
- Araújo, J. L.; Severo, P. J. S.; Lucena, F. T. C.; Veriato, R. G.; Paiva, K. F. Enxofre elementar ou sulfato de cálcio para remediação de solos salino-sódicos? *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.45, p.388-396, 2015.
- Ayres, R. S.; Wescot, D. W. A qualidade da água na agricultura. Tradução de Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Damasceno, E. F. A. V. Campina Grande, UFPB, 1999. 153p.
- Benincasa, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: Funep, 2003. 41p.
- Bezerra, A. K. P.; Lacerda, C. F.; Hernandez, F. F. F.; Silva, F. B.; Gheyi, H. R. Rotação cultural feijão-Caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. *Ciência Rural*, v.40, p.1075-1082, 2010.
- Cardoso, M. C.; Ribeiro, V. Q. Desempenho agrônômico do feijão-caupi, cv. Rouxinol, em função de espaçamentos entre linhas e densidades de plantas sob regime de sequeiro. *Revista Ciência Agronômica*, v.37, p.102-105, 2006.
- Dias, D. G.; Pegoraro, R. F.; Alves, D. D.; Porto, E. M. V.; Santos Neto, J. A.; Aspiazú, I. Produção do capim Piatã submetido a diferentes fontes de fósforo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.330-335, 2015.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. 3 ed. Rio de Janeiro, 2011, 230 p. (Embrapa – CNPS. Documentos, 132).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.
- Esteves, B. S.; Suzuki, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. *Oecologia brasiliensis*, v.12, p.662-679, 2008.
- Fageria, N. K. Tolerance of rice cultivar to salinity. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 26, p. 281-288, 1991.
- Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, p.1039-1042, 2011.

Flowers, T. J.; Flowers, S. A. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? *Agricultural Water Management*, v.78, p.15-24, 2005.

Medeiros, J. F.; Lisboa, R. A.; Oliveira, M.; Silva Júnior, M. J. ; Alves, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.469-472, 2003.

Mesquita, E. F.; Sá, F. V. S.; Bertino, A. M. P.; Cavalcante, L. F.; Paiva, E. P.; Ferreira, N. M. Effect of soil conditioners on the chemical attributes of a saline-sodic soil and on the initial growth of the castor bean plant. *Semina: Ciências Agrárias*, v.36, p.2527-2538, 2015.

Mousinho, F. E. P.; Andrade Jr, A. S.; Frizzzone, J. A. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no Estado do Piauí. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.30, p.139-145, 2008.

Munns, R.; Tester, M. Mechanism of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, p.651-681, 2008.

Neves, A. L. R.; Lacerda, C. F.; Guimarães, F. V. A.; Gomes Filho, E.; Feitosa, D. R. C. Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.873-881, 2009.

Ramos, H. M. M.; Bastos, E. A.; Andrade Jr, A. S.; Marouelli, W. A. Estratégias ótimas de irrigação do feijão-Caupi para produção de grãos verdes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, n.4, p.576-583, 2012.

Rhoades, J. D.; Kandiah, A.; Mashali, Q. M. The use of saline waters for crop production. Rome: FAO, 1992. 133p. (Irrigation and Drainage Paper, 48).

Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954, 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

Sá, F. V. S.; Araújo, J. L.; Novais, M. C.; Silva, A. P.; Pereira, F. H. F.; Lopes, K. P. Crescimento inicial de arbóreas nativas em solo salino-sódico do nordeste brasileiro tratado com corretivos. *Revista Ceres*, v.60, p.388-396, 2013.

Sá, F. V. S.; Mesquita, E. F.; Bertino, A. M. P.; Costa, J. D.; Araújo, J. L. Influência do gesso e biofertilizante nos atributos químicos de um solo salino-sódico e no crescimento inicial do girassol. *Irriga*, v.20, p.46-59, 2015.

Silva, R. N.; Lopes, N. F.; Duarte, G. L.; Moraes, D. M.; Pereira, A. L. A. Análise de crescimento de plantas de *Hordeum vulgare* L. Submetidas a estresse salino. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 13, p. 455-463, 2007.

Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed, 5.ed. 2013. 918p.

Wilson, C.; Liu, X.; Lesch, S. M.; Suarez, D. L. Growth response of major USA cowpea cultivars: biomass accumulation and salt tolerance. Hort Science, v.41, p.225-230, 2006.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os níveis de salinidade superiores a $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ atingiram o limiar da cultura ($4,9 \text{ dS m}^{-1}$) a partir dos primeiros 21 dias de cultivo.

A irrigação com água de alta salinidade aumentou a condutividade elétrica do extrato de saturação em até $10,6 \text{ dS m}^{-1}$.

O aumento da salinidade da água de irrigação reduziu a emergência, o crescimento, a atividade fotossintética e acúmulo de massa seca das plantas de feijão-Caupi.

O incremento de 40% na recomendação da adubação fosfatada do feijão-caupi, promoveu incrementos no crescimento, na atividade fotossintética e no acúmulo de biomassa da planta, independente da salinidade.

Adubação fosfatada não influenciou na fluorescência da clorofila *a* das plantas de feijão-Caupi.

O aumento da salinidade afetou a partição de fitomassa das plantas de feijão-Caupi, havendo maior acúmulo de fitomassa nas folhas e caule, em relação à raiz.