

**Avaliação de um ciclo de rotação cultural milho e feijão-de-corda,
utilizando-se água de baixa e de alta salinidade.**

GEOCLEBER GOMES DE SOUSA

**SETEMBRO – 2008
FORTALEZA – CEARÁ
BRASIL**

**Avaliação de um ciclo de rotação cultural milho e feijão-de-corda,
utilizando-se água de baixa e de alta salinidade.**

GEOCLEBER GOMES DE SOUSA

Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da
Universidade Federal do Ceará - UFC, como
requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre
em Solos e Nutrição de Plantas,

**SETEMBRO - 2008
FORTALEZA - CEARÁ
BRASIL**

Esta Dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, outorgado pela Universidade Federal do Ceará. Uma via do presente estudo encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca de Ciência e Tecnologia da referida Universidade.

Geocleber Gomes de Sousa

Aprovada em: ____/____/____

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda – Doutor
(Orientador)

Prof. Dr. Lourival Ferreira Cavalcante – Doutor
(Examinador)

Francisco Valdevez Augusto Guimarães – Doutor
(Examinador)

**À minha linda e ilustre mamãe Maria das Graças Gomes por todo seu
carinho e amor e a toda minha família**

Dedico

**À minha amada esposa, Giovana Lopes da Silva e ao meu filho
Guilherme que está para vir ao mundo. Que DEUS possa nos abençoar
todos os dias**

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, meu protetor, pai nosso de cada dia, minha força pra lutar, meu companheiro de todas as horas;

Ao programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas e ao Departamento de Ciências do Solo e aos seus funcionários;

À coordenação do Curso de Pós-graduação, em nome do Professor Ricardo Espíndola Romero e Raimundo Nonato de Assis Júnior, por seus grandes ensinamentos, conselhos e amizades;

Ao Conselho Nacional de Apoio à Pesquisa (CNPq) pelo concedimento da bolsa;

Ao meu orientador Professor Claudivan Feitosa de Lacerda, pela sua orientação, amizade, ensinamentos, conselhos, enfim, por sua contribuição em tornar-me melhor como estudante e profissional;

Ao Dr. Francisco Valderéz Augusto Guimarães (FUNCEME), por sua contribuição neste trabalho, a qual foi fundamental para minha maior compreensão e também pela sua amizade e atenção;

Ao Prof. Dr. Lourival Ferreira Cavalcante, por seus ensinamentos e amizade;

À todos professores do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, em especial aos professores Ricardo Espíndola Romero, Raimundo Nonato de Assis Júnior, Boanerges Freire de Aquino, Ismail Soares, Vânia Felipe Freire Gomes, Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, Tiago Osório Ferreira e Paulo Furtado Mendes Filho, pelos ensinamentos do dia-a-dia;

À Giovana Lopes da Silva, meu amor, meu novo espelho de vida, por todo seu carinho, companheirismo e afeto. Tudo isso foi fundamental para que eu aperfeiçoar-se e me tornar-se uma pessoa mais feliz. Este espaço é muito pequenino para demonstrar todo meu amor, gratidão, apreço, harmonia e alegria por essa pessoa tão especial que conheci no decorrer desta árdua caminhada;

Aos amigos da turma de Mestrado: José Pedro Torquato, Francélio Pereira de Sousa, Rafael Aragão Magalhães, Antônia Tathiana e Rafaella Nogueira;

À equipe Sal: Francisco Leandro Barbosa da Silva, Maria Eloneide de Jesus Bezerra e Flávio Batista da Silva, pela amizade e apoio na condução dos experimentos;

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

RESUMO GERAL

O presente trabalho teve por objetivos avaliar os efeitos da água de baixa salinidade ($0,8 \text{ dS m}^{-1}$) e de alta salinidade (2,2; 3,6 e $5,0 \text{ dS m}^{-1}$) nos atributos químicos do solo, no desenvolvimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) e feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L. (Walp)), nos teores de elementos minerais e nos totais extraídos de Na, de macronutrientes (Ca, K, Mg, P,) e de micronutrientes (Cl, Fe, Cu, Zn e Mn), cultivadas em um ciclo de rotação cultural milho e feijão-de-corda. O experimento foi conduzido no campo em um Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico (Santos et al., 2006) obedecendo a um delineamento em blocos ao acaso, com quatro tratamentos (T1, T2, T3 e T4) e cinco repetições. Na rotação cultural o milho foi plantado no espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,2 m. na estação seca (Set a Dez/2007) irrigados com água de alta salinidade. Os tratamentos aplicados no cultivo do milho foram os seguintes: T1 (água de baixa salinidade com condutividade elétrica de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$); T2 (condutividade elétrica de $2,2 \text{ dS m}^{-1}$); T3 (condutividade elétrica de $3,6 \text{ dS m}^{-1}$) e T4 (condutividade elétrica de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$). Os tratamentos (T2, T3 e T4) representam as águas de alta salinidade. Na estação chuvosa (Jan a Abr/2008) sucedendo o milho, cultivou-se o

feijão-de-corda. Nesse cultivo utilizou-se apenas irrigações suplementares com água de baixa salinidade ($0,8 \text{ dS m}^{-1}$). O delineamento estatístico aplicado na rotação cultural foi o de blocos ao acaso, com cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Cada parcela com 3 m de comprimento e 5 linhas de plantio, sendo utilizado milho na estação seca e feijão-de-corda na estação chuvosa. Durante a rotação cultural foram avaliadas as seguintes características: atributos químicos do solo, crescimento vegetativo, partição de matéria seca e produtividade. Na cultura do milho foram também avaliadas os teores dos elementos minerais e os totais extraídos de Na, Ca, K, Mg, P, Cl, Fe, Cu, Zn e Mn em função da salinidade da água de irrigação. A irrigação com águas salinas aumentou a salinidade e a sodicidade do solo durante o período da estiagem, e as precipitações no período chuvoso foram eficientes para a lavagem do excesso de sais do perfil do solo, enquanto a salinidade da água de irrigação acima $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ inibiu o crescimento vegetativo e a capacidade produtividade do milho, já o acúmulo de sais no solo durante o cultivo do milho na estação seca não afetou a produtividade do feijão-de-corda e a um a predominância do crescimento vegetativo do feijão-de-corda em detrimento da produção de grãos ocorreu pelo excesso de chuvas. Aos 90 dias após a semeadura os teores de elementos minerais foram afetados pela salinidade da água de irrigação, o aumento da salinidade da água de irrigação, aos 90 dias após a semeadura inibiu a absorção de potássio nas folhas, de magnésio e fósforo nos grãos, a extração dos nutrientes e sódio pelas plantas irrigadas com água de baixa salinidade obedeceu à ordem: $\text{K} > \text{Mg} > \text{Cl} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Na} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$, e com águas salinas: $\text{K} > \text{Cl} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$ e a salinidade provocou redução da extração dos elementos minerais: K, Ca, Mg e P. O estresse salino proporcionou a seguinte distribuição de elementos minerais: Na e K permaneceram nas partes vegetativas, Ca, Mg e P foram exportados em maiores proporções para os órgãos reprodutivos, Cl, Mn e Cu permaneceram preferencialmente nas partes vegetativas, Fe e Zn foram exportados em maiores proporções pelos grãos.

Palavras-chave: Zea mays, vigna unguiculata, estresse salino, irrigação, crescimento, produtividade, extração e distribuição de minerais do solo

SUMMARY

Aiming to assess the effects of salinity in the chemical characteristics of the soil, growth, partition of dry matter and productivity, and the effects of soil salinity on the levels mineral elements contend and the total extracted Na, macronutrients (Ca, K, Mg, P) and micronutrients (Cl, Fe, Cu, Zn and Mn), according to the salinity of the water irrigation, an experiment was carried out in the field according with randomized block design, with four treatments (T1, T2, T3 and T4) and five repetitions. In the cropping rotation was planted the maize in the spacing between lines of 0.8 m and 0.2 m between plants irrigated with water from high salinity and cowpea in the spacing between lines of 0.8 m and 0.3 m between plants irrigated with water with low salinity. The treatments used in the dry season maize crop in were: T1 (plants irrigated with water with low salinity), T2 (saline water with EC_w of 2.2 dS m⁻¹); T3 (saline water with EC_w of 3.6 dS m⁻¹); T3 (saline water with EC_w ds of 3.6 m⁻¹) and T4 (saline water with EC_w of 5.0 dS m⁻¹). For cropping of cowpea in the rainy season the plots were demarcated. During the rotation cropping were assessed the following characteristics: chemical characteristics of soil, vegetation growth, partition of dry and productivity. They were also evaluated the levels of elements and minerals extracted from the total nutrients in the corn crop at 90 days after sowing. The application of saline waters caused increased

salinity and sodicity soil during the dry period, and rainfall in the rainy season have been effective in washing the excess salts in the soil profile, increasing salinity of irrigation water above $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ reduced the vegetative growth, productivity and rate of harvest of maize, the accumulation of salts in the soil for the cultivation of maize in the dry season did not affect the productivity of cowpea, which was due to the high volume of rain that occurred just before and after the cultivation, this excess of rain, however, caused an no normal growth of cowpea with predominance vegetative of shares to the detriment of the production of grains. The levels of mineral elements varied in the maize crop to 90 days after the planting, being affected by salinity of irrigation water, as the higher the level of salinity irrigation water to 90 days after sowing as lower the levels of potassium in the leaves, magnesium and phosphorus in grains, and the plants of maize under low salinity irrigation water, extract nutrient in the following order: K > Mg > Cl > Ca > P > Na > Fe > Zn > Mn > Cu however under salinity stress the maize crop extract the minerals to higher salinity level in the following order: K > Cl > Ca > Na > P > Mg > Mn > Zn > Cu and the salt decreases the extraction total the following minerals: K, Ca, Mg e P. The salinity has the following distribution of mineral elements: Na and K remained in the vegetative parts, Ca, Mg and P was exported in larger proportions to the reproductive organs, Cl, Mn and Cu were mainly in the vegetative parts, Fe and Zn was exported in larger proportions by grain

Keywords: *Zea mays*, *vigna unguiculata*, salt stress, irrigation, growth, productivity, mineral removal and distribution of soil

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1.	ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE MILHO/FEIJÃO-DE-CORDA EM SISTEMA DE ROTAÇÃO CULTURAL UTILIZANDO-SE ÁGUA DE BAIXA E ALTA SALINIDADE.....	11
Figura 1.	Dados de precipitação dos decêndios compreendidos entre Setembro/2007 e Abril/2008.....	18
Figura 2.	Croqui da área experimental.....	20
Figura 3.	Demarcação das parcelas (A), e cultivo do milho (período seco) na fase vegetativa (B) e formação da colheita (C) e do feijão (período chuvoso) na fase vegetativa 25 dias após o plantio (D) e fase de colheita (E).....	21
Figura 4.	Produção de matéria seca de colmos + bainhas (A), limbos foliares (B), pendões (C), espigas (D), material morto (E) e matéria seca da parte aérea (F) em plantas de milho irrigadas com água de crescentes concentrações de sais.....	33
Figura 5.	Produção de matéria seca de grãos (A), sabugos (B) e da palha (C), e a massa seca de 1000 sementes (D) em plantas de milho irrigadas com água de crescentes concentrações de sais.....	35
Capítulo 2.	NUTRIÇÃO MINERAL E EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES DE PLANTAS DE MILHO IRRIGADAS COM ÁGUAS SALINAS	
Figura 1.	Teores de sódio nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.....	57
Figura 2.	Teores de cloro nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.....	58
Figura 3.	Teores de Cálcio nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.....	60
Figura 4.	Teores de Potássio nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D) e nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em	

função dos níveis de salinidade da água de irrigação.....61

- Figura 5.** Teores de magnésio nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.....64
- Figura 6.** Teores de Fósforo nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.....65
- Figura 7.** Teores de Ferro nas folhas (A), nos colmos (B), no Pendão (C), na Palha (D), nos grãos (E) e nos Sabugo (F) e de Mn nos grãos (D) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.....67
- Figura 8.** Teores de manganês nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.....68
- Figura 9.** Teores de Cobre nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.....70
- Figura 10.** Teores de Zinco nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.....71

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1.	ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE MILHO/FEIJÃO-DE-CORDA EM SISTEMA DE ROTAÇÃO CULTURAL UTILIZANDO-SE ÁGUA DE BAIXA E ALTA SALINIDADE.....	11
Tabela 1.	Dados meteorológicos médios obtidos durante realização do estudo.....	18
Tabela 2.	Características químicas obtidas nas análises de solo realizadas antes da instalação do primeiro cultivo (agosto de 2007, C1), após o cultivo do milho (dezembro de 2007, C2) e após o cultivo do feijão-de-corda (abril de 2008, C3), na camada de 0,0 a 0,3 m.....	28
Tabela 3.	Características químicas obtidas nas análises de solo realizadas antes da instalação do primeiro cultivo (agosto de 2007, C1), após o cultivo do milho (dezembro de 2007, C2) e após o cultivo do feijão-de-corda (abril de 2008, C3), na camada de 0,3 a 0,6 m.....	28
Tabela 4.	Características químicas obtidas nas análises de solo realizadas antes da instalação do primeiro cultivo (agosto de 2007, C1), após o cultivo do milho (dezembro de 2007, C2) e após o cultivo do feijão-de-corda (abril de 2008, C3), na camada de 0,6 a 0,9 m.....	29
Tabela 5.	Condutividade elétrica do extrato solo/água (CE 1:1) e percentagem de sódio trocável (PST) em amostras de diferentes camadas de um Argissolo vermelho Amarelo Eutrófico coletados antes da instalação do primeiro cultivo (agosto de 2007), após o cultivo do milho (dezembro de 2007) e após o cultivo do feijão-de-corda (abril de 2008).....	30
Tabela 6.	Valores de quadrado médio e significância estatística da produção de matéria seca de colmos + bainhas (MSCO), limbos foliares (MSFO), espigas (MSESP), pendões (MSPEN), material morto (MSMM) e matéria seca da parte aérea (MSPA) em plantas de milho irrigadas com água de crescentes concentrações de sais.....	31

Tabela 7.	Valores de quadrado médio e significância estatística da produção de matéria seca de grãos (MSGR), sabugos (MSSAB) e da palha (MSPAL), e a massa seca de 1000 sementes (P1000) em plantas de milho irrigadas com água de crescentes concentrações de sais.....	34
Tabela 8.	Valores de quadrado médio e significância estatística da partição de matéria seca em diversas partes de plantas de milho irrigadas com água de crescentes concentrações de sais.....	36
Tabela 9.	Partição da matéria seca da parte aérea em plantas de milho irrigadas com água de crescentes concentrações de sais.....	37
Tabela 10.	Matéria seca de hastes (MSH), de limbos foliares (MSFO), de vagens (MSVAG) e da parte aérea (MSPA) de plantas de feijão-de-corda cultivadas nas parcelas experimentais que foram previamente cultivadas com milho.....	38
Tabela 11.	Tamanho da vagem (TV), número de grãos por vagem (NGV), massa seca de 100 sementes (P100) e produção de grãos (MSGR) de plantas de feijão-de-corda cultivadas nas parcelas experimentais que foram previamente cultivadas com milho.....	39
Tabela 12.	Partição da matéria seca da parte aérea de plantas de feijão-de-corda cultivadas nas parcelas experimentais que foram previamente cultivadas com milho.....	40
Capítulo 2.	NUTRIÇÃO MINERAL E EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES DE PLANTAS DE MILHO IRRIGADAS COM ÁGUAS SALINAS.....	42
Tabela 1.	Valores dos quadrados médios e da significância estatística para os teores de Na, K, Ca, Mg e P nas diversas partes de plantas de milho irrigadas com água de diferentes concentrações de sais.....	53
Tabela 2.	Valores dos quadrados médios e da significância estatística para os teores de Cl, Fe, Mn, Zn e Cu nas diversas partes de plantas de milho irrigadas com água de diferentes concentrações de sais.....	54
Tabela 3.	Valores dos quadrados médios e da significância estatística do conteúdo de nutrientes em plantas de milho irrigadas com quatro níveis de salinidade (0,8; 2,2; 3,6 e 5,0 dS m ⁻¹).....	72
Tabela 4.	Totais extraídos, em kg ha ⁻¹ , de Cl, P, Na, Ca, K e Mg em plantas de milho irrigadas com água salina.....	74

Tabela 5.	Totais extraídos, em g ha^{-1} de Fe, Cu, Zn e Mn em plantas de milho irrigadas com água salina.....	74
Tabela 6	Valores dos quadrados médios e da significância estatística para a distribuição de elementos minerais em diferentes partes de plantas de milho aos 90 DAS irrigadas com água com diferentes níveis salinos...	74
Tabela 7	Distribuição (kg há^{-1}) de Na^+ , K, Ca, Mg e P nas partes vegetativas e reprodutivas de plantas de milho irrigadas com água salina.....	75
Tabela 8	Distribuição (g há^{-1}) de Cl^- , Fe, Mn, Cu e Zn nas partes vegetativas e reprodutivas de plantas de milho irrigadas com água salina.....	75

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO GERAL	xi
SUMMARY	xii
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Solos Afetados por Sais	4
2.2. Qualidade da água de irrigação	6
2.3. Efeito da salinidade sobre as culturas	7
2.4. Estratégias de manejo em áreas irrigadas com água salina	8
CAPÍTULO 1 ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE MILHO/FEIJÃO-DE-CORDA EM SISTEMA DE ROTAÇÃO CULTURAL UTILIZANDO-SE ÁGUA DE BAIXA E ALTA SALINIDADE	11
RESUMO	11
SUMMARY	13
1. INTRODUÇÃO	15
2. MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1. Local de estudo, dados metereológicos e caracterização da rotação cultural	17
2.2. Cultivo do milho na estação seca	19
2.2.1. Preparo da área, tratamentos e delineamento experimental	19
2.2.2. Instalação e condução do experimento	22
2.2.3. Análises de crescimento e produtividade	23
2.3. Cultivo do feijão-de-corda na estação chuvosa	24
2.3.1. Instalação e condução do experimento	24
2.3.2. Análise de crescimento e produtividade	24
2.4. Análises de solo	25
2.5. Análises estatísticas	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
3.1. Características químicas do solo	26
3.2. Desenvolvimento do milho na estação seca	30

3.2.1. Crescimento e produtividade.....	31
3.2.2. Partição de matéria seca.....	36
3.3. Desenvolvimento do feijão-de-corda na estação chuvosa.....	37
4. CONCLUSÕES.....	41
CAPÍTULO 2. NUTRIÇÃO MINERAL E EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES DE PLANTAS DE MILHO IRRIGADAS COM ÁGUAS SALINAS.....	42
RESUMO.....	42
SUMMARY.....	44
1. INTRODUÇÃO.....	46
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	48
2.1. Local do experimento, tratamentos e delineamento experimental.....	48
2.2. Instalação e condução do experimento.....	49
2.3. Coleta das plantas e análises minerais.....	50
2.4. Análise estatística.....	51
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
3.1. Teores de elementos minerais.....	52
3.2. Extração de minerais do solo.....	72
3.3. Distribuição de nutrientes.....	74
4. CONCLUSÕES.....	76
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

1. INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento da população mundial aumenta a demanda por alimentos, tornando-se imprescindível o uso da irrigação na agricultura, em geral, de regiões semi-áridas, como as do Nordeste brasileiro. Especificamente no Estado do Ceará, é comum a existência de fontes de água subterrânea com condutividade elétrica superior a $2,0 \text{ dS m}^{-1}$, as quais são utilizadas na irrigação, principalmente nos períodos de escassez de água de boa qualidade. Essas fontes hídricas podem também se constituir em alternativas para locais que não dispõem de rios perenizados e águas subterrâneas de baixa qualidade. No entanto, a utilização dessas fontes de água salinas podem, comprometer as propriedades físicas, químicas e a atividade microbiana do solo resultando em estresse às plantas (Gheyi, 2000).

A utilização de água salina na agricultura irrigada deve ser precedida de uma avaliação científica com vista ao impacto provocando à qualidade dos produtos agrícolas e, também, sobre as propriedades do solo e dos mananciais de águas de baixa qualidade (Seckler et al., 1998; Sharma & Rao, 1998; Annandale et al., 1999; Cavalcante et al., 2001), buscando-se encontrar os genótipos mais adaptados e as técnicas mais adequadas para amenizar os seus efeitos sobre o ambiente.

Alternativas para o uso de fontes de águas salinas na agricultura irrigada incluem, também, o cultivo de espécies forrageiras (Glenn et al., 1998; Sharma & Rao, 1998; Yaduvanshi et al., 2008), mediante o manejo do solo, a rotação de culturas

(Murtaza et al., 2006), no reúso e mistura de águas de diferentes qualidades (Qadir & Oster, 2004; Chauhan et al., 2008) e o uso de diferentes fontes de água nos distintos estádios de desenvolvimento das plantas (Neves, 2008). O emprego dessas técnicas pode permitir o uso racional de fontes das águas existentes na região e contribui também para minimizar a degradação do solo (Rhoades et al., 2000).

O milho (*Zea mays L.*) originário da América Central é cultivado em todo o Brasil, é usado diretamente como alimento quanto para usos alternativos na produção de biocombustível. A maior parte de sua produção é utilizada como ração de bovinos, suínos, aves e peixes. Atualmente somente cerca de 25% da produção brasileira se destina ao consumo humano e, mesmo assim, de maneira indireta na composição de outros produtos. Em função do valor nutricional, palatabilidade e dos altos rendimentos alcançados, o milho (*Zea mays L.*), é um dos cereais mais cultivados no mundo, assumindo expressiva importância social e econômica. A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal representa 66% do consumo deste cereal, no mundo, sendo o restante utilizado como sementes (Fornasieri Filho, 2007).

Para (Ayers & Westcot, 1999) o milho (*Zea mays L.*), é uma cultura moderadamente sensível a salinidade, apresentando salinidade limiar da água de $1,1 \text{ dS m}^{-1}$ e do solo de $1,7 \text{ ds m}^{-1}$, o que de acordo com (Igartua et al., 1995) pode constituir uma alternativa para cultivos que utilizem recursos (água e solo) salinos.

O feijão-de-corda (*Vigna unguiculata (L) Walp*) é uma das espécies mais comestíveis no Brasil e no mundo pelo fato de fazer parte do cardápio das mais distintas classes sociais. Originário da África, mais precisamente da Nigéria, como centro primário de diversidade da espécie, é muito cultivada na região Nordeste do Brasil e representa um dos alimentos básicos para a população dessa região. Esta cultura é tradicionalmente cultivada em condições de sequeiro, embora recentemente seu cultivo em perímetros irrigados tenha aumentado consideravelmente.

O feijão-de-corda de acordo com Ayers & Westcot, (1999), tolera irrigação com água salina de condutividade elétrica até $3,3 \text{ dS m}^{-1}$, sem redução na sua capacidade produtividade, indicando que essa espécie pode se constituir em alternativa para cultivos que utilizem águas salinas em diferentes estádios fenológicas (Neves, 2008).

Pelo exposto a utilização de um sistema de rotação cultural milho e feijão-de-corda permitirá uma avaliação do efeito da rotação cultural entre leguminosas e gramíneas, bem como avaliar os aspectos rentáveis por este sistema, as características químicas do solo, considerando a utilização de fontes de água salinas na agricultura, durante a estação árida, conforme tem sido observado em outros estudos (Murtaza et al., 2006; Dehghanisani et al., 2006), além dos aspectos nutricionais de plantas irrigadas com água salina (Azevedo Neto & Tabosa, 2000a).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da salinidade da água de irrigação nos atributos químicos do solo, no crescimento, na partição de matéria seca e produtividade, na nutrição mineral e na acumulação de nutrientes em plantas de milho e feijão-de-corda sob sistema de rotação cultural.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Solos afetados por sais

Os solos afetados por sais representam uma das maiores ameaças à agricultura em escala mundial. Segundo dados da FAO (2000), o excesso de sais limita severamente a produção agrícola, principalmente nas regiões áridas e semi-áridas, onde 2% da área irrigada encontra-se salinizada. Isso ocorre pelo fato de a água de irrigação apresentar sais dissolvidos que, mesmo em baixa concentração, podem ser incorporados ao solo, o qual pode se tornar salino em médio ou curto período de cultivo (Medeiros, 2001), além de apresentarem elevada variabilidade horizontal e verticalmente, quanto às propriedades físicas, químicas, além de alterações durante a época do ano (Freire & Freire 2007).

Em função do grave problema de ordem mundial, é que vem se buscando cada vez mais o desenvolvimento de uma agricultura sustentável. No entanto a necessidade de estratégias de manejo em áreas irrigadas com água de baixa e alta salinidade pode ser uma alternativa de se elevar à produtividade de culturas tolerantes a estes ambientes (Murtaza et al., 2006).

A salinização dos solos pode ter origem natural ou ser induzida pelo homem. Os processos naturais associados diretamente a pedogênese são os responsáveis pela maior parte da área salinizada no mundo (Tanji, 1990). Outras fontes de salinização primária são o intemperismo químico, especialmente sobre os minerais primários, a

precipitação atmosférica e os sais fósseis remanescentes de ambientes marinhos e lacustres (Ayers & Westcot, 1999).

A salinização causada pela ação do homem é a que traz maior impacto econômico, pois ocorre em áreas onde se realiza investimento de capital. A salinização secundária ou antrópica está diretamente relacionada à qualidade da água, ao manejo de irrigação e a eficiência do sistema de drenagem (Gheyi, 2000).

Os fatores diretamente responsáveis pela salinização dos solos em áreas irrigadas são: a) uso de água de irrigação com alta concentração salina; b) elevação do lençol freático causada pelo manejo inadequado da irrigação, pelas perdas de água por infiltração em canais e reservatórios, e por deficiência de drenagem (Smedema, 1998); c) aplicação de fertilizantes, de forma excessiva e pouco parcelada no decorrer do período, induzindo estresse osmótico ao sistema radicular (Dias et al., 2003).

A linha divisória entre solos salinos e solos não salinos têm estabelecido o valor de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ para extratos de pasta saturada do solo. Entretanto, podem-se observar reduções no rendimento de culturas em solos cujo extrato de saturação apresenta condutividade elétrica entre $2,0$ e $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ (Fageria & Gheyi, 1997). De acordo com Richards (1954) os solos são considerados salinos, quando a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) é maior que $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, a percentagem de sódio trocável (PST), obtida pela relação dos teores trocáveis de sódio com a capacidade de troca catiônica do solo é menor do que 15% sendo que, o pH desses solos é menor que 8,5.

De acordo com Santos & Hernandez (1997) existem, fundamentalmente, duas técnicas de recuperação de solos afetados por sais, que são a lavagem dos sais e aplicação de corretivos. Raramente se conseguem a recuperação de solos salinos e/ou sódicos com o emprego de uma técnica apenas. Para se ter um processo de recuperação bem sucedido, usa-se a aplicação de duas ou mais técnicas. A lavagem é, no momento, a técnica mais prática de eliminação de sais do solo, a qual consiste em se fazer passar através do perfil do solo uma certa quantidade de água capaz de carrear os sais presentes, e que deverão ser eliminados quer superficial ou subterraneamente, através de uma boa drenagem.

2.2. Qualidade da água de irrigação

A qualidade da água pode ser considerada como um importante fator para o manejo de áreas irrigadas. A carência de água vem preocupando a cada dia a comunidade científica do mundo inteiro. A necessidade crescente por água para irrigação das culturas para produção de alimentos estão cada vez mais limitadas, tendo levado o reuso e a reciclagem de água disponível na agricultura (Bouwer 1994; Ragab, 2005).

Atualmente a água é considerada um produto estratégico que, sem controle, poderá faltar nos próximos vinte anos, sendo as regiões áridas e semi-áridas as mais afetadas, onde quase sempre a evapotranspiração é maior que a precipitação pluviométrica. A qualidade da água quase sempre é sensivelmente reduzida ao longo do período de estiagem e, às vezes, torna-se imprópria para agricultura devido os elevados teores de sais (Cavalcante & Cavalcante, 2006).

Bernardo et al. (2005) relacionam seis parâmetros básicos para se analisar a água e determinar a sua qualidade para irrigação, são eles: (a) concentração total de sais solúveis ou salinidade; (b) proporção relativa de sódio, em relação aos outros cátions ou capacidade de infiltração do solo; (c) concentração de elementos tóxicos; (d) concentração de bicarbonatos; (e) aspecto sanitário; e, (f) aspecto de obstrução de emissores (Irrigação localizada).

A irrigação exerce destacada importância no crescimento e no desenvolvimento das plantas e no processo produtivo, mas pode salinizar os solos, principalmente das regiões áridas e semi-áridas, alterando de forma negativa as propriedades destes solos. Isso ocorre mais freqüentemente quando a água apresenta restrições à agricultura irrigada e pode resultar em obstáculo ao desenvolvimento das culturas, além de acelerar a degradação física do solo (Silva et al., 2005; Cavalcante & Cavalcante 2006). No entanto (Ayres & Westcot, 1999) relatam que adequação da água para irrigação depende tanto da própria qualidade, quando de fatores relacionados com as condições de uso. Uma mesma qualidade de água pode ser considerada adequada para uma certa cultura ou solo, mas ser imprópria para outros.

Silva Junior et al. (1999), analisando águas provenientes de diversas fontes nos estados da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte, concluíram que as águas do cristalino do nordeste brasileiro possuem baixos níveis de sulfatos, carbonatos e potássio, além de constatarem a predominância de águas sódicas independentes do nível de salinidade.

As aéreas salinas e sódicas deixarão de se expandir no Brasil somente quando houver maior preocupação com os efeitos da irrigação sobre a capacidade produtiva dos solos, com a adoção de práticas de manejo adequadas para evitar a salinização de locais ainda não atingindo pelo problema, como também com a melhoria das condições de solos já afetados (Freire & Freire 2007). Em sistemas irrigados, o acúmulo de sais, é inevitável, e a sustentabilidade a longo prazo é impossível sem uma drenagem natural ou artificial adequada, que remova os sais das camadas superiores dos solo (Ritzema et al., 2008)

2.3. Efeito da salinidade sobre as culturas

O estresse salino induz uma série de respostas morfológicas, fisiológicas e bioquímicas nas plantas, respostas estas que variam dependendo da cultivar, do genótipo e do estágio de desenvolvimento da planta. Em relação à tolerância à salinidade as plantas podem ser classificadas como halófitas ou glicófitas. Hasegawa et al. (2000) definem as halófitas como plantas que necessitam de altas concentrações de eletrólitos (tipicamente Na^+ e Cl^-) ou níveis salinos acima daqueles encontrados em solos não salinos, variando entre 20 a 500 mM de NaCl, para um ótimo crescimento. As glicófitas, por sua vez, apresentam pouca tolerância à salinidade.

Para Azevedo Neto (1997) o estresse salino provocou uma redução progressiva do crescimento das plantas de milho, tanto em razão do potencial osmótico como a acumulação excessiva de íons, podendo induzir a toxicidade iônica, além do desequilíbrio nutricional ou ambos. Nesta espécie também observa-se que o estresse salino afetara o conteúdo de matéria seca da parte aérea e das raízes, além da área da foliar (Azevedo Neto & Tabosa 2000b) e reduz os teores dos macronutrientes catiônicos (Ferreira et al., 2005; Garcia et al., 2007a).

As concentrações de sais que restringem o crescimento do feijão-de-corda variam amplamente entre variedades (Costa et al., 2003), e dependem não só do tipo de sal, mas também da exposição e do seu estágio de desenvolvimento (Shannon, 1992; Neves, 2008). Parâmetros como o processo germinativo, trocas gasosas, rendimento biológico e produtividade são afetados pelo incremento da salinidade da água de irrigação (Sousa et al., 2006; Lima et al., 2007; Assis júnior et al., 2007). A salinidade devido a altos níveis de Na^+ ou Cl^- pode provocar a inibição da absorção dos íons K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e P pelas raízes, provocando sintomas de deficiências, como a redução no

crescimento, afetando também o teor de proteínas e conseqüentemente de aminoácidos (Cramer et al., 1991; Parida & Das, 2005; Garcia et al., 2007a).

Guimarães (2005), estudando os efeitos da aplicação de diferentes doses de cálcio, na forma dos sais CaCl_2 e CaSO_4 , em plantas de feijão-de-corda cultivar, Pitiúba, submetidas a estresse salino, observou que a salinidade induziu alterações nas trocas gasosas e nas relações hídricas, provocando reduções na fotossíntese líquida, na taxa transpiratória e nos potenciais hídrico e osmótico e aumentos na suculência foliar, no peso específico foliar e nos teores relativos de clorofila, sendo tais respostas influenciadas pelo cálcio suplementar ao meio. Entretanto Lacerda (1995) verificou que a adição de cálcio ao ambiente radicular das plantas estressadas de *Vigna unguiculata* cultivar, Pitiúba, cultivada durante a estação úmida provocou elevações nos teores de cinzas, de Na^{2+} e de Cl^- no limbo foliar em relação ao tratamento salino e que isto, agravou os efeitos dos sais no crescimento e produção da cultura.

2.4. Estratégias de manejo em áreas irrigadas com água salina

A sensibilidade à salinidade varia com o estágio de desenvolvimento da cultura, com a qualidade da água e da espécie a ser utilizada (Fageria & Gheyi, 1997; Ayres & Westcot, 1999; Munns & Tester 2008). Neste sentido, algumas pesquisas têm sido realizadas com diferentes culturas visando desenvolver estratégias de manejo em áreas irrigadas com água de baixa e alta salinidade, visando elevar a produtividade de culturas tolerantes a estes ambientes (Parida & Das, 2005).

Dentre essas estratégias destaca-se a rotação de culturas, na qual consiste em alternar, anualmente, espécies vegetais, numa mesma área agrícola, onde se tratando de áreas irrigadas com água salina é necessário escolher culturas tolerantes a sais que ao mesmo tempo, apresentem viabilidade comercial e de recuperação do solo (Murtaza et al., 2006). O uso de plantas tolerantes que podem variar com a concentração de sais e, possivelmente com as condições ambientais locais, em particular com o suprimento de água no solo e umidade do ar (Munns & Tester 2008). O manejo inadequado na utilização de águas salinas podem causar desequilíbrio nutricional na disponibilidade de nutrientes, inibição competitiva na absorção de nutrientes, além de afetar a transpiração e a fotossíntese nas plantas (Yahya, 1998; Munns, 2002; Garcia et al., 2005) ou causar inativação fisiológica dos nutrientes, resultando num aumento do requerimento interno por elementos essenciais (Dechen & Nachtigall 2007a).

Para tanto, algumas tentativas foram feitas no passado para minimizar os efeitos adversos da irrigação com água salina através de diferentes práticas de irrigação, solo e manejo cultural, (Ayres & Westcot 1999; Cavalcante, 2000; Santos, 2000). De acordo com Santos et al. (2005) grandes esforços ainda vêm sendo realizados por profissionais de várias áreas do conhecimento, no sentido de se avaliar, monitorar e amenizar os efeitos dos sais no sistema água-solo-planta-atmosfera, sobretudo em regiões de clima árido e semi-árido, onde existem, comumente, problemas de salinidade dos solos e da água.

As plantas tolerantes aos sais é outra forma de manejo. A salinidade apresenta-se como um dos mais sérias ameaças a agricultura e ao ambiente em grande parte do mundo. Um dos fatores-chave seria usar a engenharia genética em plantas tolerantes aos sais, incluindo proteínas e transportadores de íons (Parida & Das, 2005).

Vale salientar que nem todas as culturas respondem igualmente à salinidade; algumas produzem rendimentos aceitáveis a níveis altos de salinidade e outras são sensíveis a níveis relativamente baixos. De acordo com Ayers & Westcot (1999), esta diferença deve-se quase sempre, a uma melhor capacidade de adaptação osmótica que algumas culturas têm, o que permite a planta absorver, mesmo em condições de salinidade elevada, suficiente quantidade de água. Para Munns & Tester (2008) a importância da variação na tolerância osmótica mantém-se desconhecida para muitas espécies, as quais possivelmente refletem a dificuldade de quantificar este parâmetro. Uma associação aproximada possivelmente existe entre tolerância osmótica e tolerância do tecido ao Na^+ , porque genótipos que toleram altas concentrações internas de Na^+ nas folhas por compartimentalização no vacúolo devem também ser mais tolerantes ao estresse osmótico devido ao seu elevado ajustamento osmótico.

O estresse salino é um fator progressivo de distúrbios fisiológicos nas plantas que afeta, em última instância, a produção de diversas culturas, além de provocar o fechamento dos estômatos reduzindo a fotossíntese (Larcher, 2006). As possibilidades de atenuar as perdas na agricultura decorrentes desses estresses só realizando uma dessalinização do solo ou o emprego de culturas, sabidamente resistentes ao sal Garcia et al. (2007a). Parida & Das, (2005) afirmam que a tolerância ao sal é uma habilidade que as plantas têm de crescerem e completarem o seu ciclo de vida sobre um substrato que contém alta concentração de sais solúveis.

Para (Rhoades et al., 2000), a hipótese que melhor explica esse fato é que a salinidade excessiva reduz o crescimento por causa do aumento da energia que é gasta

pelas plantas na absorção de água do solo e no ajustamento osmótico celular para sobreviverem e produzirem em condições de estresse.

Outro mecanismo de injúrias causado por sais em plantas envolve o desbalanço nutricional. Um exemplo é a toxicidade por bicarbonato em muitos ambientes salinos. Isto resulta primeiramente, na redução da disponibilidade de ferro em elevado pH, comuns em solos com alta concentração de bicarbonatos. Para Vieira, (2006) o aumento da salinidade da água de irrigação mostrou pouca influência sobre os teores de elementos potencialmente tóxicos e de nutrientes essenciais em sorgo forrageiro. A necessidade nutricional das plantas podem variar com o tipo de sal presente. Por exemplo, altos níveis de sódio levam a deficiência de cálcio e magnésio; sais ricos em magnésio podem acarretar deficiência de cálcio (Ferreira et al., 2005; Garcia et al., 2007a). Altos níveis de pH podem acentuar a deficiência de micronutrientes, na presença do cálcio na água de irrigação (Bohn et al., 1979; Sousa et al. 2007)

Taiz & Zeiger (2004) afirmam que em condições não salinas o citosol das células de plantas não halófitas contem cerca de 1,0 a 3,0 dag kg⁻¹ de K⁺ e 0,01 a 0,1 dag kg⁻¹ de Na⁺, um ambiente iônico no qual muitas enzimas alcançam o seu ótimo. Elevadas concentrações de Na⁺ e/ou Cl⁻ na solução do solo podem reduzir a atividade iônica e provocar extremas relações destes elementos com os macronutrientes. Como resultado, a planta torna-se susceptível a um dano osmótico (Lacerda, 2003), como também a desordens nutricionais (Garcia et al., 2007a).

Os íons inorgânicos desempenham importante papel na preservação do potencial hídrico vegetal. Portanto, mecanismos em plantas conduzindo ao excesso de absorção iônica e exclusão de Na⁺ e Cl⁻ de tecidos metabolicamente ativos da parte aérea, podem ser responsáveis pela tolerância das culturas ao estresse salino (Greenway & Munns, 1980; Cheeseman, 1988). Esta exclusão pode ser efetuada através da acumulação preferencial de íons em tecidos relativamente tolerantes da raiz ou da parte aérea (Boursier et al., 1987).

Como os antagonismos iônicos em ambientes salinos são usualmente seguidos pelas deficiências nutricionais, a composição iônica é muito importante no que diz respeito à tolerância ao estresse salino (Ullah et al., 1993; Sousa et al., 2007).

CAPITULO 1

ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE MILHO E FEIJÃO-DE-CORDA EM SISTEMA DE ROTAÇÃO CULTURAL UTILIZANDO ÁGUAS DE BAIXA E ALTA SALINIDADE.

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da irrigação com água de baixa e alta salinidade nos atributos químicos do solo, no crescimento e produção em sistema rotacional milho e feijão-de-corda. O estudo teve duração de sete meses, sendo o primeiro cultivo instalado durante a estação seca com a cultura do milho, utilizando-se água com diferentes concentrações de sais (0,8, 2,2; 3,6 e 5,0 dS m⁻¹) na irrigação. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com cinco repetições. As plantas de milho foram coletadas aos 90 dias após a semeadura, sendo realizadas as seguintes avaliações: crescimento vegetativo, partição de matéria seca nas diferentes partes da planta, produção de grãos por planta, índice de colheita e matéria seca de 1000 sementes. Durante a estação chuvosa foi cultivado o feijão-de-corda nas mesmas parcelas antes cultivadas com milho, realizando-se apenas irrigações suplementares com água de baixa salinidade. As plantas de feijão-de-corda foram coletadas aos 80 dias após a semeadura, sendo realizadas as seguintes avaliações: crescimento vegetativo,

percentagem de matéria seca das partes vegetativas e reprodutivas, produção de grãos por planta, índice de colheita e matéria seca de 100 sementes. Amostras de solo foram coletadas antes e após o cultivo do milho e ao final do cultivo com feijão-de-corda. A aplicação de águas salinas provocou aumento da salinidade (CEa) e da sodicidade (PST) do solo durante o período da estiagem, e as precipitações ocorridas no período chuvoso foram eficientes na lavagem do excesso de sais do perfil do solo. O aumento da salinidade da água de irrigação acima $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ reduziu o crescimento vegetativo, a produtividade e o índice de colheita do milho. O acúmulo de sais no solo durante o cultivo do milho na estação seca não afetou a capacidade produtiva do feijão-de-corda, o que se deveu ao elevado volume de precipitados antes e durante o cultivo; esse excesso de chuvas, no entanto, provocou um crescimento anormal da cultura, alongando o ciclo e com predominância de partes vegetativas, em detrimento da produção de grãos.

Palavra-chave: *Zea mays*, *Vigna unguiculata*, irrigação, salinidade, rotação de culturas

SUMMARY

The study was carried out in order to evaluate the effects of irrigation water with low and high salinity in the soil and chemical characteristics of the aspects of growth and productivity in rotational system corn/cowpea. The during study was about seven months, with the first cropping installed during the dry season with the corn crop, using water with different concentrations of salts (0.8, 2.2, 3.6 and 5,0 dS m⁻¹) for irrigation. It was used in the randomized block design with five repetitions. The plants of maize were collected at 90 days after sowing, and made the following assessments: vegetative growth, partition of dry matter in different parts of the plant, grain yield per plant, harvest index and dry matter of 1000 grains. During the rainy season the cowpea plants were grown on the same plots that were planted with corn, which were demarcated and identified following only with additional irrigation water with low salinity. The harvest of plants cowpea were at 80 days after sowing and made the following assessments: vegetative growth, percentage of dry matter of the vegetative and reproductive parties, grain yield per plant and harvest index of dry matter of 100 grains. Soil samples were taken before and after the cropping of maize and the end of the rainy season. The application of saline waters caused increased salinity and sodicity soil during the dry period, and rainfall have been effective in washing the excess of salts in the soil profile.

The increase of salinity in irrigation water above 2.2 dS m^{-1} reduced the vegetative growth, productivity and the harvest index of maize. The accumulation of salts in the soil for the cropping maize in the dry season did not affect the productivity of cowpea, which was due to the high volume of rain that occurred before and during cropping. However, this excess of rain caused an no normal growth of the crop and reducing the grain yield.

Keyword: Zea mays, Vigna unguiculata, irrigation, salinity, crops of rotation

1. INTRODUÇÃO

A irrigação exerce destacada importância no crescimento e no desenvolvimento das plantas, mas pode salinizar os solos se não manejada adequadamente, principalmente nas regiões áridas e semi-áridas, alterando de forma negativa as propriedades edáficas. Isso ocorre mais frequentemente quando a água apresenta restrições à agricultura e pode resultar em obstáculo ao desenvolvimento das culturas e acelerar a degradação física do solo (Lacerda, 2000; Silva et al., 2005; Cavalcante & Cavalcante 2006; Rodrigues, 2007).

O efeito do complexo salino da água ou da solução do solo é conhecido como pressão osmótica de sais. Na região Nordeste esses sais aumentam do início para o final do período de estiagem (Cavalcante, 2000). Os maiores incrementos são observados em mananciais de superfície, de volumes inferiores a $3 \times 10^5 \text{ m}^3$, e em poços, que apresentam grande variabilidade em profundidades (Cavalcante & Cavalcante 2006; Aquino et al., 2008).

A salinidade é o fator que mais reduz o crescimento e a produtividade das plantas em todo o mundo (Baghalian et al., 2008), sendo que cada espécie apresenta determinado nível de tolerância à salinidade, a partir do qual o rendimento começa a decrescer; este ponto de transição é denominado de salinidade limiar (Ayers & Westcot, 1999). A redução da produtividade das culturas está diretamente relacionada a três principais efeitos: o fechamento estomático que limita a assimilação líquida de CO_2 , e que é consequência dos efeitos osmóticos dos sais; a inibição da expansão foliar que

reduz a área destinada ao processo fotossintético, sendo conseqüência do acúmulo excessivo de íons tóxicos, de distúrbios na nutrição mineral e/ou da redução na turgescência; e a aceleração da senescência de folhas maduras que também reduz a produção de fotoassimilado (Bernstein et al., 1993; Munns, 2002; Lacerda et al., 2003).

A utilização de fontes de água salinas bem como o reúso de águas de drenagem na irrigação dependem de estratégias de longo prazo que garantam a sustentabilidade sócio-econômica e ambiental dos sistemas agrícolas (Sharma & Rao, 1998). Dentre essas estratégias destacam-se o cultivo de espécies tolerantes (Glenn et al., 1998; Oster, 1984; Sharma & Rao, 1998), utilização de práticas de manejo solo e a rotação de culturas com diferentes graus de tolerância à salinidade (Murtaza et al., 2006). Ayers & Westcot (1999) relatam que as culturas do milho e feijão-de-corda são moderadamente sensível e moderadamente tolerante à salinidade, respectivamente. A utilização de um sistema de rotação cultural milho/feijão-de-corda permitirá a avaliação dos aspectos positivos da rotação cultural entre leguminosas e gramíneas, bem como avaliar os aspectos ambientais produzidos por esse sistema, considerando a utilização de fontes de água salinas na irrigação, durante a estação seca, conforme tem sido observado em outros estudos (Murtaza et al., 2006).

O trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da irrigação com água de baixa e alta salinidade nos atributos químicos do solo e no crescimento e na produtividade no sistema rotacional milho e feijão-de-corda.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do estudo, variáveis meteorológicas e rotação de culturas

O experimento com rotação de culturas com milho (*Zea mays L.*) e feijão-de-corda (*Vigna unguiculata, L. walp*) foi conduzido no campo em Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico, de textura média (Santos et al., 2006), na área experimental do Laboratório de Hidráulica e Irrigação da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, em Fortaleza, Ceará, Brasil. De acordo com a classificação de Köppen, a área do experimento está localizada numa região de clima do tipo Aw', que se caracteriza por apresentar um clima chuvoso, com precipitações de outono à verão e temperatura média maior de 18°C durante o ano inteiro.

As informações sobre as variáveis meteorológicas obtidas durante a estação seca (cultivo do milho) e durante a estação chuvosa (cultivo do feijão-de-corda) podem ser vistas na Tabela 1. A distribuição decenal das precipitações referentes ao período do experimento (setembro/2007 a abril/2008) é apresentada na Figura 1.

O experimento teve duração de sete meses, sendo o primeiro cultivo realizado com a cultura do milho com diferentes concentrações de sais nas águas de irrigação, no período da estação seca (setembro a dezembro de 2007). O segundo cultivo ocorreu durante a estação chuvosa (janeiro a abril de 2008) com o

feijão-de-corda, utilizando-se apenas irrigações suplementares com água de baixa salinidade (Condutividade elétrica de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$).

Tabela 1. Valores médios de temperatura (T), umidade relativa (UR), velocidade do vento (V) e insolação obtidas durante a estação seca (cultivo do milho) e durante a estação chuvosa subsequente (cultivo do feijão-de-corda).

Meses	T(°C)	UR(%)	V(m s^{-1})	Insolação (horas)
set/07	27,0	67	4,1	308,1
out/07	27,2	67	4,2	313,6
nov/07	27,7	70	4,3	332,5
dez/07	27,7	73	3,5	254,5
jan/08	26,6	83	1,4	141,8
fev/08	27,8	75	3,0	257,6
mar/08	27,0	79	2,9	211,8
abr/08	26,6	85	1,5	113,4

¹Fonte: Estação Meteorológica da UFC

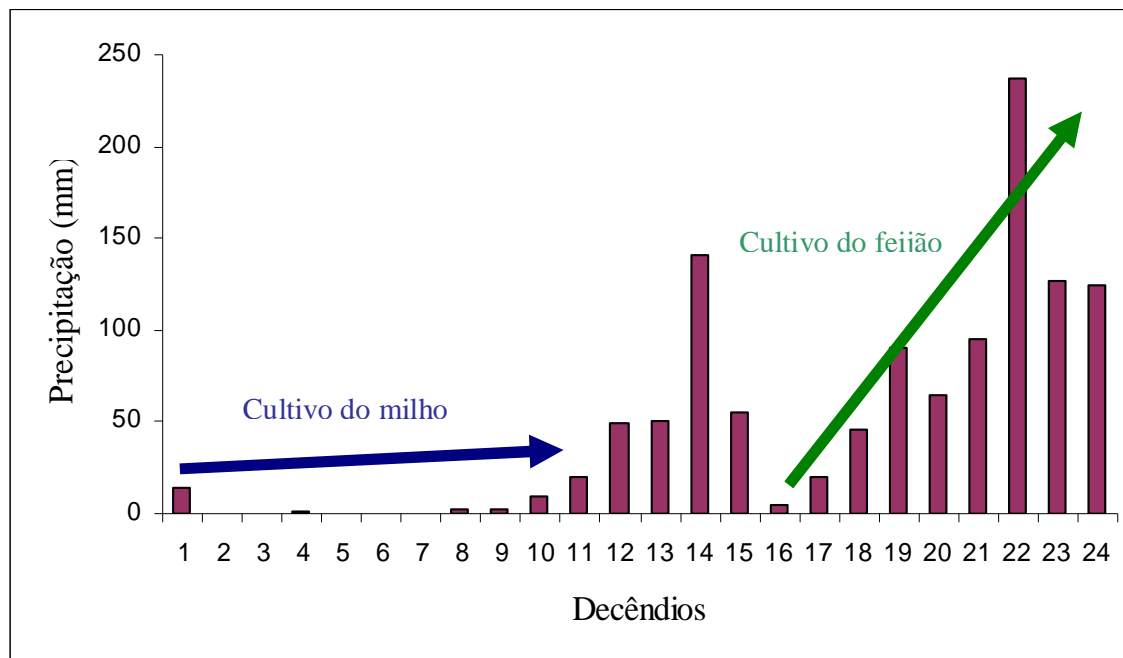


Figura 1. Precipitação dos decênios referentes ao período entre Setembro/2007 a Abril/2008

2.2 Cultivo do milho na estação seca

2.2.1. Preparo da área, tratamentos e delineamento experimental.

Na área experimental aos 60 dias antes do plantio do milho foi realizada uma aplicação de $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário e incorporados com uma aração, seguida de uma gradagem. A aplicação do calcário teve por finalidade corrigir a acidez do solo. Entretanto, antes da gradagem foi aplicada $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). A aplicação de gesso se fez necessário visto que outros experimentos foram realizados nesse local sendo utilizadas diferentes concentrações de águas salinas. Dessa feita, dias antes do plantio foram feitas uma sulcagem nessa área. Com o auxílio de enxada e nível de predeiro os sulcos foram nivelados e estabelecidos parcelas com 3 m de comprimento e cinco linhas de plantio (Figuras 3A), sendo utilizado milho no período da estiagem (Figuras 3B e 3C) e feijão-de-corda no período chuvoso (Figuras 3D e 3E). No caso do milho foi utilizado o espaçamento de $0,8 \times 0,2 \text{ m}$, com 1600 plantas no total e uma densidade de plantio de $62500 \text{ plantas/ } 400\text{m}^2$ por hectare. As parcelas foram demarcadas, conforme a distribuição apresentada na Figura 2.

Os tratamentos aplicados no cultivo do milho se consistiram de quatro níveis de salinidade de água de irrigação. Esses tratamentos são descritos a seguir: T1 – água do poço com condutividade elétrica (CEa) de $0,80 \text{ dS m}^{-1}$; T2 – água com CEa de $2,2 \text{ dS m}^{-1}$; T3 – água com CEa de $3,6 \text{ dS m}^{-1}$; T4 – água com CEa de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$. Os tratamentos (T2, T3 e T4) apresenta-se como sendo de alta salinidade. É importante enfatizar que nas soluções de água dos tratamentos (T2, T3 e T4) foram adicionados os sais de cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e cloreto de magnésio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dissolvidos na proporção de 7:2:1, assumindo-se a relação existente entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e sua concentração ($\text{mmolc L}^{-1} = \text{CE} \times 10$), proposta por Rhoades et al. (2000).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais.

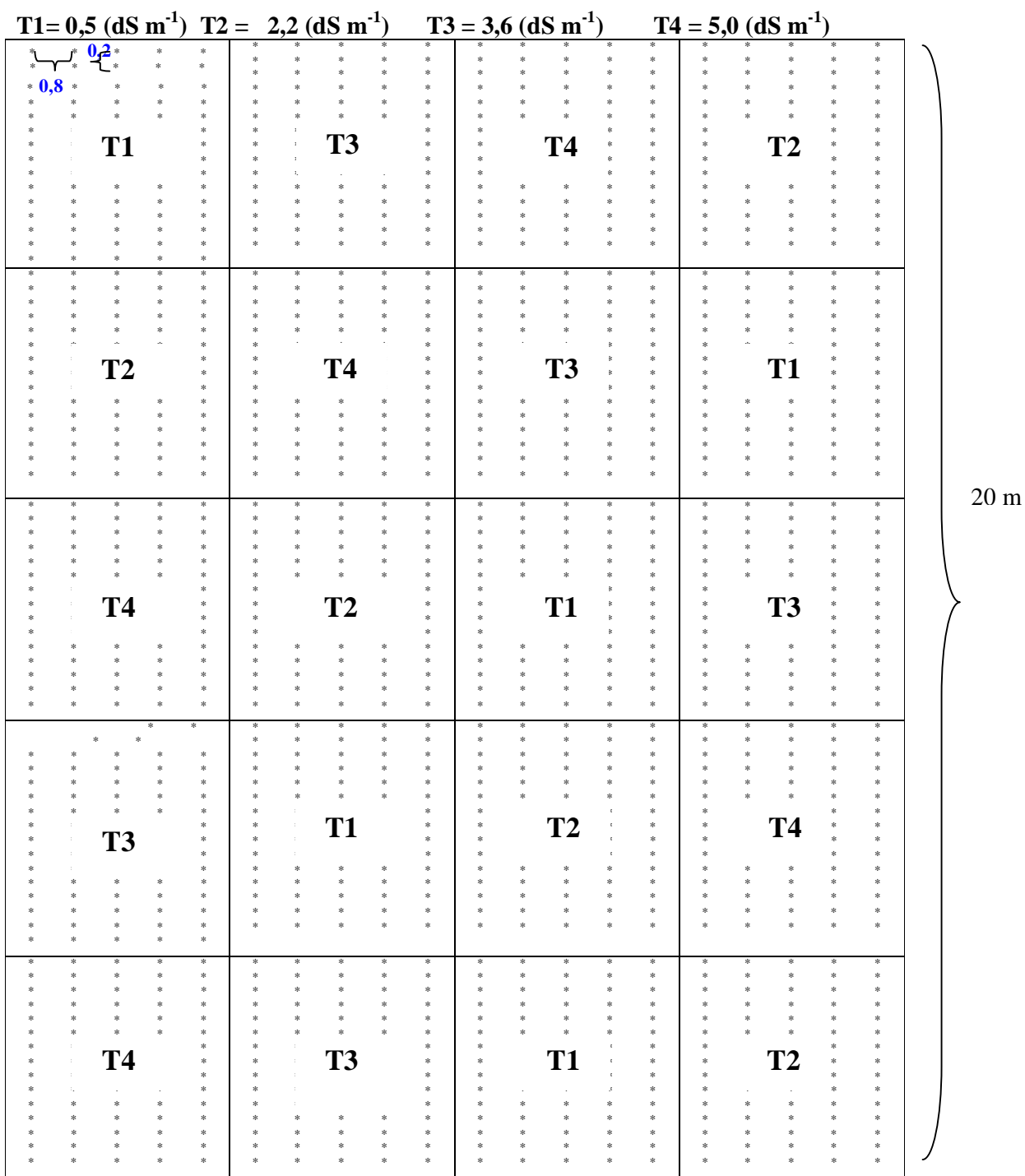


Figura 2. Croqui da área experimental 20 m



Figura 3. Demarcação das parcelas (A) e cultivo do milho (período seco) na fase vegetativa (B) e formação da colheita (C) e do feijão (período chuvoso) na fase vegetativa 25 dias após o plantio (D) e fase de colheita (E).

2.2.2. Instalação e condução do experimento

O plantio de milho foi realizado no dia 16 de setembro de 2007, colocando-se quatro sementes do híbrido AG 1051 por cova e oito dias após a semeadura (DAS) efetuou-se o desbaste deixando uma planta por cova. Após o desbaste as plântulas de milho passaram a ser irrigadas com água com quatro diferentes condutividade elétrica, como discutido no item 3.2.

A adubação das plantas foram aplicadas as doses de 1,5 g de uréia, 8,4 g de superfosfato simples e 1,4 g de cloreto de potássio por cova Fernandes (1993). Aplicando as doses de 60, 30 e 30 kg ha⁻¹, N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Os fertilizantes utilizados foram uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio. As doses de uréia e de cloreto de potássio foram parceladas em três aplicações, sendo a primeira aplicação efetuada no dia do plantio das plantas (fundação) sendo que as duas outras aplicações foram realizadas em cobertura (aos 25 e 40 dias após o plantio). No caso do superfosfato simples utilizou-se a dose completa durante o plantio das planta.

Durante a realização do experimento foram realizadas capinas manuais e, de acordo com a necessidade, foram feitas aplicações de defensivos agrícolas para combater o ataque de pragas e doenças.

No experimento a água foi aplicada em sulcos nivelados e fechados em turno de rega de três dias, e sua quantidade foi calculada para atender às necessidades da cultura, através de dados de uma Estação Meteorológica, localizada a cerca de 40 m do local do experimento, adicionando-se a fração de lixiviação de 15% calculada de acordo com Ayers & Westcot (1999).

As lâminas de irrigação foram definidas com base nos valores de evapotranspiração (ET_o) obtidas através do Tanque Classe A e dos coeficientes da cultura (K_c) recomendados para os diferentes estádios fenológicos da cultura (Doorenbos & Kassam, 1994). Os coeficientes de cultivo e os respectivos períodos foram os seguintes: 0,61 (até 30 dias após o plantio, DAS), 1,12 (de 31 até 57 DAS), 1,11 (de 58 até 82 DAS) e 0,91 (de 83 a 90 DAS).

A lâmina de irrigação aplicada foi calculada para atender as necessidades da cultura, de acordo com a fórmula:

$L = K_p * ECA * K_c * A * FL$, onde:

L= lâmina de irrigação, em mm;

K_p = coeficiente do Tanque “Classe A” (0,70);

ECA = evaporação do Tanque “Classe A”, em mm, medida diariamente na estação;

K_c = Coeficiente da cultura por fase de desenvolvimento;

A = área irrigada em cada sulco, 2,4 m²;

FL= fração de lixiviação, 15%.

A aplicação da água foi feita de forma localizada, de modo a evitar o contato direto da mesma com as folhas. No total foram aplicadas 1349 mm de água de alta salinidade durante o cultivo da cultura do milho.

2.2.3. Análises de crescimento e produtividade

A coleta do experimento foi realizada no dia 15 de Dezembro de 2007, aos 90 dias após a semeadura (DAS). Grupos de 15 plantas colhidas aleatoriamente dentro da parcela útil (representada pelas três fileiras centrais), foram separadas em limbos foliares, colmo + bainhas, pendão, espigas e material morto, acondicionadas em sacos de papel previamente identificados e, levadas à estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C até peso constante. As espigas das demais plantas na parcela útil foram colhidas e pesadas. Todos os materiais secos foram pesados, sendo que as espigas foram separadas em grãos, palha e sabugo. Os parâmetros avaliados foram: produção de matéria seca das partes vegetativas e reprodutivas, produtividade da cultura, peso de 1000 grãos, partição de matéria entre as diferentes partes da planta e o índice de colheita (IC). O IC representa a relação entre a produção de interesse agrônômico (grãos) e produtividade primária (matéria seca total da parte aérea) da planta.

2.3. Cultivo do feijão-de-corda na estação chuvosa

2.3.1. Instalação e condução do experimento

O plantio foi realizado no dia 25 de Janeiro de 2008, após as primeiras chuvas, utilizando-se sementes de feijão-de-corda, cultivar EPACE 10. Esse cultivar apresenta porte semi-ramador e ciclo médio de 70 dias. O cultivo foi realizado nas mesmas parcelas que foram cultivadas com milho, as quais permaneceram demarcadas e identificadas de acordo com o croqui apresentado na Figura 2. O espaçamento utilizado foi de 0,8 x 0,3, com duas plantas por cova, e uma densidade de plantio de 83333 plantas por hectare

A adubação seguiu a recomendação de Fernandes (1993), aplicando as doses de 20, 80 e 30 kg ha⁻¹, N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Os fertilizantes utilizados foram uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, sendo que a uréia e o superfosfato simples foram aplicados todo na fundação. O cloreto de potássio foi aplicado em duas parcelas, sendo uma na fundação e a outra em cobertura (aos 25 dias após o plantio). Durante a realização do experimento foram realizadas capinas manuais e de acordo com a necessidade foram feitas aplicações de defensivos agrícolas para combater o ataque de pragas e doenças.

O cultivo foi realizado durante estação chuvosa e, portanto, foi utilizada apenas irrigação suplementar com água do poço. Ao longo do ciclo da cultura foram realizadas duas irrigações suplementares, durante um veranico que ocorreu no mês de fevereiro, sendo que essas irrigações totalizaram 90 mm.

2.3.2. Análise de crescimento e produtividade

Ao final do ciclo da cultura aos 80 DAS, foram realizadas colheitas de vagens maduras nas três fileiras centrais da parcela útil, as quais foram postas para secagem em estufa com circulação de ar, a 65° C. Aos 80 DAS foram colhidas plantas contidas em uma área de 1,0 m², também dentro da parcela útil, sendo essa área delimitada por um quadrante jogado ao acaso em cada parcela. As plantas colhidas foram separadas em limbos foliares e hastes (caules + pecíolos). Para determinação de matéria seca, amostras homogêneas de aproximadamente 200 g das diferentes partes colhidas foram acondicionadas em sacos de papel e, após secas em estufa a 65°C, foram pesadas para

obtenção do teor matéria seca da parte aérea. A produção de matéria seca em estufa foi obtida multiplicando a matéria fresca das plantas pelo teor de matéria seca das diferentes partes da planta. Com o material seco foram realizadas as medições dos seguintes parâmetros agronômicos: número de grãos por vagens, tamanho médio de vagens, peso de 100 grãos e produtividade de grãos. Com os dados de produção de matéria seca de cada parte da planta e da planta inteira, calculou-se a partição de matéria seca na parte aérea. Já com os dados de produção de matéria seca das sementes e matéria seca total, calculou-se o índice de colheita, conforme descrito na eq.(1):

$$IC = 100 \frac{\text{matéria seca de sementes}}{\text{matéria seca total}}$$

2.4. Análises de solo

Antes da instalação do primeiro cultivo (agosto de 2007), após o cultivo do milho (dezembro de 2007) e após o cultivo do feijão-de-corda (abril de 2008) foram coletadas amostras de solo em diferentes camadas (0 - 30, 30 a 60 e 60 a 90 cm) nas cinco parcelas de cada tratamento, que depois foram homogeneizadas formando uma amostra por tratamento. As amostras foram coletadas entre as plantas, no terço médio da fileira central de cada parcela, sendo posteriormente acondicionadas em sacos de plástico e encaminhadas ao Laboratório de Análises de Solos e Plantas do Departamento de Ciências do Solo/UFC para realização das análises químicas (Embrapa, 1997).

2.5. Análises estatísticas

Os dados do cultivo do milho foram submetidos às análises de variância e de regressão, utilizando-se o programa computacional SAEG/UFV (Ribeiro Júnior, 2001). Os dados do cultivo do feijão-de-corda foram expressos pela média \pm erro padrão da média.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características químicas do solo

Os dados relacionados às características químicas do solo antes da instalação do experimento (agosto de 2007, C1), após o cultivo do milho (dezembro de 2007, C2) e após o cultivo do feijão-de-corda (abril de 2008, C3) são apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4 respectivamente. De modo geral, os valores de K, P e os de matéria orgânica decresceram da camada superficial (Tabela 2) para as mais profundas (Tabelas 3 e 4). Porém, não foram verificadas grandes variações nos teores de Ca e Mg entre as profundidades de solo avaliadas. A tendência dos resultados está semelhante à obtida por Jalali et al. (2008) e Garcia et al. (2008) para o potássio e o fósforo em casa de vegetação.

As épocas de coleta quando comparados entre se mostraram que as maiores variações ocorreram nos teores de Na, K e P (Tabelas 2, 3 e 4). Ao final do cultivo do milho (C2) foram observados incrementos de Na nas três profundidades do solo, sendo que os maiores teores de Na foram observados nos tratamentos que receberam água com maiores concentrações de sais (profundidade de 30 a 60 cm). É importante ressaltar que o excesso de Na pode afetar as propriedades físicas e químicas do solo. Esse íon em excesso aumenta a espessura da dupla camada difusa, favorecendo à dispersão de argilas e, conseqüentemente, reduzindo a porosidade e a permeabilidade do solo (Freire & Freire, 2007). Após o cultivo do feijão-de-corda (C3) verificou-se uma diminuição acentuada nos teores de Na. Tal

fato pode ser explicado pela lavagem do solo durante a estação chuvosa (Murtaza et al., 2006; Assis Júnior et al., 2007; Neves, 2008).

Tabela 2. Atributos químicos do solo antes da instalação do primeiro cultivo (agosto de 2007, C1), após o cultivo do milho (dezembro de 2007, C2) e após o cultivo do feijão-de-corda (abril de 2008, C3), na camada de 0,0 a 30 cm

Carac ¹	Tratamentos/Coletas											
	0,8 (dS m ⁻¹)			2,2 (dS m ⁻¹)			3,6 (dS m ⁻¹)			(5,0 dS m ⁻¹)		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Ca ²⁺	1,50	1,30	1,20	1,50	1,50	1,40	1,50	1,0	1,10	1,50	1,20	1,50
Mg ²⁺	1,10	1,20	1,10	1,10	1,40	1,10	1,10	1,0	0,90	1,10	1,0	1,30
K ⁺	0,11	0,21	0,18	0,11	0,15	0,17	0,11	0,16	0,14	0,11	0,13	0,15
Na ⁺	0,26	0,60	0,08	0,26	0,88	0,13	0,26	1,19	0,14	0,26	1,19	0,09
S	3,0	3,3	2,6	3,0	3,9	2,8	3,0	3,3	2,3	3,0	3,5	3,0
H ⁺ +Al ³⁺	1,15	0,00	0,18	1,15	0,00	0,99	1,15	0,49	1,81	1,15	1,48	0,33
T	4,2	3,4	3,5	4,2	3,9	3,8	4,2	3,8	4,1	4,2	5,0	3,4
V	71	97	74	71	100	74	71	87	56	71	70	88
P	10	7	21	10	13	7	10	5	9	10	4	5,0
MO	8,48	7,76	6,83	8,48	6,83	7,55	8,48	7,76	5,79	8,48	7,34	7,55
pH	6,3	6,1	7,2	6,3	8,0	7,2	6,3	6,8	7,0	6,3	6,1	6,9

⁽¹⁾Os cátions, a soma de bases (S) e a capacidade de troca de cátions (T) são expressos em cmol_c kg⁻¹; a saturação de bases é expressa em %; P é dado em mg kg⁻¹; matéria orgânica (MO) é expressa em g kg⁻¹; o pH foi medido em extrato aquoso (1:2,5).

Tabela 3. Atributos químicos do solo antes da instalação do primeiro cultivo (agosto de 2007, C1), após o cultivo do milho (dezembro de 2007, C2) e após o cultivo do feijão-de-corda (abril de 2008, C3), na camada de 30 a 60 cm

Carac ¹	Tratamentos/Coletas											
	0,8 (dS m ⁻¹)			2,2 (dS m ⁻¹)			3,6 (dS m ⁻¹)			(5,0 dS m ⁻¹)		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Ca ²⁺	1,50	1,0	1,0	1,50	1,20	1,0	1,50	1,20	1,20	1,50	1,40	1,0
Mg ²⁺	1,10	0,90	0,90	1,10	1,10	0,90	1,10	1,10	0,90	1,10	1,0	1,10
K ⁺	0,11	0,18	0,17	0,11	0,18	0,13	0,11	0,15	0,12	0,11	0,14	0,17
Na ⁺	0,26	0,76	0,38	0,26	1,36	0,33	0,26	1,62	0,40	0,26	1,51	0,45
S	3,0	2,8	2,4	3,0	3,8	2,4	3,0	4,1	2,6	3,0	4,0	2,7
H ⁺ +Al ³⁺	1,81	0,82	0,17	1,81	2,47	3,3	1,81	2,47	1,65	1,81	2,47	0,82
T	4,2	3,7	4,1	4,2	6,3	5,7	4,2	6,5	4,3	4,2	6,5	3,5
V	71	76	58	71	60	42	71	63	60	71	62	77
P	10	1	1	10	2	1	10	1	1	10	1	2
MO	8,48	6,31	6,21	8,48	6,62	6,41	8,48	7,14	5,99	8,48	7,03	6,82
pH	6,3	6,0	6,5	6,3	5,1	5,9	6,3	4,8	6,5	6,3	4,6	5,8

⁽¹⁾Os cátions, a soma de bases (S) e a capacidade de troca de cátions (T) são expressos em cmol_c kg⁻¹; a saturação de bases é expressa em %; P é dado em mg kg⁻¹; matéria orgânica (MO) é expressa em g kg⁻¹; o pH foi medido em extrato aquoso (1:2,5).

Tabela 4. Atributos químicos do solo antes da instalação do primeiro cultivo (agosto de 2007, C1), após o cultivo do milho (dezembro de 2007, C2) e após o cultivo do feijão-de-corda (abril de 2008, C3), na camada de 0,6 a 0,9 m

Carac ¹	Tratamentos/Coletas											
	0,8 (dS m ⁻¹)			2,2 (dS m ⁻¹)			3,6 (dS m ⁻¹)			(5,0 dS m ⁻¹)		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Ca ²⁺	1,50	1,20	1,30	1,50	1,30	1,20	1,50	1,40	1,20	1,50	1,50	1,20
Mg ²⁺	1,10	1,0	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,20	1,20	1,10	1,10	1,10
K ⁺	0,11	0,11	0,07	0,11	0,11	0,11	0,11	0,06	0,08	0,11	0,11	0,10
Na ⁺	0,26	0,56	0,41	0,26	1,24	0,40	0,26	1,01	0,43	0,26	1,24	0,45
S	3,0	2,9	2,9	3,0	3,7	2,8	3,0	3,7	2,9	3,0	3,9	2,8
H ⁺ +Al ³⁺	1,32	0,82	0,07	1,32	1,32	2,14	1,32	0,99	1,65	1,32	1,81	1,32
T	4,2	3,7	4,2	4,2	5,1	4,9	4,2	4,7	4,6	4,2	5,8	4,2
V	72	78	69	72	74	57	72	79	64	72	68	68
P	10	1	1	10	1	1	10	1	1	10	1	1
MO	8,48	4,55	4,76	8,48	5,48	5,99	8,48	5,79	4,65	8,48	4,96	5,68
pH	6,3	6,0	6,4	6,3	5,1	5,9	6,3	5,2	6,6	6,3	4,9	5,7

⁽¹⁾Os cátions, a soma de bases (S) e a capacidade de troca de cátions (T) são expressos em cmol_c kg⁻¹; a saturação de bases é expressa em %; P é dado em mg kg⁻¹; matéria orgânica (MO) é expressa em g kg⁻¹; o pH foi medido em extrato aquoso (1:2,5)

Após o cultivo do milho (C2), observou-se que o teor de K aumentou discretamente nas profundidades de 0-30 cm e 30-60 cm no tratamento T1. Entretanto esse nutriente diminuiu à medida que os níveis de salinidade da água de irrigação aumentavam. Isso pode ter sido devido à maior lixiviação nos tratamentos salinos, visto que o menor consumo de água pelas plantas deixa o solo mais úmido entre as irrigações. Garcia et al. (2008) em condições de casa de vegetação observaram que a disponibilidade de K em um Latossolo e um Neossolo não foi afetado pelo aumento dos níveis de salinidade da água de irrigação.

De modo geral, foram observadas pequenas variações nos níveis de Ca e Mg tanto entre os tratamentos como entre as diferentes coletas (Tabelas 2,3 e 4). Essas discretas variações podem ser decorrentes da própria variabilidade do solo. As variações verificadas na soma de bases (S) e na capacidade de troca de cátions (CTC) podem ser explicadas principalmente pelas variações nos teores de Na. Tendências semelhantes foram observadas em casa de vegetação com Latossolo Amarelo (Freitas et al. (2007) em Latossolo Vermelho e Neossolo Flúvico (Garcia et al. 2008), e no campo em Argissolo Vermelho Amarelo (Neves, 2008).

Nas diferentes profundidades do Argissolo Vermelho Amarelo foram determinadas a condutividade elétrica (CE_{1:1}) e a percentagem de sódio trocável (PST).

Essas propriedades químicas do solo podem ser vista na Tabelas 5. Os resultados evidenciaram que antes de ser instalado o cultivo do milho, o solo apresentou variações na condutividade elétrica (0,28 a 0,42 dS m⁻¹) e na percentagem de sódio trocável (5 a 10%). É importante observar que o aumento da salinidade da água de irrigação durante o cultivo do milho foram constatados aumento na CE_{1:1} do solo nas três profundidades do solo (Tabela 5). De modo geral, os maiores valores de CE_{1:1} foram verificados na profundidade de 30 a 60 cm. Essa variação da condutividade elétrica em ambas as profundidades do perfil do solo mostram a ocorrência de diferentes graus de lixiviação dos sais presentes na água de irrigação. Resultados semelhantes foram constatados por (Viera, 2006; Assis Júnior et al., 2007; Neves, 2008), nas mesmas condições de solo e clima. Os valores de condutividade elétrica medidos após o cultivo com o feijão-de-corda (período chuvoso) decresceram em todos os tratamentos, em consequência das chuvas ocorridas de janeiro a abril de 2008. O efeito de lavagem do solo em decorrência da estação chuvosa foi similar ao observado em outros estudos (Murtaza et al., 2006; Viera, 2006; Assis Júnior et al., 2007; Neves, 2008).

Tabela 5. Condutividade elétrica do extrato solo/água (CE 1:1) e percentagem de sódio trocável (PST) em amostras de diferentes camadas de um Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico coletados antes da instalação do primeiro cultivo (agosto de 2007), após o cultivo do milho (dezembro de 2007) e após o cultivo do feijão-de-corda (abril de 2008).

Tratamentos	CE _{1:1} (dS m ⁻¹)			PST(%)		
	0-0,3 m	0,3-0,6 m	0,6-0,9 m	0-0,3 m	0,3-0,6 m	0,6-0,9 m
Agosto de 2007(antes do cultivo do milho)						
	0,42	0,4	0,28	6	10	5
Dezembro de 2007 (após o cultivo do milho)						
0,8	0,66	0,83	0,54	18	21	15
2,2	0,98	1,58	1,53	22	21	24
3,6	1,46	2,11	1,48	31	25	22
5,0	1,65	2,74	1,92	24	23	21
Abril de 2008 (após o cultivo do feijão)						
0,8	0,3	0,37	0,42	2	9	10
2,2	0,23	0,37	0,4	3	6	8
3,6	0,25	0,37	0,39	3	9	9
5,0	0,23	0,19	0,26	2	13	11

Após o cultivo do milho, os valores da percentagem de sódio trocável (PST) foram superiores em relação ao limite de PST usado para classificar solos sódicos que é de 15% (Richards, 1954), em quase todas as profundidades do Argissolo e na maior parte dos tratamentos (Tabelas 2, 3 e 4). Essa PST elevada pode comprometer a estrutura do solo e, conseqüentemente, o desenvolvimento das raízes das plantas. Os maiores valores de PST foram observados na profundidade de 0-30 cm, precisamente nos tratamentos (T3 e T4). Já os tratamentos T1 e T2 foram maiores nas profundidades 30-60 cm e 60-90 cm respectivamente. Esses resultados devem-se, em grande parte, à composição da água salina utilizada na irrigação, que tinha uma proporção 7:3 de Na^+ em relação aos principais cátions divalentes (Ca^{+2} e Mg^{+2}). Os valores de PST decresceram em todas as profundidades do solo durante o período chuvoso, sendo os menores valores de PST encontrados na camada superficial do solo. Esse resultado reforça a necessidade de utilização de estratégia de manejo, como a aplicação alternada de águas de baixa e alta salinidade ao longo do ciclo das culturas (Murtaza et al. 2006), utilização de frações de lixiviação (Assis Júnior et al. 2007), da aplicação de gesso e emprego de diferentes culturas na mesma área. Essas estratégias contribuem para a convivência com os problemas de salinidade e sodicidade na agricultura irrigada (Smederma, 2007; Ritzema, et al., 2008).

3.2. Desenvolvimento do milho na estação seca

3.2.1. Crescimento e produtividade

A partir dos valores dos quadrados médios (Tabela 6), verifica-se que a salinidade afetou significativamente ($p < 0,01$ ou $p < 0,05$) a matéria seca do colmo (MSCO), da folha (MSFO), do material morto (MSMM), da espiga (MSESP) e da parte aérea (MSPA). Isto mostra o efeito dos níveis salinos aplicados na água de irrigação durante o ciclo da cultura e evidenciam a sensibilidade moderada da cultura do milho à salinidade (Ayers & Westcot, 1999).

Tabela 6. Valores dos quadrados médios e da significância estatística da produção de matéria seca de colmos + bainhas (MSCO), limbos foliares (MSFO), espigas (MSESP), pendões (MSPEN), material morto (MSMM) e matéria seca da parte aérea (MSPA) em plantas de milho irrigadas com água com quatro níveis de salinidade (0,8, 2,2, 3,6 e 5,0 dS m⁻¹).

Componentes de Produtividade	Quadrados Médios			CV
	Tratamentos	Blocos	Resíduo	
MSCO	145,5 ^{**}	25,8 ^{ns}	15,9	8,3
MSFO	129,2 ^{**}	9,8 ^{ns}	6,2	11,1
MSESP	720,3 [*]	132,9 ^{ns}	222,2	13,3
MSPEN	0,57 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,38	23,9
MSMM	5,4 ^{**}	0,18 ^{ns}	0,25	16,7
MSPA	1586,6 [*]	206,9 ^{ns}	340,9	9,7

^{ns} = Não significativo; ^{**} = significativo ao nível de 5 e 1 % pelo teste F; CV = coeficiente de variação.

O aumento da salinidade da água de irrigação aos 90 DAS não afetou a produção de matéria seca do pendão (Figura 4C), porém causou um decréscimo da matéria seca do colmo, da folha, da espiga e da parte aérea das plantas (Figuras 4A, B, D e F), respectivamente. O maior crescimento da MSCO, da MSESP e MSPA ocorreu nas plantas do tratamento irrigado na condutividade elétrica de 2,2 ds m⁻¹. Esses resultados evidenciam maior grau de tolerância da cultura do milho em comparação com dados da FAO, que considera a salinidade limiar da água de 1,1 dS m⁻¹ (Ayers & Westcot, 1999). É importante destacar que diferença na tolerância pode ser observada em diferentes cultivares de uma mesma espécie e que o grau de tolerância pode variar em função do método de irrigação e as condições meteorológicas locais (Katerji et al., 2000; Ferreira et al., 2007a). No entanto a inibição do crescimento das plantas de milho ocasionada pelo estresse salino progressivo pode estar relacionada ao desvio de energia em decorrência do aumento dos níveis de salinidade do solo. Portanto, a redução nos valores da MSCO, da MSFO, da MSESP e da MSPA pode ser o reflexo do custo metabólico de energia associada a uma tentativa de adaptação da planta à salinidade. Resultados semelhantes foram apresentados por Azevedo Neto & Tabosa (2000b), Blanco et al., (2007), Oliveira et al. (2007), em condições de casa de vegetação. Por outro lado, a matéria seca do material morto (Figura 1E) aumentou com o incremento salino da água de irrigação. Este incremento progressivo do material morto com aumento dos níveis salinos da água de irrigação foi observado em sorgo forrageiro cultivado no campo (Vieira, 2006) e em casa de vegetação por Aquino et al. (2007).

Esse fato é um indicativo do efeito da salinidade na intensificação da senescência dos tecidos foliares (Lacerda et al., 2003).

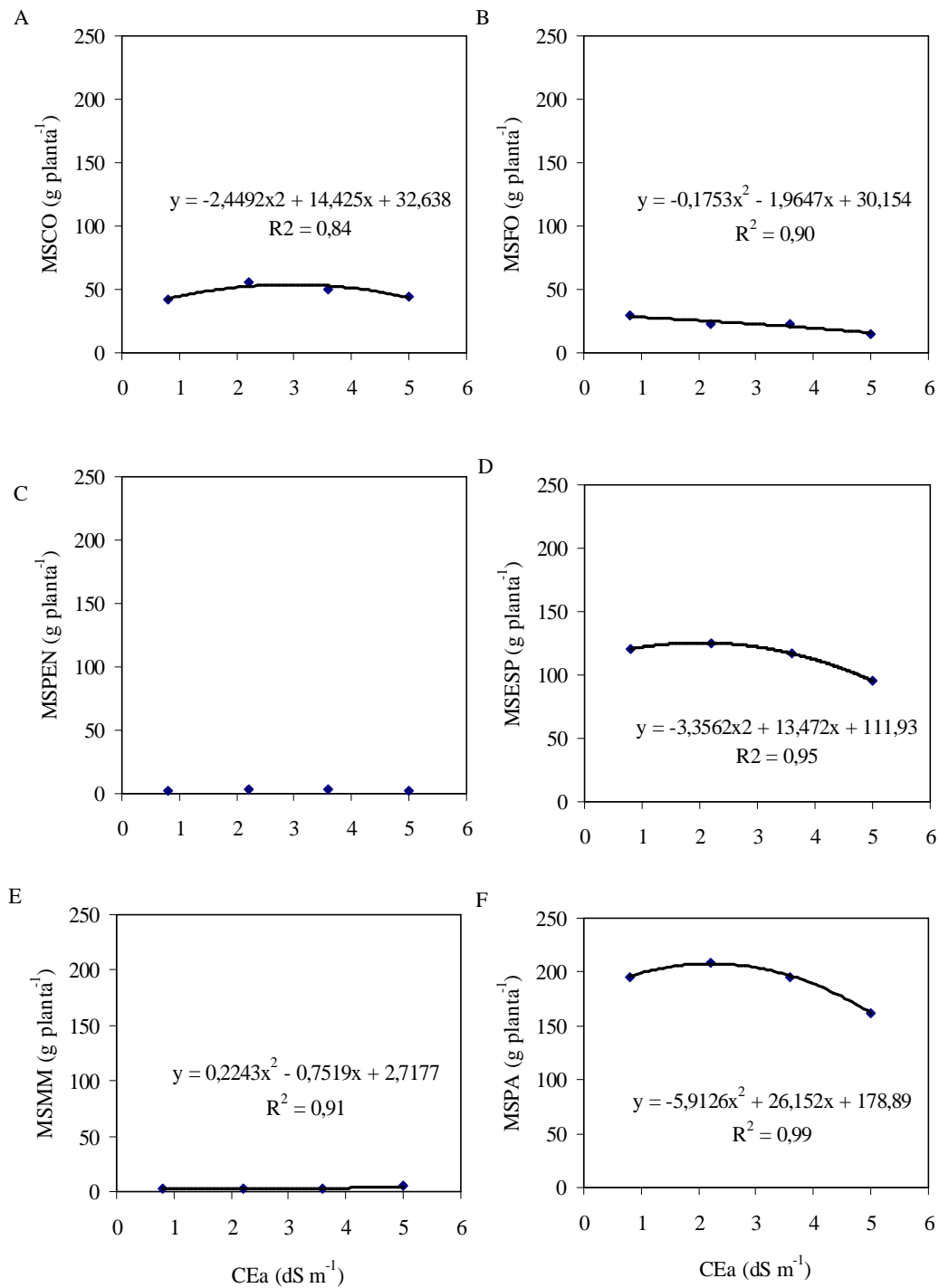


Figura 4. Matéria seca de colmos + bainhas (MSCB) (A), matéria seca dos limbos foliares (MSLF) (B), matéria seca dos pendões (MSPEN) (C), matéria seca das espigas (MESP) (D), matéria seca do material morto (MSMM) (E) e matéria seca da parte aérea (MSPA) (F) em plantas de milho irrigadas com água de crescentes concentrações de sais.

No caso dos componentes de produtividade (Tabela 7) o incremento de sais na água de irrigação afetou ($p < 0,05$) a matéria seca dos grãos (MSGR) e do sabugo (MSSB), porém não influenciou a matéria seca da palha (MSPA) e o peso de 1000 grãos (P 1000G). A redução dos rendimentos dos componentes de produtividade são consequências dos incrementos salinos impostos à cultura aos 90 dias após a semeadura. Dessa forma, o estresse salino causado pelo aumento da salinidade, pode ser um fator progressivo de distúrbios nas plantas, afetando a produtividade da cultura.

A produção de matéria seca dos grãos (Figura 5A) decresceu em função do aumento da concentração de sais na água de irrigação. A concentração de sais proveniente da água de irrigação pode ser um fator crucial na produtividade das culturas. A ação desses sais pode ir além de uma simples diminuição no potencial hídrico no solo até à injúria celular, causada por um estresse oxidativo na planta (Garcia et al., 2007a), provocando de acordo com Aguiar Neto et al. (2007) uma queda na produção. Esta redução dos componentes de produtividade da cultura do milho em função do aumento da salinidade foi constatado por Karteji et al. (2004) e Garcia et al. (2007b).

Tabela 7. Valores de quadrado médio e significância estatística da produção de matéria seca de grãos (MSGR), sabugos (MSSAB) e da palha (MSPAL), e a massa seca de 1000 sementes (P1000) em plantas de milho irrigadas com água de crescentes concentrações de sais

	Quadrados Médios			CV
	Tratamentos	Blocos	Resíduo	
MSGR	387,6*	34,8ns	89,4	15,3
MSSAB	12,4 ^{ns}	9,4*	2,3	13,7
MSPAL	121,9 ^{ns}	17,3 ^{ns}	52,8	17,4
P1000	75,8 ^{ns}	482,4 ^{ns}	293,9	10,1

^{ns} = Não significativo; * = significativo ao nível de 5 % pelo teste F; CV= coeficiente de variação.

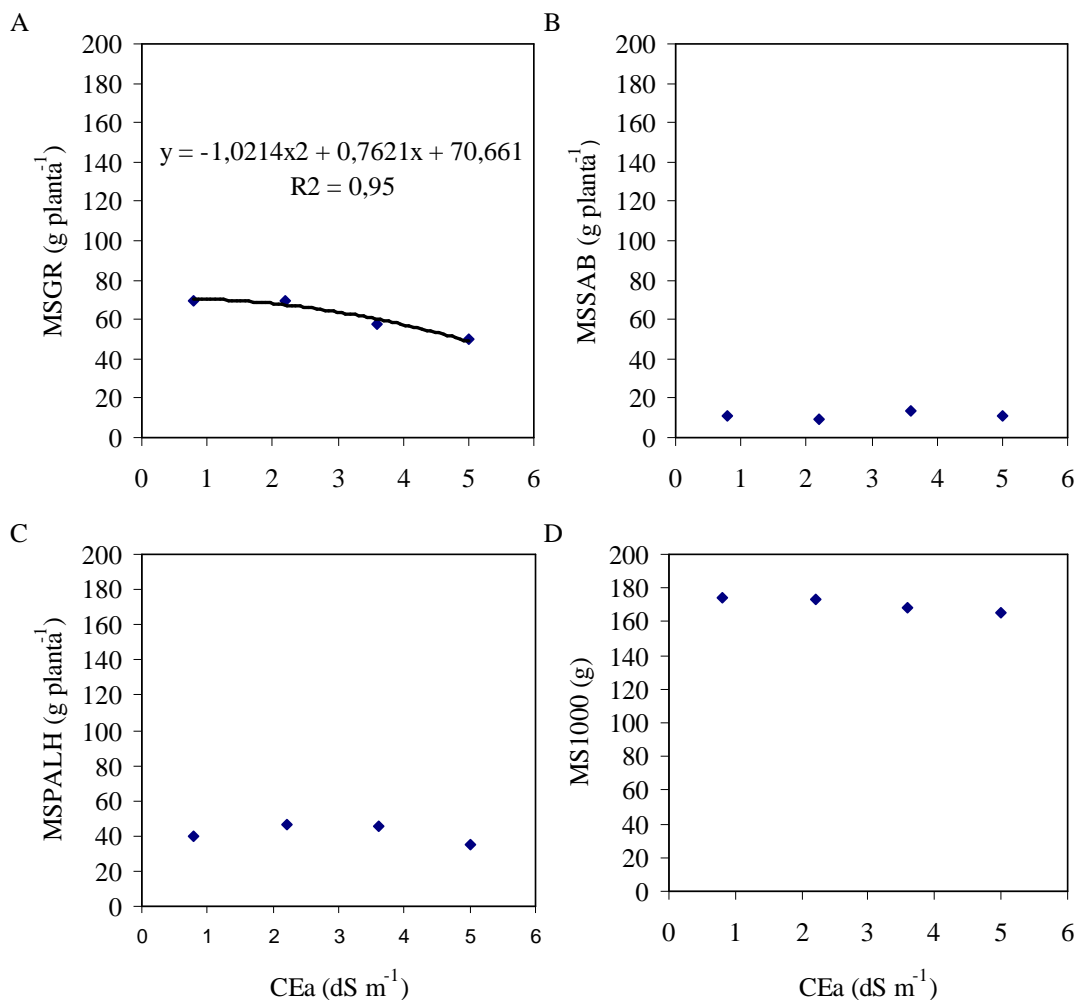


Figura 5. Produção de matéria seca de grãos (A), sabugos (B) e da palha (C), e a massa seca de 1000 sementes (D) em plantas de milho irrigadas com água de crescentes concentrações de sais.

As produtividades obtidas com base na produção por planta e com base na densidade de plantio foram de 4362, 4366, 3606 e 3110 kg ha⁻¹, respectivamente para os tratamentos T1, T2, T3 e T4. As produtividades obtidas com água de baixa salinidade (0,8 ds m⁻¹) que corresponde ao tratamento (T1) e com água salina (2,2 dS m⁻¹) referente ao tratamento (T2) estão acima dos valores médios de produtividade de 3.260 kg ha⁻¹ do Brasil e acima da produtividade média de 4000 kg ha⁻¹ dos Estados Unidos, sendo esse o maior produtor mundial (Fornasieri Filho, 2007).

Vale salientar que o milho é cultivado em praticamente todos os continentes, em todas as condições, porém, para cada região, existem genótipos com híbridos distintos com adaptação específica. Além do mais, o sucesso da sua produtividade

depende do potencial genético da semente, das condições edafoclimáticas, do local de semeadura e do manejo da cultura (Fageria, 1989; Fornasieri Filho, 2007).

3.2.2. Partição de matéria seca

A distribuição de matéria seca nas diferentes partes da planta foi afetada significativamente pela salinidade da água de irrigação (Tabelas 8 e 9). A irrigação com níveis crescente de salinidade aumentou a proporção do colmo, pendão e reduziu a partição de matéria seca da folha, o que diminui a relação fonte e dreno (Lacerda et al., 2006).

Esta resposta das folhas em plantas cultivadas em campo, tem mostrado diversidade neste tipo de estudo (Soares et al., 2005; Vieira, 2006). Taiz & Zeiger (2004) afirmam que as folhas têm uma preferência de acumulação de biomassa, sendo assim uma base para uma maior produção de fotoassimilados e desenvolvimento de novos órgãos. Por outro lado, Prisco & O'Leary (1972) relatam que podem ser uma aceleração de senescência das folhas, o que está de acordo com o aumento da porcentagem de material morto no tratamento de maior salinidade (Tabela 9). Essa diferença existente entre as partições de matéria seca nas plantas de milho em condições de campo aos 90 dias após a semeadura, é reflexo de adaptação das plantas deste híbrido de milho. Viera (2006) trabalhando nas mesmas condições com dois genótipos de sorgo forrageiro (CSF 18 e CSF 20), verificou uma diferença entre os mesmos, sendo o genótipo CSF 20, o que mais apresentou material morto. Aquino et al. (2007) em condições de ambiente protegido, observaram resultados similares com os mesmos genótipos da cultura do sorgo. A alteração provocada pelo estresse salino na distribuição percentual da matéria seca, pode reduzir tanto a produção de biomassa total, quanto a partição de fotoassimilados entre as diferentes partes das plantas (Silva et al., 2003; Blanco & Folegatti, 2008).

Tabela 8. Valores de quadrado médio e significância estatística da partição de matéria seca em diversas partes de plantas de milho irrigadas com água de crescentes concentrações de sais

		Quadrados Médios			CV
		Tratamentos	Blocos	Resíduo	
Colmos bainhas	+	0,30 ^{**}	0,04 ^{ns}	0,04	4,1
Limbos foliares		0,47 ^{**}	0,10 ^{ns}	0,04	5,6
Pendão		0,03 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,012	9,5
Palha		0,082 ^{ns}	0,019 ^{ns}	0,053	5,0
Sabugo		0,25 [*]	0,058 ^{ns}	0,042	8,4
Material morto		0,38 ^{**}	0,011 ^{ns}	0,016	10,4
Grãos		0,23 [*]	0,008 ^{ns}	0,059	4,3

ns = Não significativo; * = significativo ao nível de 5 % pelo teste F; CV= coeficiente de variação.

Tabela 9. Partição da matéria seca da parte área em plantas de milho irrigadas com água de crescentes concentrações de sais

CEa (dS m ⁻¹)	Porcentagem ¹						² IC
	Colmo + bainhas	Limbos Foliares	Pendão	Palha	Sabugo	Material morto	
0,8	21,4 ± 1,3	15,1 ± 2,3	1,1 ± 0,3	20,1 ± 1,1	5,8 ± 1,1	1,1 ± 0,2	35,5 ± 2,6
2,2	26,4 ± 2,2	10,9 ± 1,1	1,4 ± 0,2	22,3 ± 1,1	4,4 ± 1,5	1,2 ± 0,3	33,4 ± 1,9
3,6	25,7 ± 1,3	11,8 ± 2,1	1,5 ± 0,2	23,3 ± 3,0	6,9 ± 0,5	1,3 ± 0,4	29,6 ± 1,7
5,0	27,6 ± 3,0	9,4 ± 0,5	1,5 ± 0,2	21,5 ± 2,2	6,6 ± 0,2	2,9 ± 0,3	30,5 ± 3,2

¹médias ± erro padrão; n = 5; ²IC = Índice de colheita; CEa= Condutividade elétrica da água

3.3 Desenvolvimento do feijão-de-corda na estação chuvosa

Os valores médios de matéria seca nas diferentes partes da planta variaram entre os tratamentos (Tabela 10). De modo geral, verifica-se que o acúmulo de sódio e de sais no solo durante o cultivo do milho (Tabelas 2, 3 e 4) não foram suficientes para causar efeitos no crescimento e na produtividade do feijão-de-corda durante a estação

chuvosa subsequente. Isso ocorreu devido, em grande parte, ao total de cerca de 250 mm de chuvas no período entre o cultivo do milho e do feijão-de-corda (Figura 1). Durante a condução do experimento do feijão-de-corda (janeiro a abril de 2008) também foi verificado um valor elevado de precipitação (1248,5 mm). Estas chuvas proporcionaram uma boa lixiviação dos sais, tanto antes como durante o cultivo da estação chuvosa.

Tabela 10. Matéria seca de hastes (MSH), matéria seca de limbos foliares (MSLF), matéria seca de vagens (MSVAG) e matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de feijão-de-corda cultivadas nas parcelas experimentais que foram anteriormente cultivadas com milho

CEa (dS m ⁻¹)	Matéria seca (g planta ⁻¹)			
	MSH	MSFO	MSVAG	MSPA
0,8	40,9 ± 4,6	22,1 ± 3,9	2,4 ± 0,6	65,4 ± 6,2
2,2	43,6 ± 7,2	24,7 ± 8,8	2,8 ± 0,6	71,0 ± 14,4
3,6	59,7 ± 5,9	20,8 ± 6,1	2,4 ± 1,0	82,9 ± 9,2
5,0	46,6 ± 9,1	19,7 ± 8,9	3,1 ± 0,6	69,4 ± 17,8

¹médias ± erro padrão; n = 5; CEa= Condutividade elétrica da água

Murtaza et al., (2006) também constataram pouca influência da irrigação com água salina no cultivo do algodão na estação seca, em um sistema de rotação cultural com trigo irrigado com água de baixa salinidade na estação chuvosa. De acordo com Karteji et al. (2000), Santos et al. (2005) e Assis Júnior et al. (2007), tal ocorrência é atribuída à lixiviação dos sais, além da zona radicular da cultura, o excedente da água de irrigação lixívia o excesso de sais no perfil do solo, resultando em menor efeito deletérico da salinidade no ambiente radicular, o que favorece o crescimento e o desenvolvimento da cultura.

Os resultados da produtividade do feijão-de-corda encontram-se na (Tabela 11). Conforme Cardoso et al. (2005) a produtividade é resultado do número de vagens (NV) por unidade de área, do número de grãos por vagens (NGV) e do peso 100 grãos (P100G em g). Os valores médios encontrados para o peso de 100 grãos (13,85 g) e para o tamanho médio de vargem (18,5 cm) não estão de acordo com os observados na cultivar em estudo (EPACE 10) e em outros cultivares dessa espécie (Freire Filho et al., 2005). É importante destacar que não foram observadas diferenças significativas nos parâmetro de produtividade da cultura, o que mostra que os efeitos dos sais acumulados foram eliminados pelo excesso de chuvas que ocorreram antes e durante o cultivo do feijão-de-corda.

Tabela 11. Tamanho da vagem (TV), número de grãos por vagem (NGV), massa seca de 100 sementes (P100) e produção de grãos (MSGR) de plantas de feijão-de-corda cultivadas nas parcelas experimentais anteriormente cultivadas com milho

CEa (dS m ⁻¹)	Variáveis Analisadas ¹			
	TV (cm)	NGV	P100 (g)	MSGR (g planta ⁻¹)
0,8	18,1 ± 0,7	11,6 ± 2,6	13,5 ± 0,9	1,9 ± 0,5
2,2	18,8 ± 0,7	11,0 ± 2,1	13,9 ± 0,9	2,2 ± 0,5
3,6	18,5 ± 0,9	10,6 ± 1,3	13,8 ± 1,4	1,9 ± 0,8
5,0	18,8 ± 0,7	12,2 ± 1,1	14,2 ± 1,0	2,5 ± 0,5

¹médias ± erro padrão; n = 5; CEa= Condutividade elétrica da água

Embora as chuvas tenham proporcionado a lixiviação do sais do solo verifica-se que o feijão-de-corda apresentou um comportamento atípico com uma expressiva produção de massa vegetativa e baixa de vagens e grãos (Tabelas 10 e 11). As produtividades estimadas com base na produção por planta e com base na demanda de plantio foram de 160, 181, 168 e 169 kg ha⁻¹, respectivamente para os tratamentos T1, T2, T3 e T4. Estudos conduzidos com essa cultura nas mesmas condições de solo, porém sob irrigação durante a estação seca (Assis Júnior et al., 2007; Neves, 2008), mostraram um padrão de desenvolvimento bem diferente, com uma produtividade de grãos superiores a 1800 kg ha⁻¹. Os valores de produtividades obtidos no presente estudo são também bem inferiores aos encontrados por Freire Filho et al. (2005), Mousinho et al. (2008) no Brasil, e por Adekalu & Okunade, (2006) na África, sob condições de irrigação. Alterações climáticas ocorridas, principalmente as relacionadas às variações pluviais entre anos e locais de cultivo, podem determinar baixos rendimentos e a oscilação da produção anual desta cultura, como visto neste estudo (Andrade Júnior, 2000).

Na Tabela 12 observam-se os dados da partição de matéria seca nas diferentes partes da planta (haste, folhas, cascas e índice de colheita). De modo geral, a percentagem de matéria seca nas partes vegetativas corresponderam a mais de 90% da matéria seca total da parte aérea, evidenciando um desenvolvimento atípico da cultura provocado pelo excesso de chuvas durante o cultivo. Por outro lado, o índice de colheita apresentou resultados muito baixos, cerca de 10 vezes menor do que os encontrados por Assis Júnior et al. (2007) e Neves (2008) em cultivos irrigados durante a estação seca. Também é importante destacar que o ciclo da cultura teve duração de quase 90 dias durante a estação chuvosa, pelo menos 20 dias a mais que os ciclos observados em

cultivos irrigados na estação seca (Assis Júnior et al., 2007; Neves, 2008). Este efeito negativo da produtividade e do índice de colheita é consequência do alto índice de chuvas durante o cultivo do feijão-de-corda, sendo que a lixiviação dos sais permanentes do cultivo com milho, foi determinante para uma maior quantidade de fitomassa do feijão-de-corda. Esta alteração na partição de fotoassimilados contradizem com estudos realizados em casa de vegetação, com o feijão-de-corda, irrigado com água de diferentes composições iônicas (Lima et al., 2007; Sousa et al., 2007) e no campo no período seco (Assis Júnior et al., 2007; Neves, 2008).

Tabela 12. Partição da matéria seca da parte aérea de plantas de feijão-de-corda cultivadas nas parcelas experimentais que foram previamente cultivadas com milho

CEa (dS m ⁻¹)	Porcentagem ¹			
	Hastes	Folhas	Casca	IC ²
0,8	62,6 ± 4,6	33,7 ± 4,6	0,7 ± 0,1	2,9 ± 0,4
2,2	54,0 ± 15,7	42,0 ± 15,7	0,8 ± 0,1	3,2 ± 0,5
3,6	72,2 ± 5,6	24,9 ± 5,5	0,6 ± 0,3	2,3 ± 1,1
5,0	68,0 ± 5,6	27,3 ± 6,2	0,9 ± 0,2	3,8 ± 1,0

¹médias ± erro padrão; n = 5; ²IC = Índice de colheita; CEa= Condutividade elétrica da água

4. CONCLUSÕES

A irrigação com águas salinas aumentou a salinidade e a sodicidade do solo durante o período da estiagem, e as precipitações no período chuvoso foram eficientes para a lavagem do excesso de sais do perfil do solo;

A salinidade da água de irrigação acima $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ inibiu o crescimento vegetativo e a capacidade produtividade do milho;

O acúmulo de sais no solo durante o cultivo do milho na estação seca não afetou a produtividade do feijão-de-corda;

A predominância do crescimento vegetativo do feijão-de-corda em detrimento da produção de grãos ocorreu pelo excesso de chuvas.

CAPÍTULO 2

NUTRIÇÃO MINERAL E EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES DE PLANTAS DE MILHO IRRIGADAS COM ÁGUAS SALINAS

RESUMO

O estresse salino pode afetar a absorção e extração de nutrientes pelas plantas ocasionando conseqüentemente, redução no potencial osmótico do solo, acumulação excessiva de íons nos tecidos vegetais, toxidez iônica e desequilíbrio nutricional. Realizou-se um estudo com a cultura do milho, utilizando-se água com diferentes concentrações de sais (0,8, 2,2; 3,6 e 5,0 dS m⁻¹) na irrigação em condições de campo na estação seca em um Argissolo Vermelho Amarelo, próximo ao laboratório de hidráulica, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, em Fortaleza-CE, de setembro a dezembro de 2007, para avaliar os teores e os totais extraídos de Na, de macronutrientes (Ca, K, Mg, P,) e de micronutrientes (Cl, Fe, Cu, Zn e Mn), em função da salinidade da água de irrigação. O experimento obedeceu a um delineamento em blocos ao acaso, com cinco repetições. As plantas de milho foram coletadas aos 90 dias após a semeadura, sendo realizadas as seguintes avaliações: teores e extração de elementos minerais nas frações da planta (folha, colmo, pendão, palha, grão e sabugo). Os teores de elementos minerais variaram na cultura

do milho aos noventa dias após a semeadura, sendo afetados pela salinidade da água de irrigação, quanto maior o nível de salinidade da água de irrigação aos 90 dias após a semeadura, menores são os teores de potássio nas folhas, de magnésio nos grãos, de fósforo grãos, quando irrigadas com água de baixa salinidade as plantas extraem os nutrientes na seguinte ordem: $K > Mg > Cl > Ca > P > Na > Fe > Zn > Mn > Cu$, no entanto, sob estresse salino as plantas de milho extraem os minerais no maior nível salino na seguinte ordem decrescente: $K > Cl > Ca > Na > P > Mg > Fe > Mn > Zn > Cu$, a salinidade reduziu os totais extraídos dos seguintes elementos minerais: K, Ca, Mg e P. O estresse salino proporcionou a seguinte distribuição de elementos minerais: Na e K permaneceram nas partes vegetativas, Ca, Mg e P foram exportados em maiores proporções para os órgãos reprodutivos, Cl, Mn e Cu permaneceram preferencialmente nas partes vegetativas, Fe e Zn foram exportados em maiores proporções pelos grãos.

Palavras- chaves: estresse salino, Zea mays, nutrição mineral, extração de minerais do solo.

SUMMARY

The salt stress can affect the extraction and absorption of nutrients by plants causing consequently, reduction in the osmotic potential of soil, excessive accumulation of ions in plant tissue, toxicity and ion nutritional imbalance. A study was conducted with the corn crop, using water with different concentrations of salts (0.8, 2.2, 3.6 and 5.0 dS m⁻¹) for irrigation in field conditions in the dry season in a Yellow Red Argisol, in area belonging to the Department of Agricultural Engineering, in Fortaleza, Ceará – Brasil in period of september and december 2007, to assess the levels and the total extracted Na, macronutrients (Ca, K, Mg , P) and micronutrients (Cl, Fe, Cu, Zn and Mn), according to the salinity of irrigation water. The experiment followed a randomized block design, with five replicates, the harvest of maize plants was at 90 days after sowing, and made the following assessments: levels and extraction of mineral elements in fractions of the plant (leaf, stem, tassel, straw, grain and elderberry). The levels of mineral elements ranged in crop maize to 90 days after the sowing and was affected by salinity of irrigation water, the higher the level of salinity of irrigation water to 90 days after

sowing as lower the levels of potassium in the leaves, magnesium and phosphorus in grains, and the plants of maize under low salinity irrigation water, extract nutrient in the following order: K> Mg> Cl> Ca> P> Na> Fe> Zn> Mn> Cu however under salinity stress the maize crop extract the minerals to higher salinity level in the following order: K> Cl> Ca> Na> P> Mg> Mn> Zn> Cu and the salt decreases the extraction total the following minerals: K, Ca, Mg and P. The salinity has the following distribution of mineral elements: Na and K remained in the vegetative parts, Ca, Mg and P was exported in larger proportions to the reproductive organs, Cl, Mn and Cu were mainly in the vegetative parts, Fe and Zn was exported in larger proportions by grain

Key Word: stress salinity, Zea mays, mineral nutrition, mineral removal

1. INTRODUÇÃO

Em regiões de clima árido e semi-árido é freqüente a água conter sais solúveis em excesso, e a utilização dessas águas, sem uma adequada fração de lixiviação, pode provocar a salinização dos solos, reduzindo o crescimento e o desenvolvimento das plantas. A salinização do solo ao baixar o potencial osmótico da água, causa o estresse hídrico às plantas, além de provocar desequilíbrio e estresse nutricional. O estresse nutricional pode estar associado ao acúmulo excessivo de determinados íons e a redução de outros, devido às alterações na disponibilidade de nutrientes, à competição no processo de absorção, a inibição do transporte na planta (Yahya, 1998; Munns, 2002; Garcia et al., 2005; Dechen & Nachtigall 2007a).

Os efeitos da salinidade da água de irrigação sobre as plantas refletem-se em alterações no potencial osmótico, na toxicidade dos íons e no desequilíbrio nutricional das plantas (Greenway & Munns, 1980; Rodriguês 2007; Munns & Tester 2008). A resposta das plantas à salinidade é um fenômeno complexo, envolvendo alterações morfológicas e de crescimento, além de processos fisiológicos e bioquímicos (Fougere et al., 1991). A sobrevivência das plantas em ambientes salinos pode resultar de processos adaptativos envolvendo absorção, transporte e distribuição de íons nos vários órgãos da planta e sua compartimentação dentro das células (Munns & Termaat, 1986).

A maioria das culturas evoluiu, sob condições de baixa salinidade do solo. Os mecanismos desenvolvidos para absorver, transportar e utilizar os nutrientes minerais, presentes em ambientes não salinos, podem não ser eficaz em condições salinas Grattan & Grieve (1999). Esses autores afirmam que em solos salinos e sódicos a solubilidade de micronutrientes (Fe, Cu, Mn e Zn) é particularmente baixa, podendo ocorrer deficiência destes elementos em plantas cultivadas nestes solos. As deficiências de Ca e K podem ser induzidas por excesso de Na^+ e a absorção de NO_3^- pode ser inibida por Cl^- . (Marschner, 1995). As alterações causadas pelo estresse salino podem ser em função do tipo de planta, da tolerância aos níveis salinos, da concentração dos nutrientes, das condições de crescimento, do sistema de cultivo adotado e do tempo do estudo de plantas à salinidade. Os processos de crescimento são, particularmente, sensíveis ao efeito dos sais, bem como a capacidade da planta em tolerar o estresse salino (Larcher, 2006), podendo resultar em menor extração de nutrientes pelas culturas, com exceção do Na^+ (Neves, 2008; Costa et al., 2008).

O presente trabalho teve como objetivo estudar os efeitos da salinidade do solo sobre os teores e os totais extraídos de Na, de macronutrientes (Ca, K, Mg, P,) e de micronutrientes (Cl, Fe, Cu, Zn e Mn), em função da salinidade da água de irrigação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local do experimento, preparo da área, tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi montado em Argissolo Vermelho Amarelo, de textura média (Embrapa, 2006), na área experimental do Laboratório de Hidráulica e Irrigação da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, em Fortaleza – CE. Segundo a classificação de Köppen. As principais características do solo e os dados meteorológicos durante a realização do experimento foram apresentados no Capítulo 1.

O preparo da área experimental consistiu inicialmente de uma aração seguida de uma gradagem. Antes da aração foi realizada aplicação de calcário na dose de 2,0 Mg ha⁻¹, necessária para corrigir a acidez do solo. Antes da gradagem foi realizada a aplicação de gesso, na dose de 2,0 Mg ha⁻¹. A aplicação de gesso foi necessária, visto que experimentos utilizando águas salinas foram realizados nos anos anteriores.

Os tratamentos consistiram em diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, conforme descrição a seguir: T1 – água do poço com condutividade elétrica (CEa) de 0,80 dS m⁻¹; T2 – água com CEa de 2,2 dS m⁻¹; T3 – água com CEa de 3,6 dS m⁻¹; T4 – água com CEa de 5,0 dS m⁻¹. Para o preparo das água dos tratamentos 2, 3 e 4, utilizaram-se os sais de NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O dissolvidos na água do

poço, na proporção de 7:2:1, obedecendo-se à relação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e sua concentração ($\text{mmolc L}^{-1} = \text{CE} \times 10$), extraída de Rhoades et al. (2000).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Cada parcela tinha 3 m de comprimento e cinco linhas de plantio. Foi utilizado o espaçamento de 0,8 x 0,2 m, com 1600 plantas no total e uma densidade de plantio de 62500 plantas por hectare.

2.2 Instalação e condução do experimento

O plantio foi realizado no dia 16 de setembro de 2007, utilizando-se sementes do milho híbrido AG 1051, obtidas em loja comercial especializada. Após o estabelecimento das plântulas, 8 dias após a semeadura, as plantas passaram a ser irrigadas com água com quatro diferentes condutividades elétricas, conforme descrito anteriormente.

A adubação seguiu a recomendação de Fernandes (1993), aplicando as doses de 60, 30 e 30 kg ha^{-1} , N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente. Os adubos utilizados foram uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, sendo que o superfosfato simples foi aplicado todo na fundação. A uréia e o cloreto de potássio foram aplicados em três parcelas, sendo uma na fundação e duas em cobertura (aos 25 e 40 dias após o plantio). Durante a realização do experimento foram realizadas capinas manuais e de acordo com a necessidade foram feitas aplicações de defensivos agrícolas para combater o ataque de pragas e doenças.

A água foi aplicada em sulcos nivelados e fechados em turno de rega de três dias, e sua quantidade foi calculada para atender às necessidades da cultura, utilizando-se dados de uma estação meteorológica localizada a cerca de 40 m do local do experimento, adicionando-se a fração de lixiviação de 15% calculada de acordo com Ayers & Westcot (1999).

As lâminas de irrigação foram definidas com base nos valores de evapotranspiração (ET_o) obtidas através do Tanque Classe A e dos coeficientes da cultura (K_c) recomendados para os diferentes estádios fenológicos da cultura (Doorenbos & Kassam, 1994). Os coeficientes de cultivo e os respectivos períodos foram os seguintes: 0,46-0,78 (até 30 dias após o plantio, DAS), 1,05-1,06 (de 30 até 57 DAS), 1,15-1,07 (de 57 até 82 DAS) e 0,95-0,73 (de 90 até 62 DAS).

A lâmina de irrigação aplicada foi calculada para atender as necessidades da cultura, de acordo com a fórmula:

$L = K_p * ECA * K_c * A * FL$, onde:

L= lâmina de irrigação, em mm;

K_p = coeficiente do Tanque “Classe A” (0,70);

ECA = evaporação do Tanque “Classe A”, em mm, medida todos os dias na estação;

K_c = Coeficiente da cultura por fase de desenvolvimento;

A = área irrigada em cada sulco, 2,4 m²;

FL= fração de lixiviação, 15%.

2.3 Coletas das plantas e análises minerais

A colheita foi realizada no dia 15 de Dezembro de 2007, ou seja, aos 90 DAP. Grupos de 15 plantas colhidas aleatoriamente dentro da parcela útil (representada pelas três fileiras centrais), foram separadas em limbos foliares, colmo + bainhas, pendão, espigas e material morto, acondicionadas em sacos de papel previamente identificados e, levadas à estufa de ventilação forçada de ar, a 65 °C até peso constante. As espigas das demais plantas na parcela útil também foram colhidas e pesadas. Todos os materiais secos foram pesados, sendo que as espigas foram separadas em grãos, palha e sabugo.

As amostras secas em estufa (folha, colmo, pendão, palha, sabugo e grãos) e finamente trituradas em moinho tipo Wiley foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificadas, sendo esse material utilizado nas determinações dos teores dos elementos minerais (Na, K, Ca, Mg, P, Fe, Cu, Zn e Mn).

Para o preparo do extrato nitro-perclórico, foi pesado 0,5 g do material vegetal em tubos de vidro e, em seguida, foram adicionados 6,0 mL da mistura de ácido nítrico (HNO₃) + ácido perclórico (HClO₄) na proporção de 2:1 (v/v), deixando-se em repouso por uma noite. Após o repouso, os tubos foram colocados em uma placa digestora no qual a temperatura foi gradativamente elevada até atingir 160°C permanecendo nesta temperatura até o volume se reduzir à metade. Logo após esse tempo a temperatura foi aumentada para 250°C, mantendo-a constante até o extrato apresentar-se incolor. O extrato incolor foi deixado em repouso até atingir a temperatura ambiente. Em seguida transferiu-se o homogenato para balão volumétrico de 50 mL, sendo o volume final completado com água destilada (Malavolta et al., 1997). Os teores de Na e K, foram

determinados através de fotometria de chama, os teores de P por colorimetria, e os teores de Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn por espectrofotometria de absorção atômica (Malavolta et al., 1989).

Os teores de Cl⁻, foram determinados em extratos aquosos, feitos à partir da diluição de aproximadamente 150 mg do material seco e moído, das diversas frações, com 15 mL de água deionizada. O homogeneizado foi mantido em agitação durante aproximadamente uma hora e, posteriormente, filtrado em papel de filtro. Para a determinação do Cl⁻, utilizou-se um volume adequado do extrato, completado para 3 mL com água desmineralizada. Em seguida, adicionaram-se 0,50 mL de mistura de Hg (SCN)₂ 13,20 mM, em metanol, e de Fe (NO₃)₃ 20,20% (4 + 1). A mistura foi agitada rigorosamente e, após repouso por 15 min, foram efetuadas as leituras de absorbância a 460 nm (Gaines et al., 1984). Os teores de Cl foram determinados por meio de uma curva de calibração, utilizando-se o NaCl como padrão. Cada repetição foi dosada por uma amostra simples, em duas replicatas para uma maior precisão da leitura das amostras. Os teores de elementos minerais variou na cultura do milho aos noventa dias após a semeadura, sendo afetados pela salinidade da água de irrigação.

Com os dados obtidos de produção de matéria seca e dos teores de elementos minerais, calcularam-se os totais extraídos de cada elemento mineral e a distribuição percentual nas diferentes partes das plantas analisadas.

2.4. Análises estatísticas

Os dados de teores de nutrientes foram submetidos às análises de variância, regressão, enquanto os dados de extração e distribuição de nutrientes foram submetidos às análises de variância tendo sido realizada a comparação entre médias pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Foi utilizado o programa computacional SAEG/UFV (RibeiroJúnior, 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Teores de elementos minerais

Os valores dos quadrados médios e da significância estatística quanto aos teores de nutrientes (Na, K, Ca, Mg, P, Cl, Fe, Cu, Zn e Mn) nas diversas partes das plantas de milho irrigado com quatro níveis de salinidade (0,8; 2,2; 3,6 e 5,0 dS m⁻¹) podem ser visto nas Tabelas 1 e 2.

De acordo com a análise de variância, constatou-se que os teores de nutrientes em quase todas as partes das plantas foram influenciados significativamente ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) nas diferentes concentrações de sais na água de irrigação (Tabelas 1 e 2). Nas folhas, o principal órgão da planta, em termos de avaliação nutricional, foram observados efeitos significativos para todos os nutrientes analisados, excetuando-se os teores de Mg, Fe, Mn e Cu. É importante enfatizar que no colmo das plantas a salinidade influenciou os teores dos 10 elementos analisados. Com relação aos teores de nutrientes dos pendões, a salinidade da água de irrigação afetou Ca, P, Fe, Zn e Cu. No caso dos grãos, observou-se que a salinidade influenciou nos teores de Na, K, Mg, Cl, Fe e Mn e Cu, nas palhas das espigas os teores Na, K, Ca, Mg, P, Cl, Fe, Cu e Zn. Nas folhas os teores de nutrientes afetados pela salinidade foram o Na, Ca, K, Mg, P, Cl, Fe, Mn, Cu e Zn. Nos sabugos a salinidade influenciou nos teores de Na, Ca, K, Mg, P, Cl, Fe, Cu, Zn e Mn.

Os resultados do presente estudo concordam com outros estudos realizados em casa de vegetação em que foram observadas alterações nos teores de nutrientes em folha

de milho, com destaque para o acúmulo de sódio e cloreto, com redução de potássio, magnésio e fósforo (Azevedo Neto & Tabosa, 2000a; Ferreira et al., 2005; Garcia et al., 2007a). Entretanto, em plantas de sorgo e meloeiro cultivados em casa de vegetação e no campo foram encontrados resultados discrepantes (Vieira, 2006; Gurgel et al., 2008). Vale ressaltar que as variações dos teores de nutrientes aos 90 dias após a semeadura do milho podem ser decorrentes dos processos de acumulação e mobilidade dos nutrientes dentro da planta (fonte-dreno).

Tabela 1. Valores dos quadrados médios e da significância estatística para os teores de Na, K, Ca, Mg e P nas diversas partes de plantas de milho irrigadas com água com quatro níveis de salinidade (0,8; 2,2; 3,6 e 5,0 dS m⁻¹)

Elemento	Parte da Planta	Quadrados Médios			CV
		Tratamento	Bloco	Resíduo	
Na	Folha	0,15 *	0,16 ^{ns}	0,27	4,57
	Colmo	1,67 **	0,79 ^{ns}	0,62	11,23
	Pendão	0,59 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,18	7,93
	Grãos	0,22 **	0,11 ^{ns}	0,15	14,26
	Palha	0,73 **	0,16 ^{ns}	0,90	21,85
	Sabugo	1,02 **	0,15 ^{ns}	0,38	18,09
K	Folha	8,58 *	1,38 ^{ns}	1,54	8,86
	Colmo	33,43 **	2,68 ^{ns}	2,14	8,77
	Pendão	0,21 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,44	20,62
	Grãos	1,29 *	0,94 ^{ns}	0,35	6,15
	Palha	11,11 *	0,97 ^{ns}	2,54	15,02
	Sabugo	1,58 *	0,90 ^{ns}	0,38	7,29
Ca	Folha	8,17 **	1,7 ^{ns}	0,61	7,97
	Colmo	519,54 **	2,5 ^{ns}	6,3	13,66
	Pendão	0,49 *	4,24 ^{ns}	2,04	10,86
	Grãos	3,74 ^{ns}	1,71 ^{ns}	1,11	16,04
	Palha	0,75 *	0,37 ^{ns}	3,47	7,26
	Sabugo	641,5 **	2,02 ^{ns}	0,35	6,64
Mg	Folha	0,94 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,58	12,67
	Colmo	6,41 **	0,49 ^{ns}	0,57	12,89
	Pendão	1,01 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,45	13,66
	Grãos	52,96 **	0,34 ^{ns}	0,23	5,82
	Palha	0,65 *	0,10 ^{ns}	0,72	12,6
	Sabugo	40,41 **	0,98 ^{ns}	0,11	16,9
P	Folha	0,36 **	0,32 ^{ns}	0,15	18,66
	Colmo	0,47 **	0,45 ^{ns}	0,10	16,24
	Pendão	0,93 **	0,91 ^{ns}	0,10	8,18
	Grãos	0,29 ^{ns}	0,71 **	0,15	9,24
	Palha	0,35 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,19	36,56
	Sabugo	0,35 **	0,12 ^{ns}	0,74	14,69

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns= não significativo.

Tabela 2. Valores dos quadrados médios e da significância estatística para os teores de Cl, Fe, Mn, Zn e Cu nas diversas partes de plantas de milho irrigadas com água com quatro níveis de salinidade (0,8; 2,2; 3,6 e 5,0 dS m⁻¹)

Elemento	Parte da Planta	Quadrados Médios			CV
		Tratamento	Bloco	Resíduo	
Cl	Folha	49,7 ^{**}	2,65 ^{ns}	1,34	16,09
	Colmo	9,84 ^{**}	1,81 ^{ns}	0,57	8,38
	Pendão	0,66 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,35	12,9
	Grãos	0,24 ^{**}	0,5 [*]	0,12	14,7
	Palha	0,70 ^{**}	0,19 ^{ns}	0,36	16,08
	Sabugo	5,83 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,23	33,92
Fe	Folha	280,32 ^{ns}	130 ^{ns}	132,29	5,24
	Colmo	8266,45 ^{**}	54,92 ^{ns}	72,65	9,63
	Pendão	8,92 ^{**}	4,34 [*]	1,11	20,62
	Grãos	11707,34 ^{**}	213,68 ^{ns}	297,8	10,25
	Palha	4693,78 [*]	158,56 ^{ns}	1,19	16,4
	Sabugo	9,98 ^{**}	1,08 ^{ns}	208,17	6,44
Mn	Folha	5519,92 ^{**}	33,23 ^{ns}	94,14	13,98
	Colmo	5251,24 ^{**}	4,65 ^{ns}	20,04	7,39
	Pendão	626,87 ^{ns}	557,52 ^{ns}	784,48	28,06
	Grãos	16,74 ^{**}	1,22 ^{ns}	0,69	8,64
	Palha	10,46 ^{ns}	0,8 ^{ns}	7,06	10,15
	Sabugo	16,68 ^{**}	18,56 ^{ns}	0,22	5,07
Zn	Folha	214,12 ^{**}	1,39 ^{ns}	3,57	6,14
	Colmo	200,22 ^{**}	6,12 ^{ns}	4,2	9,29
	Pendão	872,18 ^{**}	132,31 ^{**}	39,37	6,59
	Grãos	5,47 ^{ns}	16,69 ^{ns}	15,58	12,04
	Palha	307,53 [*]	28,07 ^{ns}	1,49	4,14
	Sabugo	50,55 [*]	4,15 ^{ns}	41,26	14,27
Cu	Folha	4,68 ^{ns}	7,27 ^{ns}	7,05	11,43
	Colmo	8,03 ^{**}	2,67 [*]	0,78	5,48
	Pendão	8,92 ^{**}	4,34 [*]	1,11	20,62
	Grãos	0,52 ^{**}	0,14 [*]	0,32	4,83
	Palha	3,87 ^{**}	0,15 ^{ns}	1,19	16,4
	Sabugo	9,98 [*]	1,08 ^{ns}	0,11	11,48

*Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns= não significativo.

Os níveis crescente de salinidade da água de irrigação, aumentaram os teores de sódio nas folhas, colmos, palhas, grãos e sabugos de milho aos 90 DAS (Figuras 1A, 1B, 1D, 1E, 1F), com exceção dos pendões (Figura 1C). A maioria das espécies que utiliza as rotas C₄ de fixação de carbono requerer íons sódio. Nestas plantas, o Na⁺

estaria envolvido na transferência de metabólitos entre os cloroplastos das células do mesófilo e da bainha vascular das plantas C_4 (Korndorfer, 2007). Estudos realizados por Azevedo Neto et al. (2004); Ferreira et al. (2005); Garcia et al. (2007a), em condições de casa de vegetação, verificaram um aumento da concentração de sódio na parte aérea de plantas de milho cultivado em ambientes salinos. Comportamentos semelhantes aos das folhas ocorreram nos colmos, nas palhas, nos grãos e nos sabugos, sendo que o acúmulo do íon sódio nestes órgãos pode causar desequilíbrio iônico com consequência para o metabolismo vegetal. Corroborando com este estudo, Azevedo Neto & Tabosa (2000a) observaram resultados semelhantes no colmo do milho em casa de vegetação. Diferente do que ocorreu nas outras partes da planta, os níveis crescentes de sais na água de irrigação não influenciaram os teores de Na nos pendões (Figura 1C). A eficiente capacidade de exclusão desse íon em plantas de metabolismo do tipo C_4 , foram observados em sorgo forrageiro (Trindade, 2002; Vieira, 2006).

Nas Figuras 2A, 2B, 2D e 2E observa-se que a salinidade da água de irrigação afetou, significativamente, os teores de Cl, nas folhas (Figura 2A), mostrando-se um comportamento linear ($P < 0,01$) crescente, enquanto nos colmos, nas palhas e nos grãos (Figuras 2B, 2D e 2E) revelou-se efeito polinomial em plantas de milho aos 90 DAS. A maioria das plantas, geralmente absorve Cl em níveis maiores do que os necessários ao seu metabolismo. Neste estudo a maior acúmulo do Cl nestes órgãos da planta pode ter sido devido à adubação com fonte de Cl (KCl) e a sua presença em níveis crescentes na água de irrigação. Ferreira et al. (2007a), analisando os teores foliares de plantas de milho obtiveram resultados semelhantes ao do presente estudo em condições de casa de vegetação. A retenção de Cl no colmo é uma característica observada em muitas glicófitas, o milho, o sorgo forrageiro e a soja (Azevedo Neto & Tabosa 2000a; Viera, 2006; Munns & Tester., 2008). O aumento de Cl nas palhas e nos grãos pode ser um mecanismo de tolerância a este íon. Resultados semelhantes em partes vegetativas das culturas do sorgo, milho e tomateiro em condições de casa de vegetação foram obtidos por Azevedo Neto & Tabosa (2000b); Ferreira et al. (2005); Blanco & Folegatti (2008).

No presente estudo o maior acúmulo de Na^+ ocorreu nas folhas seguido dos colmos, pendões, palhas, sabugos e grãos. Entretanto o Cl acumulou-se mais nas folhas seguido dos colmos, palhas, pendões, sabugos e grãos. O aumento nos teores de Na e Cl em folha de plantas de milho irrigadas com água em casa de vegetação salina foi observado por Ferreira et al., (2005); Ferreira et al. (2007a); Garcia et al.(2007a). Esses autores constataram que os teores de Cl foram maiores do que os de Na nas folhas, nos

colmos, nos pendões e nas palhas de milho. Altas concentrações de cloreto e baixas concentrações de Na nas folhas de cevada (*Hordeum vulgare*) foram constatados por Munss & Tester (2008). Esses autores afirmam que as folhas das plantas de cevada (*Hordeum vulgare*) são melhores na exclusão de Na do que Cl, chegando a crescer sobre exclusão de Cl na raiz. Vale salientar que o íon Cl é essencial ao processo de liberação de O₂ por cloroplastos isolados, no fotossistema II (Dechen & Nachtigall 2007b).

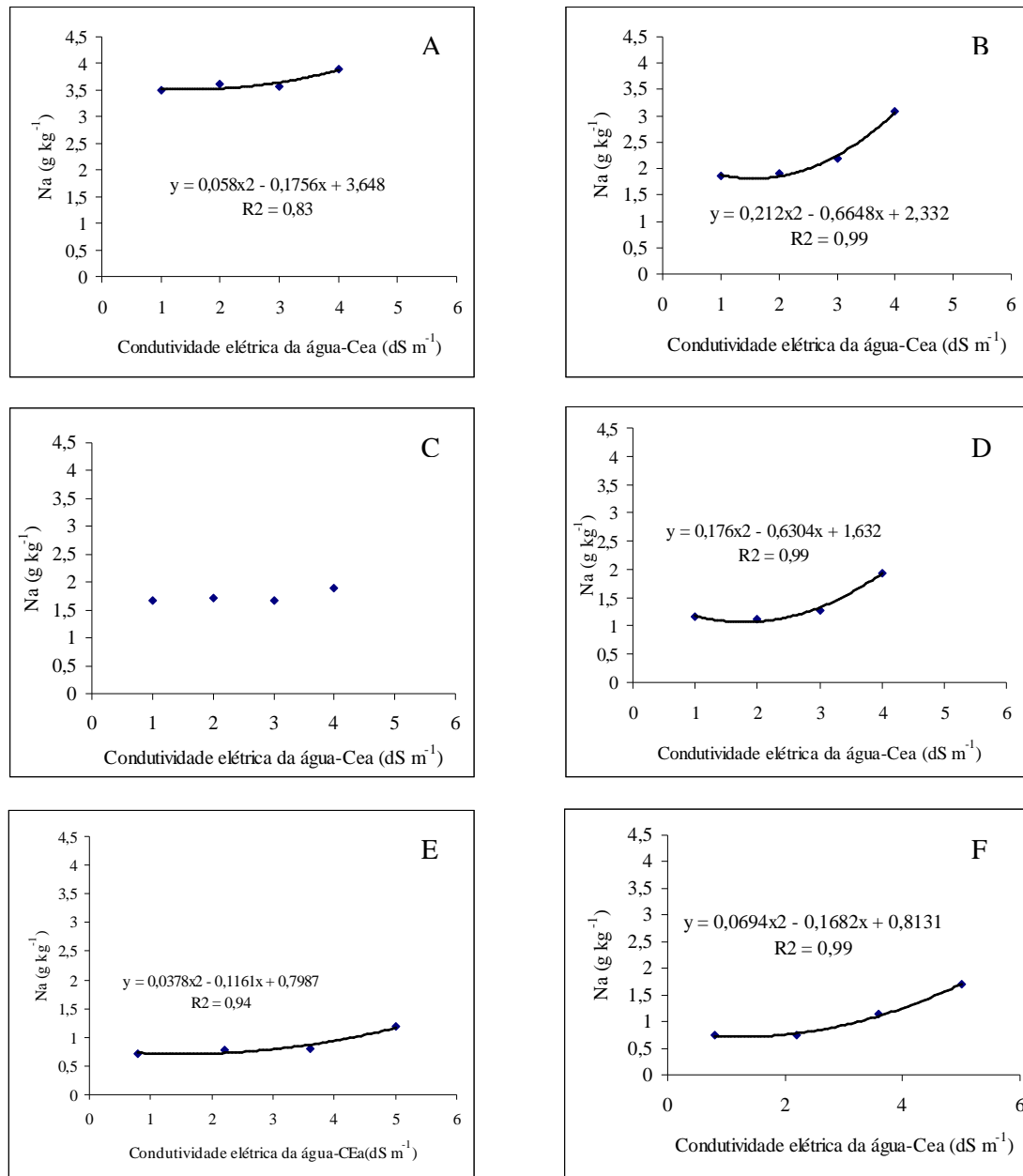


Figura 1. Teores de sódio nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

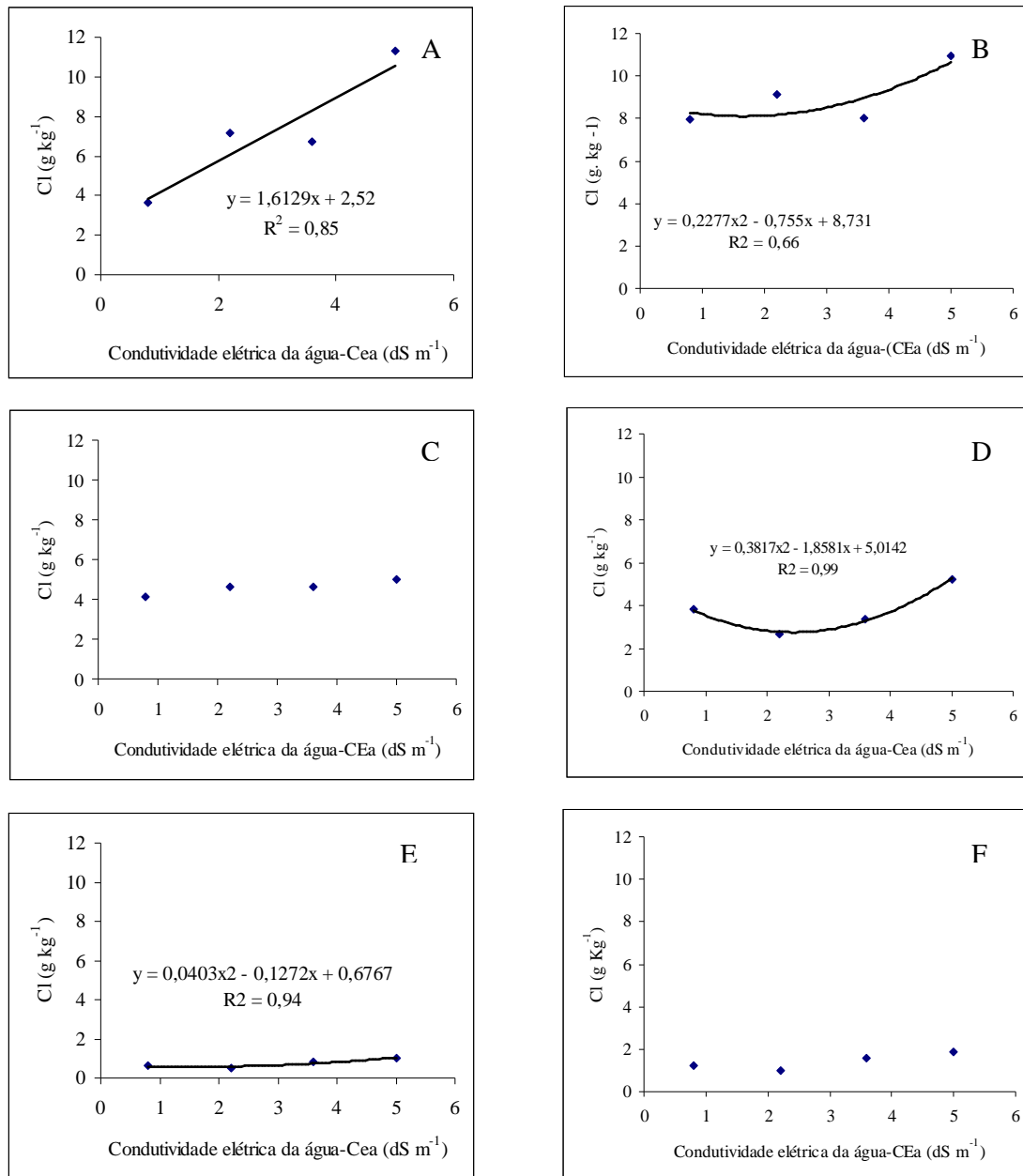


Figura 2. Teores de cloreto nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

A salinidade da água de irrigação, afetou significativamente os teores de cálcio nas folhas, nos colmos, nos pendões, nas palhas e nos sabugos (Figuras 3A, 3B, 3C, 3D e 3F), porém não afetou os teores deste íon nos grãos (Figura 3E). É importante ressaltar que água de irrigação continham sais, entre eles o CaCl. O aumento de cálcio na folha de milho foi devido ao suprimento desse elemento pelo solo, evidenciados pelos valores nas (Tabelas 2, 3 e 4) do Capítulo 1, e também pela adição deste nutriente ao solo pela água usada na irrigação. No entanto o sódio não conseguiu deslocar o cálcio da plasmalema das células radiculares, nem interferiu na integridade da membrana e possivelmente no efluxo citossólicos de solutos orgânicos e inorgânicos (Cramer et al., 1995). Estudos têm demonstrado que a salinidade diminui os teores de Ca na parte aérea das plantas de milho Azevedo Neto & Tabosa (2000a); Garcia et al. (2007a). O aumento de Na nas folhas ocasionou um efeito antagônico do Ca (Figura 3C) com K (Figura 4C). Estudos realizados em órgãos vegetativos e reprodutivos de plantas de milho cultivado em casa de vegetação mostraram resultados contrários a este estudo, ou seja, o aumento nos teores de Na na água de irrigação, causou um decréscimo do Ca (Azevedo Neto & Tabosa 2000a; Ferreira et al., 2005; Garcia et al., 2007a).

Os teores de K foram influenciados pelo incremento salino da água de irrigação nas folhas, nos colmos, nas palhas, nos grãos e nos sabugos (Figuras 4A, 4B, 4D, 4E e 4F), exceto no pendão (Figura 4C). Ao contrário do que foi verificado para o sódio e o cálcio, o teor de potássio nas folhas, nos grãos e nos sabugos do milho foram reduzidos com o aumento dos níveis salinos da água de irrigação. Pesquisas realizadas na parte aérea do milho sob estresse salino têm mostrado efeito competitivo entre o cálcio e potássio, assim como efeito antagônico do K com o Na (Ferreira et al., 2005; Garcia et al., 2007a). Outro aspecto negativo do antagonismo do sódio com o potássio é a diminuição deste nutriente nos grãos, já que o potássio proporciona uma melhor qualidade dos grãos. Corroborando com este estudo Karteji et al. (2004), também encontraram efeito similar em plantas de milho sob estresse salino.

Em estudo realizado com a cultura do milho, (Ferreira et al., 2005), afirmam que o aumento na concentração de sódio promoveu uma diminuição dos teores de potássio nos tecidos das plantas de milho. Os íons de K desempenham um importante papel na regulação do potencial osmótico das células vegetais, além de ativar muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese (Taiz & Zeiger, 2004).

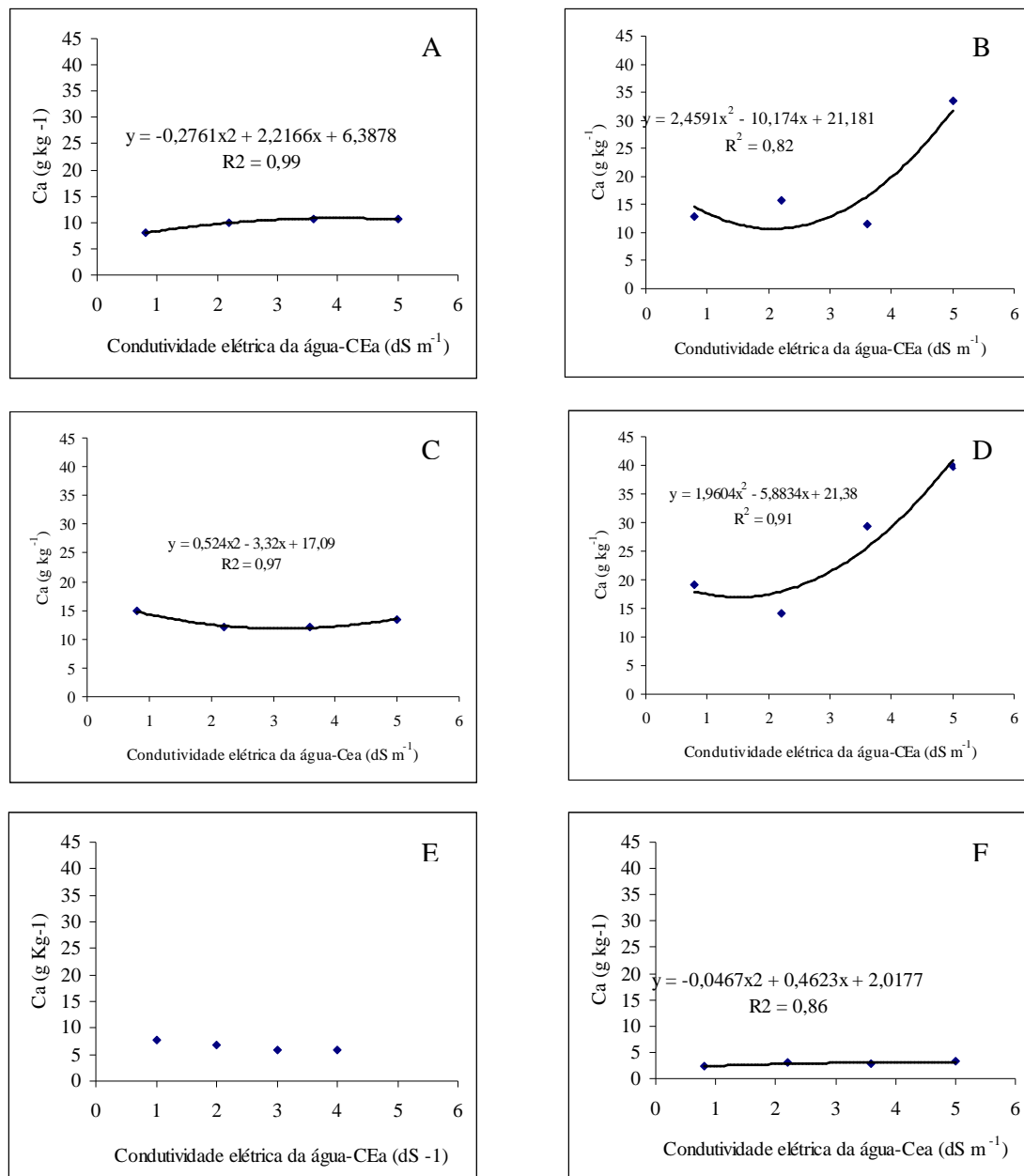


Figura 3. Teores de Cálcio nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

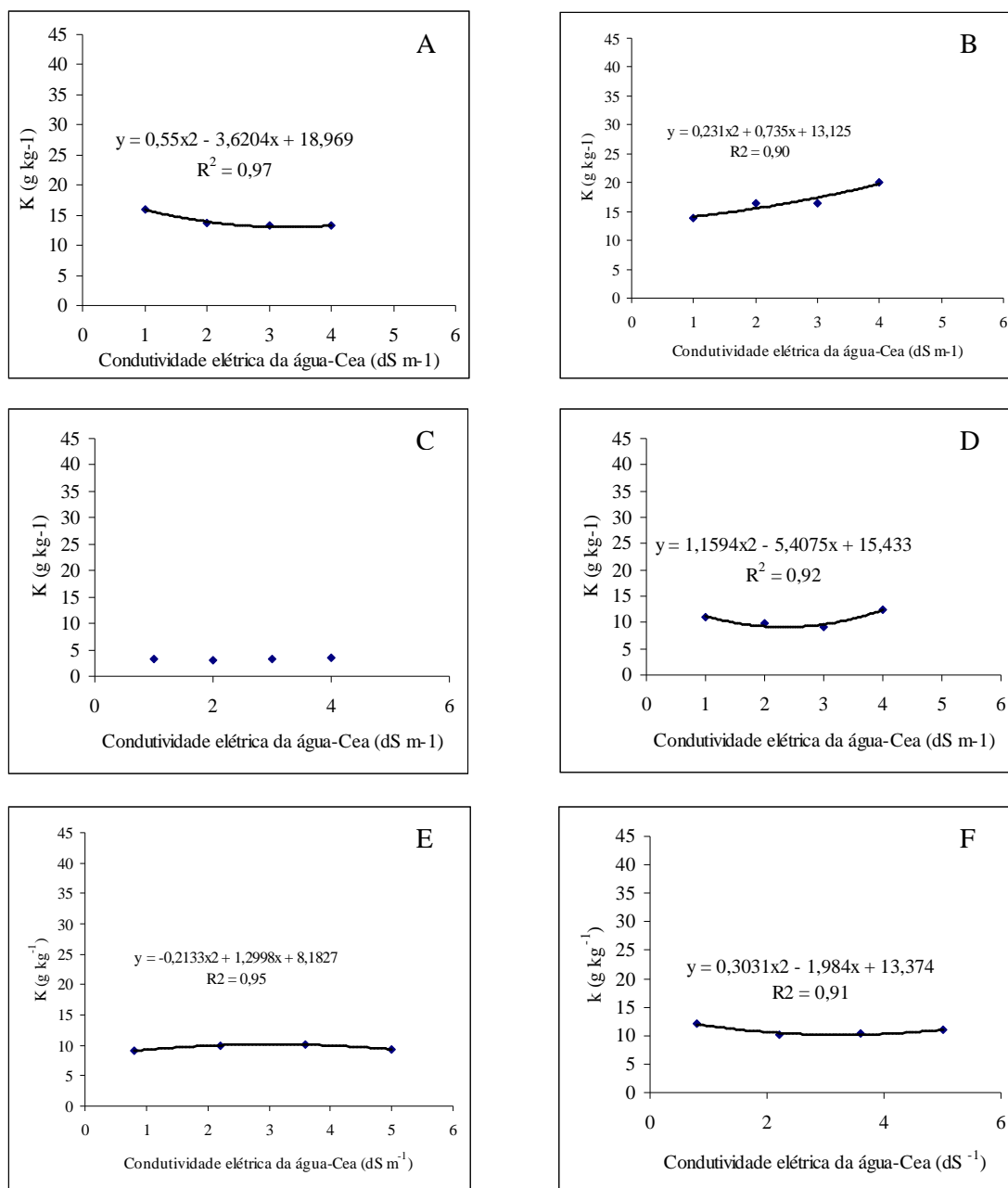


Figura 4. Teores de Potássio nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D) nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

Os teores de magnésio nos colmos, nas palhas, nos grãos e nos sabugos de plantas de milho foram influenciados pela salinidade da água de irrigação aos 90 DAS (Figuras 5B,5D,5E e 5F). Semelhantemente Azevedo Neto et al. (1995) verificaram concentrações constantes de magnésio na parte aérea. Já Garcia et al. (2007a) encontraram na parte aérea do milho resultados opostos, ou seja, a salinidade afetou apenas os teores foliares de milho. Contrariando este estudo Azevedo Neto & Tabosa (2000a) verificaram em plantas de milho, submetidas a diferentes níveis de NaCl em solução nutritiva, uma diminuição dos teores de magnésio no colmo. Vale salientar que a água de irrigação usada neste estudo continha fontes de magnésio (MgCl). O Mg atua como co-fator em quase todas as enzimas fosforilativas, formando uma ponte entre o pirofosfato do ATP (trifosfato de adenosina) e a molécula da enzima (Vitti & Cicarone, 2007). Apesar da importância do magnésio no metabolismo vegetal, ainda são escassos os estudos deste nutriente em ambientes salinos, principalmente em condições de campo, no entanto elevadas concentrações deste íon podem provocar desequilíbrio na nutrição mineral das plantas (Willadino & Camara, 2004).

De acordo com a análise de regressão polinomial, o aumento dos sais na água de irrigação aumentaram os teores de P nos colmos e nos pendões (Figuras 6B e 6C), diminuíram nos sabugos (Figura 6F) e não afetaram os teores de P nas folhas, nas palhas e nos grãos (Figuras 6A, 6D e 6E). Esse resultado diverge de outros estudos que mostraram aumento nos teores foliares de fósforo em plantas de sorgo forrageiro e feijão-de-corda irrigadas com águas salinas (Lacerda et al., 2006; Sousa et al., 2007), enquanto outros mostram reduções nos teores foliares de fósforo em plantas de milho, sob estresse salino Ferreira et al. (2007a). Nos colmos (Vieira, 2006) de sorgo forrageiro sob condições de campo e nos caules em feijão-de-corda em casa de vegetação (Sousa et al., 2007) encontraram resultados similares ao deste estudo. Entretanto, Azevedo Neto & Tabosa (2000a); Garcia et al. (2005) obtiveram resultados diferentes deste estudo com a cultura do milho em ambiente salino sob condições de casa de vegetação. A salinidade diminui a concentração de fósforo no tecido das plantas devido aos efeitos de força iônica que reduzem a atividade de fosfato na solução do solo e pela diminuição da solubilidade deste nutriente com o aumento dos níveis de NaCl no solo (Ferreira et al., 2007a). É importante salientar que a interação entre a salinidade e a nutrição mineral de fósforo em plantas é complexa e dependente da espécie e cultivar, da planta, da concentração de fósforo no solo, tipos de sais e nível de salinidade da água de irrigação (Grattan & Grieve, 1999).

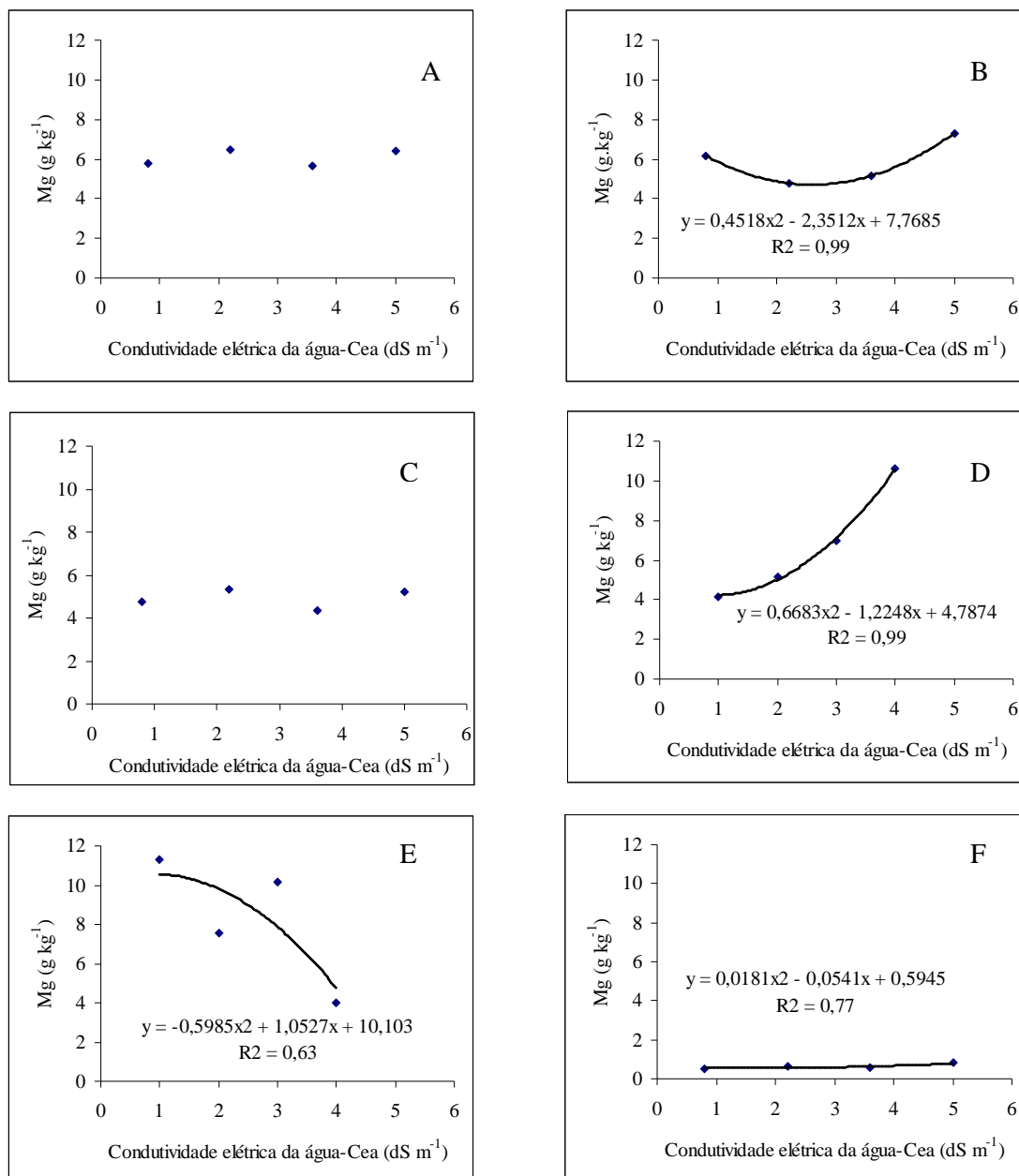


Figura 5. Teores de magnésio nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

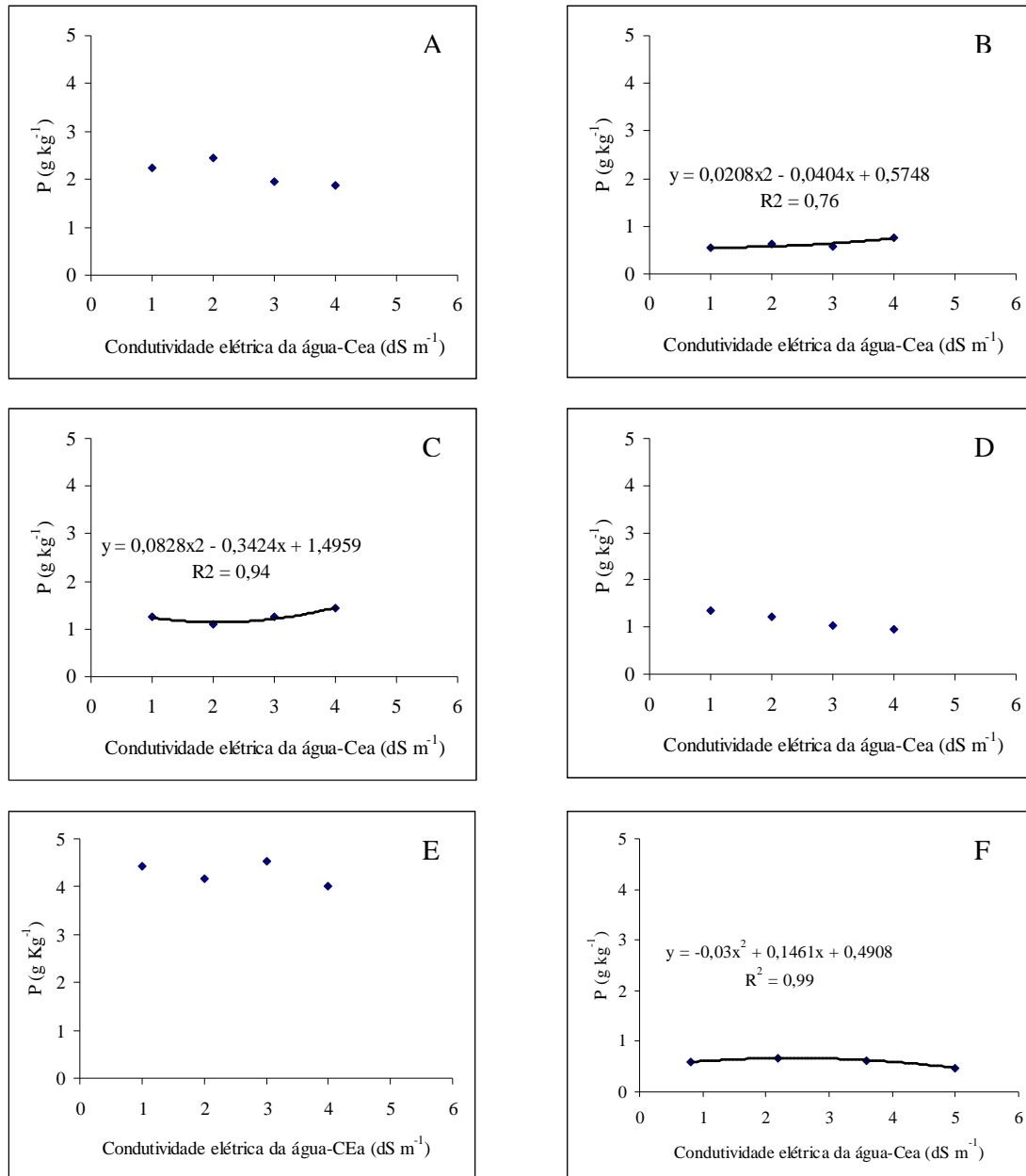


Figura 6. Teores de fósforo nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

A salinidade da água de irrigação aumentou os teores de ferro nos colmos, nos pendões, nas palhas, nos grãos e nos sabugos (Figuras 7B, 7C, 7D, 7E e 7F), sendo que os teores foliares encontrados no presente estudo (Figura 7A) podem ser considerados adequados para nutrição mineral do milho (Rajj & Cantarelle 2006). Esses resultados divergem dos encontrados por Grattan & Grieve (1999), onde a salinidade aumentou a concentração do íon Fe nas folhas. O acúmulo do ferro nestes órgãos pode ser devido a baixa mobilidade deste nutriente no floema. Por outro lado Sousa et al. (2007) em casa de vegetação e Neves, (2008) em condições de campo observam um aumento nos teores foliares de Fe com o aumento dos níveis salinos da água de irrigação em feijão-de-corda. Porém os teores de ferro aumentaram nos pendões, nas palhas, nos grãos e nos sabugos. Lembrando ainda que o ferro catalisa a biossíntese da clorofila, visto que faz parte de enzimas responsáveis pela sua formação (Dechen & Nachtigall 2007b).

Os teores de manganês foram influenciados pelo estresse salino aos 90 DAS, excetuando os pendões e as palhas (Figuras 7C e 7D), sendo que os teores foliares (Figura 7A) obtidos para esse elemento podem ser considerados como adequados para a cultura do milho (Bull, 1993). É importante destacar, que a salinidade propicia um aumento dos teores foliares de manganês, tendo em vista que a baixa concentração destes íons está associada ao aumento do pH passando para formas insolúveis (óxidos e hidróxidos) ocorrendo diminuição na sua solubilidade e disponibilidade às plantas (Marschner, 1995). Esse resultado diverge dos encontrados por Sousa et al. (2007) e Neves, (2008) em feijão-de-corda cultivado em casa de vegetação e no campo, respectivamente. Ao contrário do ferro a salinidade da água de irrigação não aumentou os teores de manganês nos pendões e nas palhas, mostrando um efeito competitivo com o ferro. Vale salientar que o manganês é essencial à síntese de clorofila e a sua função principal está relacionada com a ativação de enzimas, sendo responsável também pela fotólise da água (Dechen & Nachtigall 2007b).

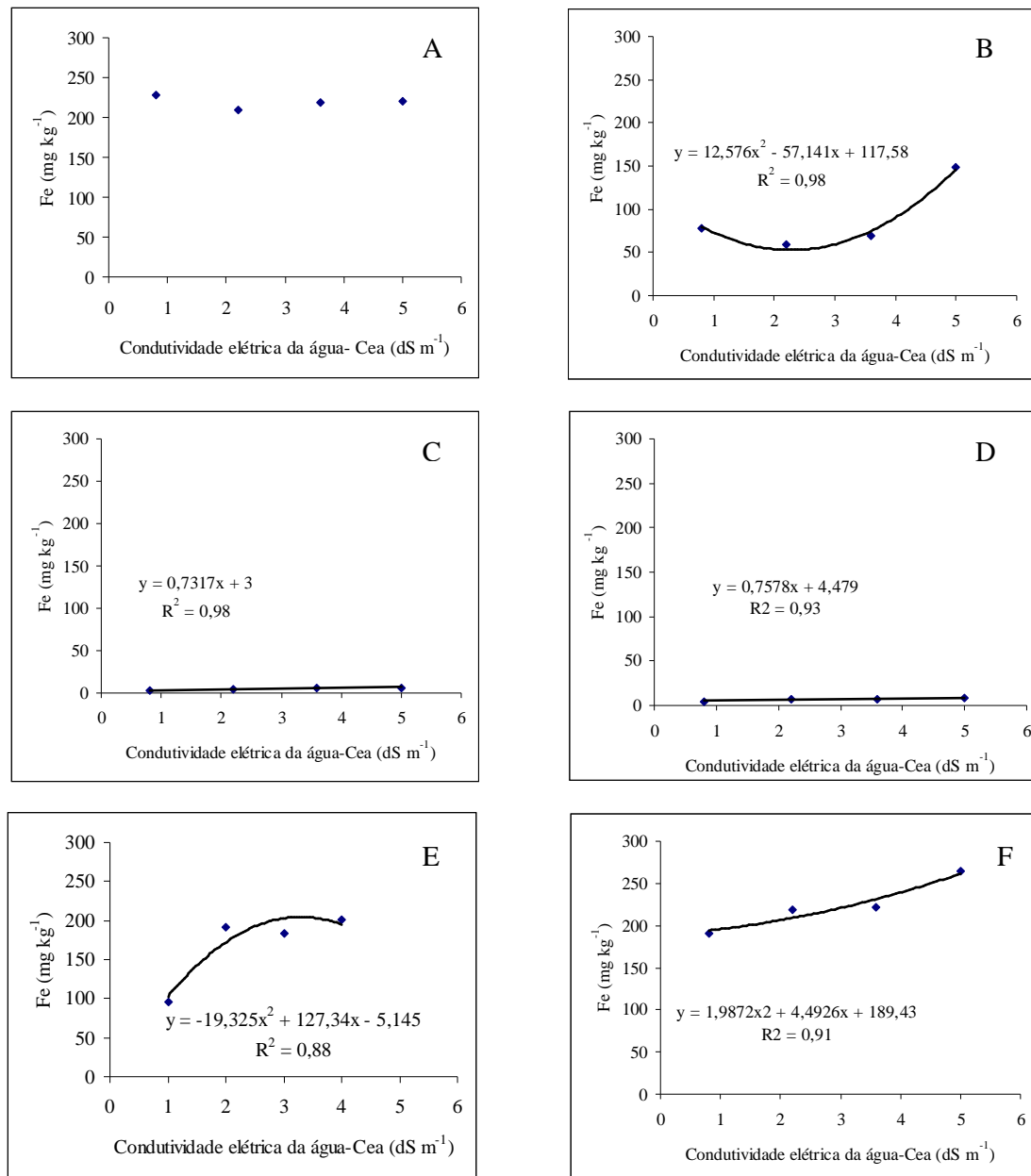


Figura 7. Teores de ferro nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugo (F) e de Mn nos grãos (D) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

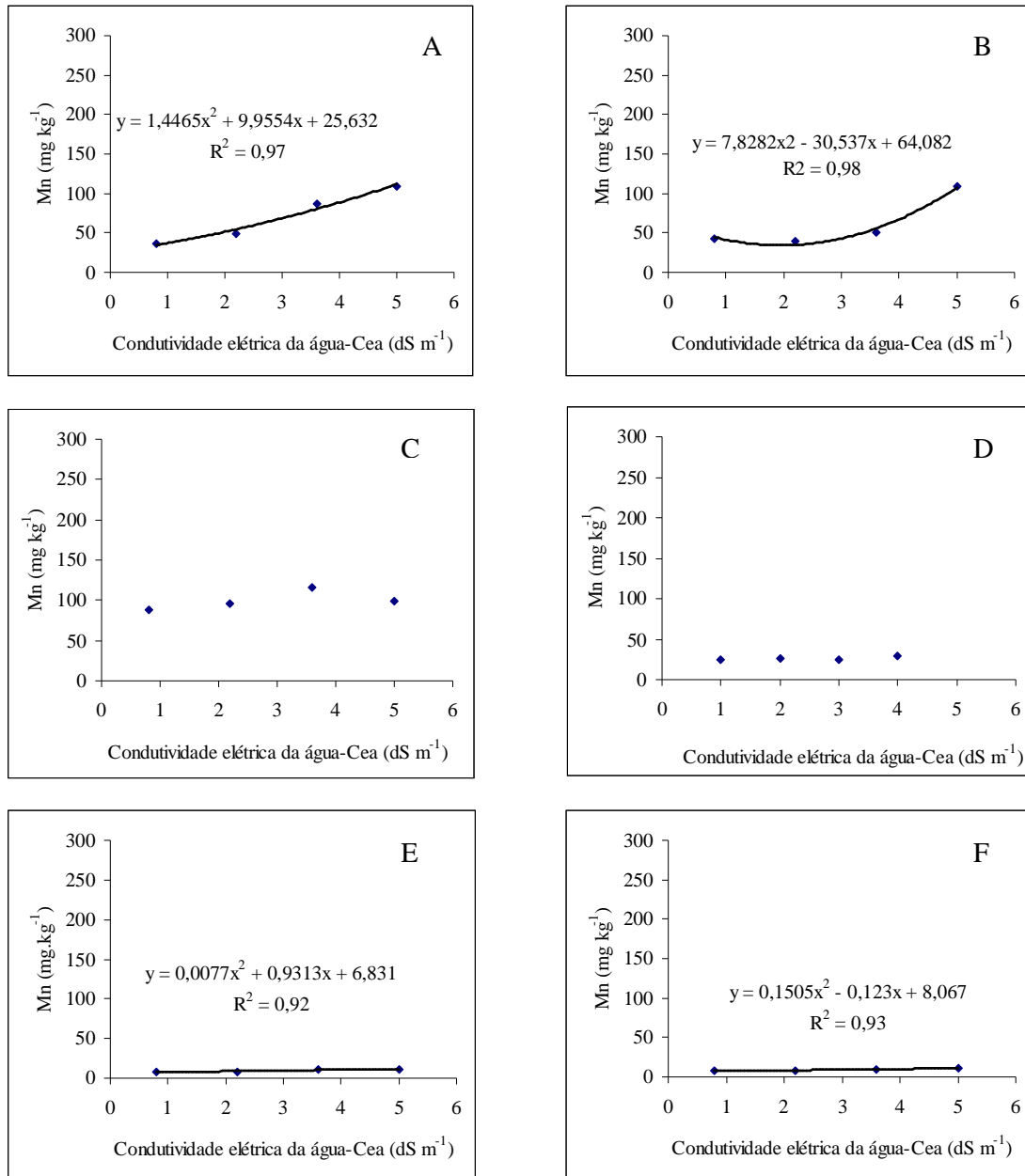


Figura 8. Teores de manganês nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

Os níveis crescente de sais utilizados na água de irrigação aumentaram os teores de cobre nos pendões, nas palhas, nos grãos e nos sabugos do milho em todos os tratamentos (Figuras 9B, 9C, 9D, 9E e 9F). Os teores foliares (Figura 9A) são considerados adequados para a nutrição mineral da cultura do milho Rajj & Cantarelle (1996). A mobilidade desse nutriente na planta, pode ter ocasionado uma translocação das folhas para os grãos. Para Dechen & Nachtigall (2007b) o cobre pode acumula-se em órgãos reprodutivos dependendo da espécie da planta, o que possivelmente ocorreu neste estudo. No entanto, o estresse salino ocasionado por irrigações com água salina pode causar variações nos teores de cobre, podendo-se encontrar um aumento ou diminuição nos teores desse íon (Grattan & Grieve, 1999). Resultados semelhantes a este estudo em casa de vegetação na cultura do feijão-de-corda foram observados por Sousa et al. (2007).

Os teores foliares de Zn (Figura 10A) são considerado adequado para a cultura do milho (Rajj & Cantarelle, 1996). Esses autores sugerem que o teor adequado para esta cultura é em torno de 20 a 100 mg kg⁻¹, sendo que as plantas passam a sofrer deficiência quando os teores decrescem abaixo de 15 mg kg⁻¹. No caso do presente estudo, não foram observados sintomas de deficiência desse nutriente. Com o aumento dos níveis salinos da água de irrigação ocorreu um aumento dos teores de zinco nas folhas, nos colmos e nos sabugos (Figuras 10B 10D, 10F), enquanto nos pendões (Figura 10C) os teores de Zn começaram a decrescer a partir da Cea de 3,6 dS m⁻¹. Estudos realizados por Neves, (2008) no campo com feijão-de-corda em ambientes salinos contradiz aos encontrados neste estudo.

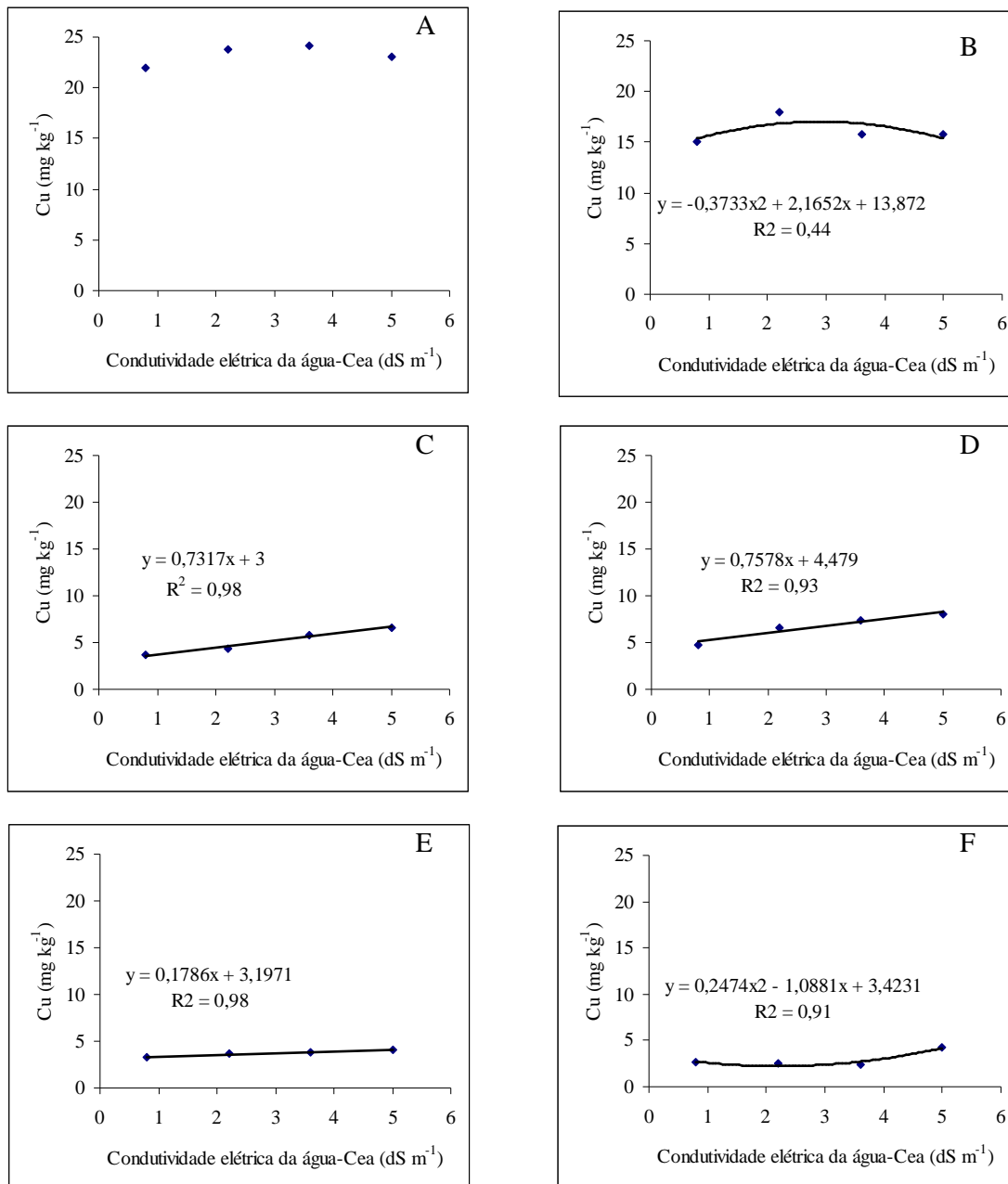


Figura 9. Teores de cobre nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

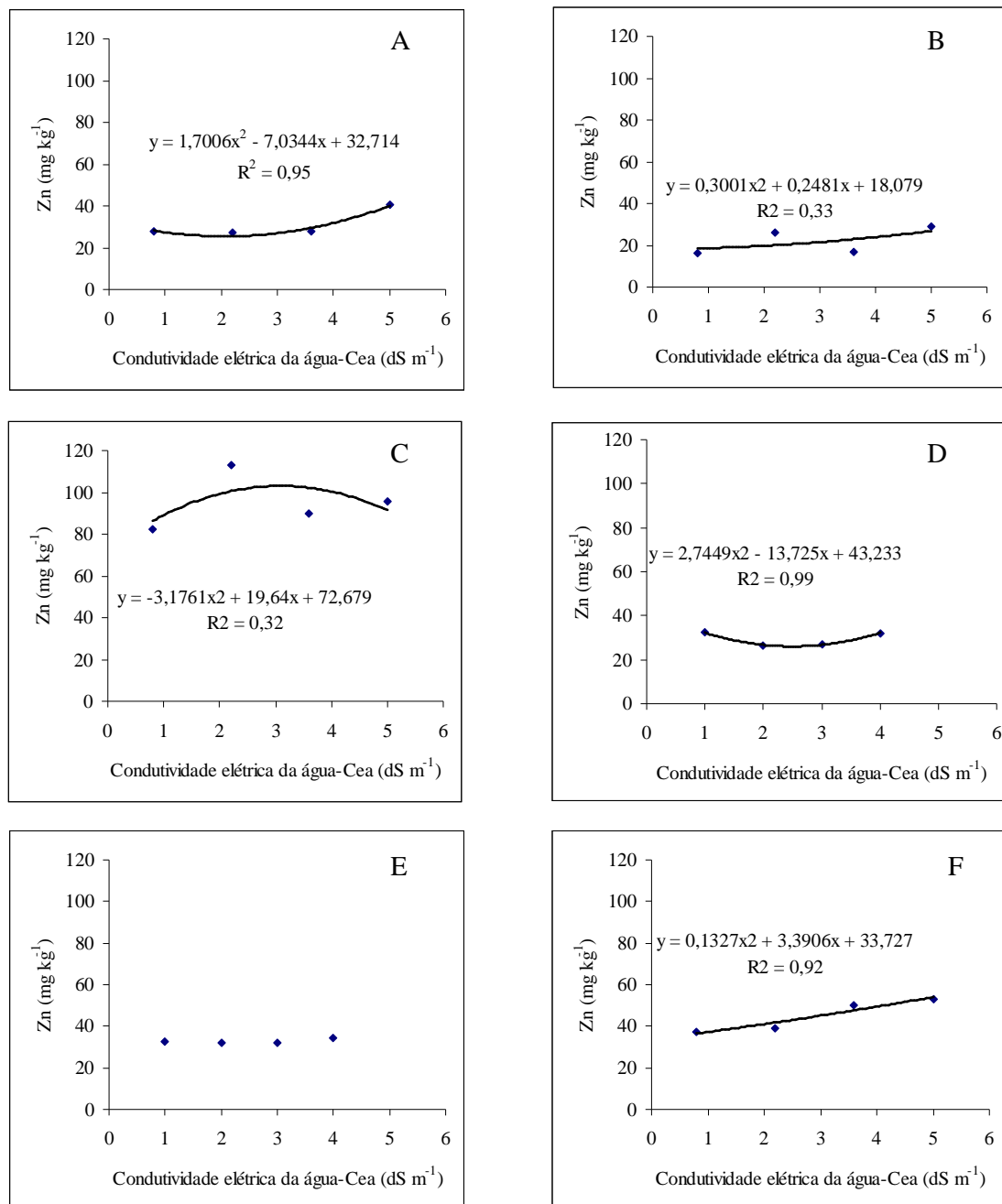


Figura 10. Teores de zinco nas folhas (A), nos colmos (B), no pendão (C), na palha (D), nos grãos (E) e nos sabugos (F) de plantas de milho aos 90 DAP, em função dos níveis de salinidade da água de irrigação.

3.2 Extração de nutrientes e de sódio do solo pelas plantas de milho

O aumento da concentração salina da água de irrigação influenciou nos conteúdos de nutrientes minerais na planta de milho aos 90 DAS, exceto os de Zn e Cu (Tabela 3).

Tabela 3. Valores dos quadrados médios e da significância estatística do conteúdo de nutrientes em plantas de milho irrigadas com quatro níveis de salinidade (0,8; 2,2; 3,6 e 5,0 dS m⁻¹).

Elementos	Quadrados Médios			
	Tratamentos	Blocos	Resíduos	CV
Na ⁺	32,15*	9,55	3,77	9,72
K ⁺	724,12*	191,78	70,39	5,95
Ca ²⁺	192,18*	32,61	39,26	20,42
Mg ²⁺	1121,41**	33,34	48,93	19,11
P	72,19*	28,93	16,94	16,71
Cl	415,58**	101,31	51,66	13,75
Fe	139320,6*	63014,57	31971,1	11,08
Mn	50204,35**	1626,43	3604,2	19,1
Cu	370,78 ^{ns}	178	294,2	14,81
Zn	929,34 ^{ns}	2527,97	1156,05	9,61

*,** Significativo pelo teste F a 5 e 1% respectivamente; ^{ns} = não significativa

Em condições de baixa salinidade da água de irrigação verifica-se que os nutrientes analisados foram extraídos na seguinte ordem decrescente: K > Mg > Cl > Ca > P > Na > Fe > Zn > Mn > Cu (Tabelas 4 e 5). Hiroce et al. (1989) encontraram resultados opostos a esta seqüência de nutrientes extraídos pela cultura do milho irrigada com água de baixa salinidade. As quantidades de nutrientes que são extraídas pela cultura do milho dependem da cultivar, das condições de clima, da fertilidade do solo, das adubações realizadas e dos tratos culturais Fornasieri Filho (2007). Observa-se também nas (Tabelas 4 e 5) que o aumento da salinidade da água de irrigação provocou alterações nas quantidades extraídas e na ordem de extração. No maior nível de salinidade (5,0 dS m⁻¹), os nutrientes foram extraídos na seguinte ordem decrescente: K > Cl > Ca > Na > P > Mg > Fe > Mn > Zn > Cu.

Comparando-se os tratamentos, verificou-se que o aumento da concentração de sais na água de irrigação reduziu os totais extraídos de P, Ca, K e Mg (Tabela 4). A diminuição dos totais extraídos desses nutrientes, em ambientes salinos, está de acordo com Costa et al. (2008); Silva et al. (2008) que em condições de casa de vegetação e Gurgel et al. (2008) e Neves (2008) a campo na cultura do amaranto, meloeiro e feijão-

de-corda, respectivamente, sendo atribuída, principalmente, à redução no crescimento das plantas. Grattan & Greive (1999) e Lacerda, (2005) sugerem que as quantidades de adubos aplicadas em cultivos irrigados com águas não salinas devem ser menores do que as aplicadas em plantas irrigadas com águas salinas. Por outro lado, as plantas apresentaram aumentos nos totais extraídos de Na, Cl, Fe e Mn (Tabelas 4 e 5). Os aumentos de Na e Cl se devem à presença dos mesmos na água de irrigação. Aumento no conteúdos de Na e Cl também foram observados por Neves et al. (2004) e por Garcia et al. (2007a) ao trabalharem com mudas de umbuzeiro e plantas de milho em condições de casa de vegetação respectivamente. Entre os demais micronutrientes a salinidade da água de irrigação aumentou os conteúdos de Fe e Mn e não influenciou os de Cu e Zn. Este resultado contradiz com os de Neves et al. (2004) e Neves, (2008) para os teores de Fe e Mn em mudas de umbuzeiro e feijão-de-corda respectivamente.

Tabela 4. Totais extraídos, em kg ha⁻¹, de Cl, P, Na, Ca, K e Mg em plantas de milho irrigadas com água salina

CEa (dS m ⁻¹)	Na	Cl	K	Ca	Mg	P
0,8	17,7 ± 0,6	40,0 ± 1,6	149,4 ± 6,2	38,1 ± 3,5	53,5 ± 4,7	28,5 ± 2,0
2,2	19,0 ± 0,8	53,5 ± 1,9	151,3 ± 5,1	33,0 ± 3,4	35,4 ± 2,7	26,3 ± 2,1
3,6	19,7 ± 1,0	53,4 ± 1,9	137,3 ± 3,4	27,5 ± 1,7	40,3 ± 2,4	24,1 ± 1,4
5,0	23,6 ± 1,5	62,1 ± 6,4	125,4 ± 2,1	24,0 ± 1,7	17,3 ± 1,1	19,6 ± 1,3

¹valores médios ± erro padrão da média

Tabela 5. Totais extraídos, em mg ha⁻¹ de Fe, Cu, Zn e Mn em plantas de milho irrigadas com água salina

CEa (dS m ⁻¹)	Fe	Mn	Zn	Cu
0,8	1406,1 ± 58,7	244,0 ± 29,2	351,4 ± 17,6	112,7 ± 8,2
2,2	1630,0 ± 76,2	248,7 ± 21,3	368,3 ± 20,1	124,1 ± 9,3
3,6	1601,7 ± 69,5	305,7 ± 16,1	336,2 ± 13,6	121,2 ± 3,8
5,0	1813,9 ± 132,2	459,5 ± 30,3	359,4 ± 17,1	105,0 ± 6,6

¹valores médios ± erro padrão da média

3.3 Distribuição de Nutrientes

Na distribuição dos elementos minerais na planta aos 90 dias após a semeadura, apenas o K, o Cu e o Zn não foram afetados pelos tratamentos (Tabela 6), sendo esse efeito dependente da parte da planta analisada (folha, colmo, pendão, palha, sabugo e os grãos). Os nutrientes analisados se acumularam preferencialmente nas partes vegetativas ou reprodutivas da planta de milho sobre estresse salino, aos 90 dias após a semeadura.

Tabela 6. Valores dos quadrados médios e da significância estatística para a distribuição de elementos minerais em diferentes partes de plantas de milho aos 90 DAS irrigadas com água com diferentes níveis salinos.

Elementos	Tratamentos	Quadrados médios				
		Parte da Planta	Trat.* parte da planta	Bloco	Resíduo	CV
Na ⁺	480,41**	15363,45**	232,98**	101,13 ^{ns}	62,08	41,90
K ⁺	3,38 ^{ns}	7295,98**	133,51**	45,12 ^{ns}	44,65	28,41
Ca ²⁺	32,03**	1902,25**	39,70**	5,43 ^{ns}	6,31	49,16
Mg ²⁺	186,90**	3192,22**	186,20**	5,55 ^{ns}	6,81	42,8
P	12,03*	733,18**	6,12*	4,81 ^{ns}	3,06	42,62
Cl ⁻	49,69*	2126,99**	13,05*	25,71 ^{ns}	11,45	39,61
Fe	23220,09**	733993,2**	41211,29**	10502,43 ^{ns}	3012,93	20,41
Mn	8367,39**	99056,27**	7101,53**	271,07 ^{ns}	394,41	37,92
Cu	61,79 ^{ns}	7110,91**	75,02**	29,66 ^{ns}	38,56	32,19
Zn	163,92 ^{ns}	29752,07**	611,08**	397,44 ^{ns}	192,29	23,47

* Significativo pelo teste F a 5%; ** Significativo pelo teste F a 1%; ns= não significativo

Entre as diferentes partes analisadas (folha, colmo, pendão, palha, sabugo e os grãos), os minerais Na e K (Tabela 7), Cl, Mn e Cu (Tabela 8) permaneceram acumuladas preferencialmente nas partes vegetativas, apresentando valores variando entre 4 e 60%. Com relação aos íons potencialmente tóxicos (Na e Cl), Neves (2008) encontrou tendências semelhantes em condições de campos em feijão-de-corda. Já com o íon (K) Trindade et al. (2006); Costa et al. (2008), observaram dados similares em sorgo forrageiro e amaranto respectivamente, sendo ambos os estudos em condições de casa de vegetação. Vale salientar que com essa distribuição dos nutrientes para as partes vegetativas, os restos culturas da cultura do milho torna-se importante tanto como cobertura do solo como na ciclagem de nutrientes.

Com relação aos outros nutrientes Ca, Mg e P distribuíram-se para os órgãos reprodutivos (palha, pendão, sabugo e grãos), sendo exportados em maiores proporções

pela cultura do milho aos 90 dias após a semeadura (DAS) (Tabela 7). Tendências semelhantes ao do P em condições de campo, foi observado por Neves (2008) em feijão-de-corda sobre estresse salino.

Os nutrientes Fe e Zn (Tabela 8) também se distribuíram em maiores proporções para os órgãos reprodutivos (palha, pendão, sabugo e grãos). Já os nutrientes Cl, Mn e o Cu ficaram retidos nos órgãos vegetativos.

Tabela 7. Distribuição (kg há⁻¹) de Na⁺, K, Ca, Mg e P nas partes vegetativas e reprodutivas de plantas de milho irrigadas com água salina.

Parte da planta	Elementos minerais				
	Na	K	Ca	Mg	P
Folha	4,94c(4,38)	19,56d(13,87)	0,02c(0,06)	0,75a(2,05)	2,93b(11,91)
Colmo	68,49a(60,73)	51,73a(36,67)	3,01b(9,82)	1,82a(4,97)	1,94bc(7,88)
Palha	0,28c(0,24)	0,53e(0,38)	0,76bc(2,47)	1,65a(4,51)	2,91b(11,82)
Pendão	35,14b(31,16)	27,23c(19,30)	0,01c(0,03)	0,08a(2,18)	0,2d(0,81)
Sabugo	0,75c(0,66)	5,88e(4,17)	1,98bc(6,46)	0,43a(1,17)	0,4cd(1,62)
Grãos	3,17c(3,57)	36,14b(25,62)	24,87a(81,14)	31,85b(87,06)	16,22a(65,93)

Tabela 8. Distribuição (g há⁻¹) de Cl⁻, Fe, Mn, Cu e Zn nas partes vegetativas e reprodutivas de plantas de milho irrigadas com água salina.

Parte da planta	Elementos minerais				
	Cl	Fe	Mn	Cu	Zn
Folha	9,16b(17,88)	300,5b(18,63)	1,23d(0,39)	31,65b(27,34)	40,77c(11,50)
Colmo	28a(54,67)	272,91bc(16,92)	187,39a(59,64)	50,16a(43,34)	67,9b(19,15)
Palha	9,59b(18,72)	224,95c(13,94)	67,47b(21,47)	17,24c(14,89)	75,56b(21,31)
Pendão	0,76c(1,48)	47,24e(2,92)	16,5d(5,25)	0,85d(0,73)	15,58d(4,39)
Sabugo	0,98c(1,91)	154,4d(9,57)	6,48d(2,06)	2,04d(1,76)	31,49c(8,88)
Grãos	2,72c(5,31)	612,86a(37,99)	35,12c(11,17)	13,79c(11,91)	123,11a(34,73)

4. CONCLUSÕES

Aos 90 dias após a semeadura os teores de elementos minerais foram afetados pela salinidade da água de irrigação;

O aumento da salinidade da água de irrigação, aos 90 dias após a semeadura inibiu a absorção de potássio nas folhas, de magnésio e fósforo nos grãos;

A extração dos nutrientes e sódio pelas plantas irrigadas com água de baixa salinidade obedeceu à ordem: $K > Mg > Cl > Ca > P > Na > Fe > Zn > Mn > Cu$, e com águas salinas: $K > Cl > Ca > Na > P > Mg > Fe > Mn > Zn > Cu$;

A salinidade provocou redução da extração dos elementos minerais: K, Ca, Mg e P;

O estresse salino proporcionou a seguinte distribuição de elementos minerais: Na e K permaneceram nas partes vegetativas, Ca, Mg e P foram exportados em maiores proporções para os órgãos reprodutivos, Cl, Mn e Cu permaneceram preferencialmente nas partes vegetativas, Fe e Zn foram exportados em maiores proporções pelos grãos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, NETTO A.O.; GOMES, C.C.S.; LINS; C.C.V.; BARROS, A.C.; CAMPECHE; L.F.S.M.; BLANCO, F.F. Características químicas e salinidade dos solos do Perímetro Irrigado Califórnia, SE, Brasil. *Rev. Ci. Rural*, 37:1640-1645, 2007.
- ADEKALU, K.O.; OKUNADE, D.A . Effect of irrigation amount and tillage system on yield and water use efficiency of cowpea. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 37;225-237, 2006.
- AQUINO, D.N.; ANDRADE, E.M.; LOPES, F.B.; TEIXEIRA, A.S.; CRISOSTOMO, L.A. Impacto do manejo da irrigação sobre os recursos solo e água. *Rev. Ci. Agron*, 39:225-232, 2008
- AQUINO, A.J.S.; LACERDA, C.F.; BEZERRA, M.A. GOMES FILHO. E.; COSTA, R.N.T. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:961-971, 2007.

- ANDRADE JÚNIOR, A.S. Viabilidade da irrigação, sob risco climático e econômico, nas microrregiões de Teresina e litoral Piauiense. 2000. Tese (Doutorado)–Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- ANNANDALE, J.G.; JOVANOVIC, N.Z.; BENADÉ, N. & TANNER, P.D. Modelling the long-term effect of irrigation with gypsiferous water on soil and water resources. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 76: 109-119, 1999
- ASSIS JÚNIOR, J.O.; FEITOSA, 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 me função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. *Eng. Agríc.* 27:702-713, 2007.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W.A qualidade da água na agricultura. Campina Grande, UFPB, 1999. 153p.
- AZEVEDO NETO, A.D. Estudo do crescimento e distribuição de nutrientes em plantas de milho submetidas ao estresse salino, 1997. 134f. Dissertação (Mestrado em Botânica) Universidade Federal Rural do Pernambuco, Recife,.
- AZEVEDO NETO, A.D.; BARRETO, L.P.; BEZERRA NETO, E. Efeito da salinidade sobre os teores de macronutrientes em duas cultivares de sorgo cultivadas em solução nutritiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. Resumos expandidos... Viçosa: SBCS, 1995. v. 3, p.1345-1347.
- AZEVEDO NETO, A.D; TABOSA, J.N.; ENEAS-FILHO, J.; LACERDA, C.F.; SILVA, J.V.; COSTA, P.H.C.; GOMES FILHO, E. Effects salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. *Brasilian Journal plant Physiology*, 16:31-38, 2004
- AZEVEDO NETO, A.D. & TABOSA J.N.. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. *R. Bras. Agri. Ambient.* 4:165-171, 2000a

- AZEVEDO NETO, A.D. & TABOSA J.N.. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II Análise de crescimento. R. Bras. Agri. Ambient. 4:159-164, 2000b
- BAGHALIAN, K.; HAGHIRY, A.; NAGHAVI, M.R.; MOHAMMADI, A. Effect of saline irrigation water on agronomical and phytochemical characters of chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Scientia Horticulturae*, 116:437-441, 2008.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.A. Manual de irrigação. 7.ed. Viçosa:UFV, 2005. 611p.
- BERNSTEIN, N.; SILK, W.K.; LÄUCHLI, A. Growth and development of sorghum leaves under conditions of NaCl stress. *Planta*. 191:433-439, 1993.
- BLANCO, F.F; FOLEGATTI, V. Doses de N e K no tomateiro sob estresse salino: II. Crescimento e partição de matéria seca. R. Bras. Agri. Ambient. 12:34-40, 2008.
- BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V.; GHEYI, H.R.; FERNADES, P.D. Emergence and growth of corn and soybean under saline stress. *Sci. Agric*. 64:451-459, 2007.
- BOHN, H.L.; McNEAL, B.L. ; O' CONNOR, G.A. Soil Chemistry. New York. P.329. 1979. CORDEIRO, G. Salinidade em áreas irrigadas. Petrolina: empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária (EMBRAPA SEMI-ÁRIDO), 2002 (<http://embrapa.br>).
- BOURSIER, P.; LYNCH, J.; LÄUCHLI, A.; EPSTEIN, E. Chloride partitioning in leaves of salt-stressed sorghum, maize, wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology*. 14:463-473, 1987.
- BOWER, H. Irrigation and global water outlook. *Agric. Water Management*. 25:221-231, 1994.

- BULL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BULL., L.T.; CANTARELLA, H. (Ed).
Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1993.
p. 63-131.
- CARDOSO, J.M.; MELOF. B.; LIMA, M.G. Ecofisiologia e manejo de plantio. In:
FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. Feijão caupi: avanços
tecnológicos. Brasília. EMBRAPA, 2005. Cap. 5, p. 213 – 225.
- CAVALCANTE, L.F. Sais e seus problemas nos solos irrigados. Areia: Centro de
Ciências agrárias, Universidade Federal da Paraíba. 2000. 72p.
- CAVALCANTE, L.F.; CAVALCANTE, I.H.L. Uso da água salina na agricultura. In:
CAVALCANTE, L.F. & LIMA, E.M.. Algumas frutíferas tropicais e a salinidade.
1 ed. Jaboticabal: Funep, 2006. Cap. 1, p. 1-19.
- CAVALCANTE, L.F.; CAVALCANTE, I.H.L.; SANTOS, J.B.; LIMA, E.M. Solo e o
meio ambiente nas áreas irrigadas.. Areia: UFPB, 2001. 40p (Boletim Técnico
Científico, 8).
- CHAUHAN, C.P.S.; SINGH, R.B.; GUPTA, S.K. Supplemental irrigation of wheat
with saline water. Agric. Walter Management.. 95:253-258, 2008.
- CHEESEMAN, J.M. Mechanisms of salinity tolerance in plants. Plant Physiology,
Rockville. 87:547-550, 1988.
- COSTA, P.H.A.; SILVA, J.V.; BEZERRA, M.A.; ENÉAS FILHO, L.; PRISCO, J.T.;
GOMES FILHO, E. Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em
cultivares de vigna unguiculata submetidos á salinidade. Revista Brasil. Bot. 26:
289 -297, 2003.
- COSTA, D.M.A.; MELO, N.S.; FERREIRA, S.R.; DANTAS, J.A. Conteúdo de N, P,
K, Ca²⁺ e Mg²⁺ no amaranto (*Amaranthus spp*) sob estresse salino e cobertura
morta. Rev.Ci. Agron. 39:209-216, 2008.

- CRAMER, G.R.; EPSTEIN, E.; LAUCHLI, A. Effects of sodium, potassium and calcium on salt stressed brley. II. – Elemental analysis. *Physiol Plant*. 21:197 -202, 1991.
- DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores. In: FERNANDES, M.S. *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 1, p. 1-5a.
- DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S. *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 13, p. 328-352b.
- DEHGANISANIJ, H.; AGASSI, M.; YAMAMOTO, T.; INOUE, M.; ENEJI, A.E. Improvement os saline water use under drip irrigation system. *Agric. Walter Management*. 85:233-242, 2006.
- DIAS, N.S.; GHEYI, H.R.; DUARTE, S.N. *Prevenção, manejo e recuperação dos solos afetados por sais*. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Engenharia Rural, 2003.118p. Série Didática, 13.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. *Efeito da água no rendimento das culturas*. Tradução: GHEYI, H.R. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 306 p. (Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem, 33)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FAGERA, N.K. *Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas*. Brasília: EMBRAPA, 1989, 425 p (EMBRAPA/CNPAF. Documento 18).

- FAGERA, N.K.; GHEYI, H.R. Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares. In: GHEYI, H.R., QUEIROZ, J.E., MEDEIROS, J.F. (eds.) Simpósio “manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada”. Campina Grande, UFPB, p. 363-383. 1997.
- FAO. 2000. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. 2000. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/intro.htm>. Acesso em 18 de janeiro de 2008.
- FERNANDES, V.L.B. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 1993. 248 p.
- FERREIRA, P.A.; GARCIA, G.O.; MIRANDA, G.V.; OLIVEIRA, F.G.; SANTOS, D. B. Tolerância da variedade de milho UFVM 100 á salinidade avaliada por três métodos. Rev. Irriga. 12:532-544, 2007b.
- FERREIRA, P.A.; GARCIA, G.O.; NEVES, J.C.L.; MIRANDA, G.V.; SANTOS, D.B. Produção relativa do milho teores folheares de nitrogênio, fósforo, enxofre e cloro em função da salinidade do solo, Rev.. Ci. Agron. 38:7-16, 2007a
- FERREIRA, P.A.; GARCIA, G.O.; SANTOS, D.B.; OLIVEIRA, F.G.; NEVES, C.L. Estresse salino em plantas de milho: II - Macronutrientes aniônicos e suas relações com o sódio. R. Bras. Agri. Ambient. 9:11-15, 2005.
- FORNASIERI FILHO, D. Manual da cultura do milho. 1 ed. Jaboticabal: Funep, 2007. 576p.
- FOUGÈRE, F.; L.; RUDULIER, D.; STREETER, J.G. Effects of salt stress on amino acid, organic acid, and carbohydrate composition of roots, bacteroids, and cytosol of alfafa (*Medicago sativa* L.). Plant Physiology. 96:1228-1236, 1991.

- FREITAS, E.V.S.; FERNANDES, F.G.; CAMPOS, M.C.C.; FREIRE, M.B.G.S. Alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina. *Rev. Biol. e Ci. Terra*, 7:21-28, 2007.
- FREIRE, M.B.G.S; FREIRE, F.J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: NOVAIS, F.R.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. 1. ed. Minas Gerais, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, Cap.15, p. 929-954.
- FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; BARRETO, P.D.; ; SANTOS, A.A. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A. de A.; RIBEIRO, V.Q. Feijão caupi avanços tecnológicos. Brasília: EMBRAPA, 2005. Cap. 1, p 29-75.
- GAINES, T.P.; PARKER, M.B. & GASCHO, G.J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. *95:371-374*, 1984.
- GARCIA, G.O.; FERREIRA, P.A.; MIRANDA, G.V.; NEVES, J.C.L.; MORAES, W. B.; SANTOS, D.B. Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio em plantas de milho sob estresse salino. *IDESIA*, 25:93-106, 2007a.
- GARCIA, G.O.; FERREIRA, P.A.; MIRANDA, G.V.; OLIVEIRA, F.G.; SANTOS, D. B. Índices fisiológicos, crescimento e produção do milho irrigado com água salina. *Rev. Irriga.* 12:307-325, 2007b.
- GARCIA, G.O.; FERREIRA, P.A.; SANTOS, D.B.; OLIVEIRA, F.G.; MIRANDA, G. V. Estresse salino em plantas de milho: I – macronutrientes aniônicos e suas relações com o cloro. *R. Bras. Agri. Ambient.* 9:26-30, 2005.
- GARCIA, G.O.; MARTINS FILHO, S.; REIS, E.F.; MORAES, W.B.; NAZÁRIO, A.A. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. *Rev. Ci. Agron.* 39:7-18, 2008.

- GHEYI, H.J. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T.S., ASSIS Jr., R.N., ROMERO, R.E. & SILVA, J.R.C. Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido. Fortaleza, DCS/UFC, 2000. p.329-346.
- GLENN, E.; TANNER, R.; MIYAMOTO, S.; FITZSIMMONS, K. & BOYER, J. Water use, productivity and forage quality of the halophyte *Atriplex nummularia* grown on saline waste water in a desert environment. *Journal of Arid Environments*, 38: 45-62, 1998.
- GRATTAN, S.R.; GRIEVE, C.M.. Salinity-mineral relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78:127-157,1999
- GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Review of Plant Physiology*. 31:149-190, 1980.
- GUIMARÃES, F.V. Respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba submetidas ao estresse e com NaCl em diferentes concentrações de CaCl_2 e CaSO_4 , 2005, 176f. Tese (Doutorado em Bioquímica Vegetal). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.
- GURGEL, M.T.; GHEYI, H.R.; OLIVEIRA, F.H.T.; FERNANDES, P.D.; SILVA, F.V. Nutrição de cultivares de meloeiro irrigadas com águas de baixa e alta salinidade. *Revista Caatinga*, 21:36-43, 2008.
- HASEGAWA, P.M.; BRESSAN, R.A. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51: 463-499, 2000.
- HIROCE, R.; FURLANI, A.M.C.; LIMA, M. Extração de nutrientes na colheita por populações e híbridos de milho. Campinas. IAC, 1989. 24p. (IAC. Boletim Técnico, 17).
- IGARTUA, E.; GRACIA, M.P.; LASA, J.M. Field responses of grain sorghum to a salinity gradient. 42: 15-25, 1995.

- KATERJI, N.;VAN HOORN, J.W.; HAMDYC, A.; MASTRORILLI, M. Comparison of corn yield response to plant water stress caused by salinity and by drought. *Agric. Water Management*. 65:95-101, 2004.
- KATERJI, N.;VAN HOORN, J.W.; HAMDYC, A.; MASTRORILLI, M. Salt tolerance classification of crops to soil salinity and to water stress day index. *Agric. Water Management*, 43:99-109, 2000.
- KORNDORFER, G.H. Elementos Benéficos. In: FERNANDES, M.S. *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 14, p. 355-370.
- JALALI, M. Effect of sodium and magnesium on kinetics of potassium release in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma*, 145:207-215, 2008.
- LACERDA, C.F.; Efeitos da salinidade do desenvolvimento e composição mineral do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e utilização do Ca^{2+} como meio para minorar tais efeitos. Fortaleza: UFC, 1995, 87f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.
- LACERDA, C.F. Crescimento e acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos em dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos a estresse salino, 2000, 163f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- LACERDA, C.F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M.A.O.; RUIZ, H.A.; PRISCO, J.T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*. 49:107 – 120, 2003.
- LACERDA, C.F. Interação salinidade x nutrição mineral. In: In: NOGUEIRA, R.J.M. C., ARAÚJO, E.L., WILLADINO, L.G., CAVALCANTE, U.M.T. (eds.) “Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas”. Recife, UFRPE, p. 237-137, 2005.

- LACERDA, C.F.; MORAIS, M.M.M.; PRISCO, J.T.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M.A. Interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo forrageiro. *Rev. Ci. Agron.* 37:258-263, 2006.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Ed. Rima Artes e Textos, 2006. 550p
- LIMA, C.J.G.S.; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, M.K.T.; ALMEIDA JÚNIOR, A.B. Resposta do feijão caupi a salinidade da água de irrigação. *Revista verde de Agroecologia e desenvolvimento sustentável.* 2:79-86, 2007.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. de. *Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e Aplicações*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, SP, 1997. 218 p.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MEDEIROS, J.F. Salinização em áreas irrigadas: manejo e controle. In: FOLEGATTI, M.V. et al. *Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças*. Guaíba: Agropecuária, 2001. v.2, Cap.2, p.201-240.
- MOUSINHO, F.E.P.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; FRIZZONE, J.A. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no estado do Piauí. *Revista Acta Sci. Agron.* 30:139-145, 2008.
- MUNNS, R.; TERMAAT, A. Whole plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology.* 13:143-160, 1986.

- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and Environment*, London. 25:239 – 250, 2002.
- MUNNS R.; TESTER M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59:651-658, 2008.
- MURTAZA, G., GHAFOR. A., QADIR, M. Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cotton–wheat rotation. *Agric. Water Management* 81: 98–114, 2006.
- NEVES, O.S.C.; CARVALHO, J.G.; RODRIGUES, C.R. Crescimento e nutrição mineral de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) submetidas a níveis de salinidade em solução nutritiva. *Rev. Ci. Agrotec.* 28:997-1006, 2004.
- NEVES, A.L. Crescimento, produtividade e extração de nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento, 2008, 129f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.
- OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, M.K.T.; LIMA, C.J.G.S.; GALVÃO, D.C. Desenvolvimento inicial do milho-pipoca 'jade' irrigado com água de diferentes níveis salinidade. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. 2:45-52, 2007.
- OSTER, J.D.; HOFFMAN, G.J. & ROBINSON, F.E. Management alternatives: crops, water, and soil. *California Agriculture*, 36: 29-32, 1984.
- PARIDA, A.K.; DAS, B. Salt tolerance and salinity effect on plants: a review. *Ecotoxicology and Environment Safety*, 60:324-349, 2005.
- PRISCO, J.T. & O'LEARY, J.W. Enhancement of intact bean leaf senescence by NaCl salinity. *Physiol. Plant.*, 27:95-100, 1972.

- QADIR, M. OSTER, J.D. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Science of the total environment*, 323:1-19, 2004.
- RAGAB, R. Advances in integrated management of fresh and saline water for sustainable crop production: Modelling and practical solutions. *International J Agric Water Manage (special Issue)* 78:1-164, 2005 Elsevier, Amsterdam.
- RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagens, In: RAIJ, B.V; CANTARELLA, H. QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C (Ed) *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*, 2 ed. Campinas: Instituto Agrômico & Fundação IAC, 1996. p.56-59 (Boletim Técnico, 100).
- RAO, N.H.; SARMA, P.B.S.; CHANDER, S.A. Simple dated water-production function for use in irrigated agriculture. *Agric. and Water Management*, 13:25-32,1988.
- RHOADES, J.P.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. Uso de águas salinas para a produção agrícola. Trad.: GHEYI, H.R.; SOUSA, J.R.; QUEIROZ, J.E. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p. (Estudos FAO 48)
- RIBEIRO JÚNIOR, J.I. *Análises Estatísticas no SAEG*. Viçosa: Editora UFV, 2001. 301p.
- RICHARDS, L.A. (ed). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington D.C.U.S. Salinity Laboratory., 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

- RITZEMA, H.P. SATYANARAYANA, T.V. RAMAN, S. BOONSTRA, J. Subsurface drainage to combat waterlogging and salinity in irrigation lands in India: lessons learned in farmers' fields, 95:179-189, 2008.
- RODRIGUÊS, C.R.F. Efeitos do cloreto de sódio sobre o crescimento e acumulação de nutrientes da mamoneira, 2007. 91f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.
- SANTOS, R.V.; HERNANDEZ, F.F.F. Recuperação de solos afetados por sais. In: GHEY, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.M. (eds). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande; UFPB/SBEA, 1997. p.319-362.
- SANTOS, J.G.R. A salinidade na agricultura irrigada – teoria e prática, Campina Grande – PB. 1ª ed. 2000. 171p
- SANTOS, D.B.; FERREIRA, P.A.; OLIVEIRA, F.G.; GARCIA, G.O.; CARNEIRO, J. E.S.; CANO, M.A.O. Estratégias de manejo da irrigação do feijoeiro com água salina. R. Bras. Agri. Ambient. 9:16-20, 2005.
- SANTOS, H.G.; JACOME, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. Sistema brasileiro de classificação do solo. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 30p.
- SECKLER, D.; AMARASINGHE, U; MOLDEM, D.; SILVA, R. & BAKER, R. World water demand and supply, 1990 to 2025: Scenarios and Issues. Research Report 19, International Water Management Institute, 19:1-41, 1998.
- SHANNON, M.C. The effects of salinity on cellular and biochemical processes associated with salt tolerance in tropical plants. Proceedings in plants stress in Tropical Environment, p. 56 – 63, 1992.

- SHARMA, D.P.; RAO, K.V.G.K. Strategy for long term use of saline drainage water for irrigation in semi-arid regions. *Soil and Tillage Research*, 48: 287-295, 1998.
- SILVA, E.F.; ASSIS JÚNIOR, R.M.; SOUSA, J.I.G. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre atributos hídricos de um neossolo. *R. Bras. Ci. Solo.*, 29:389-396, 2005.
- SILVA. M.O.; FREIRE, M.B.G.S.; MENDES, A.M.S.; FREIRE, F. J.; CARLOS, C.E.S.; GÓES, G.B. Crescimento de meloeiro e acúmulo de nutrientes na planta sob irrigação com águas salinas. *R. Bras. Agri. Ambient.*, 12:593-605, 2008.
- SILVA JUNIOR, L.G.A.; GHEYI, H.R.; MEDEREIROS, J.F. Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro. *R. Bras. Agri. Ambient.*, 3:11-17, 1999.
- SILVA, J.V.; LACERDA, C.F.; COSTA, P.H.A.; ENÉAS FILHO, J.; GOMES FILHO, E.; PRISCO, J.T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grow in nutrient solution supplemented with CaCl₂. *Braz. Journal Plant Physiology*. 99-105, 2003.
- SMEDEMA, L.K. Water table control indices for drainage of agricultural land in humid climates. *Agric. Water Management*, 14:69-77, 1988. Viçosa: UFV, 1998. 596p.
- SMEDEMA, L.K. Revisiting currentl applied pipe drain depths for waterlogging and salinity control of irrigated lands in the (semi) arid zone *Drain.*, 56:379-387, . 2007.
- SOARES, F.A.L ; GHEYI, H.R. ; FERNANDES, P.D. ; OLIVEIRA, F.H.T.; SIVA, F. V.; ALVES, A.N. ; PEDROSA, R.M.B. Partição de fotoassimilados em cultivares de bananeira irrigadas com águas de diferentes salinidade. *R. Bras. Agri. Ambient.*, 9:101-107, 2005.

- SOUSA, G.G. SOUZA, G.B. PEREIRA, W.E.P.; OLIVEIRA, F.A.; CAVALCANTE, L.F.; GONDIM, S.C.; CAMPOS, V.B; SILVA, P.F.G. Germinação e crescimento inicial de *vigna unguiculata* e *phaseolus vulgaris* irrigados com água salina. Anais do curso de Pós-graduação em manejo de solo e água. 70-80, 2006.
- SOUSA, R.B.; LACERDA, C.F.; AMARO FILHO, J.; HERNANDEZ, F.F.F. Crescimento e nutrição mineral do feijão-de-corda em função da salinidade e da composição iônica da água de irrigação. R. Brasi. Ci. Agrárias., 75-82, 2007
- TAIZ, L., ZEIGER, E. 2004. Fisiologia Vegetal. 3ª ed., Artmed, Porto Alegre, 719 p.
- TANJI, K.K.(Ed.) Agricultural salinity assessment and management. New York : ASCE, 1990. 610p. (ASCE Manuals and Reports of Engineering Practices, 71).
- TRINDADE, A.R. Influência do acúmulo e distribuição de íons na parte aérea sobre as respostas de plantas de sorgo e de feijão-de-corda ao estresse salino. Fortaleza, CE/UFC, 2002, 42p, Monografia (Curso de Agronomia, Universidade Federal do Ceará) – 2002.
- TRINDADE, A.R.; LACERDA, C.F.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M.A.; PRISCO, J.T. Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino. R. Brasi. Agri. Ambient, 10:804-10, 2006.
- ULLAH, S.M.; SOJA, G.; GERZABEK, M.H. Ion uptake, osmoregulation and plant-water relations in faba beans (*Vicia faba* L.) under salt stress. Die Bodenkultur, Viena, 44:291-301, 1993.
- VIEIRA, M.R. Produtividade composição químico-bromatológica e nutrição mineral de plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas salinas. 2006. 97 f. Dissertação (Mestrado em irrigação e Drenagem). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.

VITTI, G.C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 12, p. 299-326.

WILLADINO, L.G; CAMARA, T.R (2004) Origen y naturaleza de los ambientes salinos. In: La Ecofisiologia Vegetal: Una Ciencia de Sintesis. Thomson Editores Spain. Madrid, 1ed.

YADUVANSHI, SHARMA, D.R. Tillage and residual organic manure/chemical amendment effects on soil organic matter and yield of wheat under sodic water irrigation. Soil and Tillage Research, 98:11-16, 2008.

YAH YA, A. Salinity effects on growth an uptake and distribution on sodium and some essential mineral nutrients in sesame. Journal of Plant Nutrition. 21:1439-1451, 1998.