

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ROBSON ALEXSANDRO DE SOUSA

**EFEITOS DA SALINIDADE E DA COMPOSIÇÃO IÔNICA DA ÁGUA DE
IRRIGAÇÃO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE
FEIJÃO-DE-CORDA cv. PITIÚBA**

FORTALEZA – CEARÁ

2006

ROBSON ALEXSANDRO DE SOUSA

**EFEITOS DA SALINIDADE E DA COMPOSIÇÃO IÔNICA DA ÁGUA DE
IRRIGAÇÃO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE
FEIJÃO-DE-CORDA cv. PITIÚBA**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof^o. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda

FORTALEZA – CEARÁ

2006

S698e Sousa, Robson Alexsandro de

Efeitos da salinidade e da composição iônica da água de irrigação sobre o desenvolvimento de plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba / Robson Alexsandro de Sousa.

87 f.:il.

Orientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda
Dissertação (Mestrado) em Irrigação e Drenagem –
Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do
Ceará, Fortaleza, 2006.

1. *Vigna unguiculata*
2. Estresse salino.
3. Tolerância
4. Condutividade elétrica
5. I. Título.

CDD 631.587
CDU 626.81

ROBSON ALEXSANDRO DE SOUSA

EFEITOS DA SALINIDADE E DA COMPOSIÇÃO IÔNICA DA ÁGUA DE
IRRIGAÇÃO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE
FEIJÃO-DE-CORDA cv. PITIÚBA

Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-graduação em Irrigação e
Drenagem, da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para a
obtenção do grau de Mestre em
Agronomia.

Aprovada em 10/03/2006.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof^o. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez (Conselheiro)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof^o. Dr. Joaquim Amaro Filho (Conselheiro)
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA

DEDICO

Aos meus pais Romão Augusto de Sousa e Maria Ana de Oliveira Sousa; e, à minha tia Francisca Ana de Maria, pelo amor e compreensão, que foram fortalecedores para a conclusão de mais uma etapa na minha vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, onipotente, onipresente e onisciente, porém humilde por me conceder a vida e galgar mais esta conquista.

Ao professor e, principalmente, amigo, Claudivan Feitosa de Lacerda, pela sua orientação neste trabalho e apoio irrestrito no desenrolar deste curso.

Ao curso de pós-graduação em Irrigação e Drenagem do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará – UFC, pela oportunidade concedida de aprimoramento dos meus ínfimos conhecimentos nesta área.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudo durante o curso.

Aos conselheiros, professor Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez e professor Dr. Joaquim Amaro Filho, pelas críticas e sugestões que visaram a lapidação deste trabalho.

Aos professores do curso de pós-graduação em Irrigação e Drenagem, Dr. Raimundo Nonato Távora Costa, Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda, Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra, Dr. Raimundo Nonato de Assis Junior e Dr^a Sílvia Freitas.

Ao professor Dr. Enéas Gomes Filho, do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular – UFC, pela concessão da casa de vegetação para o desenvolvimento desta pesquisa bem como o Laboratório de Fisiologia Vegetal para a realização das análises.

Ao Departamento de Solos, do Centro de Ciências Agrárias – UFC, na pessoa do professor Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, pela realização das análises deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola - UFC, Maurício, Aninha, Toinha, Josenias, Ivan, Dr. Almiro, Gláucia e Aurilene pela ajuda e amizade fecunda construída ao longo do curso.

Aos orientados do prof. Claudivan Feitosa de Lacerda, Alexandre José de Aquino, Mauro Regis Vieira, Ponciana Carvalho, José Otacílio de Assis Junior, Eliezer Araújo e Carlos Henrique Sousa, pelo laço fraternal que desabrochou nesses dois anos.

A Eng^a Agrônoma Virgínia Menezes, pela compreensão, respeito e dedicação a mim dispensada durante esses meses.

Aos companheiros de turma e verdadeiros irmãos das disciplinas Drenagem Agrícola e Irrigação Superficial, Esaú Matos Ribeiro, José Itamar Frota Junior, Marcelo Régis Magalhães Jovino e Mauro Regis Vieira, pela união tanto de conhecimentos, e principalmente, pela próspera e eterna amizade ora iniciada.

Aos colegas e amigos de curso de pós-graduação em Irrigação e Drenagem, Alexandre Maia Alves, Alexandre José de Aquino, Esaú Matos Ribeiro, Francisco Sildemberny Souza dos Santos, Francisco Evami de Sousa, Carlos Henrique, Denise Vieira Vasconcelos, Eliana Lee Jorge Rocha, Guilherme Bonfim, Jefferson Nobre, José Aglodoaldo Junior, José Itamar Frota Junior, José Otacílio de Assis Junior, Lílian Cristina Castro Pinto, Luiz Carlos Guerreiro Chaves (Luizin), Kelly Tagianne Santos de Souza, Maria do Socorro Medeiros de Sousa, Moacir Andrade Rabelo Filho, Marcelo Régis Magalhães Jovino, Mauro Regis Vieira, Marcos Meireles, Paulo de Cairo Perdigão e Thales Gomes, pelo convívio durante o curso.

Ao Eng^o Agr^o Jaedson Mota e a Eng^o Agr^o Cléa Silveira, pela amizade e apoio sem precedentes na realização deste curso.

Aos bolsistas do Laboratório de Fisiologia Vegetal II, do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Carlos Eduardo, Alexcyane, Aldo, Juan, Elton, Raquel, Franklin e Nara Lídia, pela ajuda nas análises bioquímicas.

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta – difíceis de nomear, entretanto impossíveis de esquecer-los – contribuíram com este trabalho, no intuito de melhorar a pesquisa brasileira e conceber novas tecnologias que visem o desenvolvimento da agricultura irrigada.

SUMÁRIO

Página

RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE QUADROS	
LISTA DE TABELAS	
1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 Problemas de salinidade na agricultura.....	19
2.1.1 Problemas sobre os solos	19
2.1.2 Qualidade da água para irrigação	21
2.2 Problemas da salinidade sobre as plantas	25
2.2.1 Como os sais afetam as plantas	25
2.2.2 Tolerância das culturas à salinidade	27
2.2.3 Respostas do feijão de corda à salinidade	31
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 Localização do experimento	34
3.2 Substrato	34
3.3 Tratamentos e Delineamento Experimental	35
3.4 Sementes	36
3.5 Instalação do experimento	36
3.6 Irrigação	37
3.7 Condução do experimento	37
3.8 Determinação dos solutos inorgânicos.....	40
3.9 Determinação dos solutos orgânicos	40
3.10 Análises estatísticas	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1 Análise da água percolada e do solo	42
4.2 Análise de crescimento das plantas	44
4.3 Trocas gasosas e características morfofisiológicas	48
4.4 Composição mineral.....	53

4.4.1 Teores de Ca^{2+} , K^+ e P	53
4.4.2 Teores de Na^+ e Cl^-	58
4.4.3 Teores de micronutrientes.....	61
4.5 Acúmulo de solutos orgânicos nas folhas	65
5 CONCLUSÕES	68
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

RESUMO

O uso de água de qualidade duvidosa na irrigação pode ser prejudicial às plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da salinidade e da composição química da água de irrigação sobre o crescimento, as trocas gasosas, a nutrição mineral e os teores de solutos orgânicos em plantas de feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cv. Pitiúba. As plantas foram cultivadas em vasos contendo 22 kg de areia lavada, sob condições de casa de vegetação, e submetidas a 4 diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (0,5; 1,5; 3,0 4,5 dS m⁻¹), obtidas com sais de NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O (A1), com sais de Na₂SO₄, CaCl₂, MgCl₂, Na₂CO₃, NaHCO₃ (A2), ou somente com NaCl (A3). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 4, com 5 repetições. Durante a condução do experimento mediu-se a taxa de transpiração, taxa de fotossíntese líquida, teores de clorofila e a condutância estomática, bem como se analisou a condutividade elétrica da água percolada e do substrato. As plantas foram coletadas com 48 dias após o plantio, medindo-se a área foliar; e, as massas frescas e secas de folhas, caules e raízes. Determinaram-se, em laboratório, nas folhas e caules, os teores de Na⁺, Cl⁻, K⁺, Ca²⁺, P, Cu, Fe, Mn e Zn; nas folhas foram determinados os teores de prolina, proteínas, carboidratos e N-aminossolúveis. A salinidade afetou a produção de biomassa, o crescimento foliar e as trocas gasosas das plantas, porém, com pequena influência da composição da água sobre esses parâmetros. No entanto, a composição iônica da água de irrigação influenciou os teores de nutrientes minerais, especialmente sobre os teores de micronutrientes. Por outro lado, não foram observados relacionamentos significativos entre os teores dos solutos orgânicos analisados e os níveis de salinidade e a composição química da água. A composição química da água de irrigação é relevante quando se pretende irrigar, pois o aporte de diferentes sais ao solo poderá influenciar especificamente na absorção de nutrientes minerais, com possíveis repercussões negativas no metabolismo da planta e na sua produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: *Vigna unguiculata*, estresse salino, irrigação, tolerância à salinidade.

ABSTRACT

The use of the inadequate water in irrigation can be prejudicial to the plants. The objective of this work was to evaluate the effect of salinity and chemical composition of irrigation water on plant growth, mineral nutrition, gas exchange, and organic solutes contents of cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. Plants were cultivated in plastic pots, using 22 kg of soil at greenhouse conditions and subjected to four different salt stress concentrations (0.5; 1.5; 3.0; and 4.5 dS m⁻¹) in irrigation water. These different salt concentrations were obtained by adding NaCl, CaCl₂.2H₂O and MgCl₂.6H₂O (A1), a mixture of chloride, sulphate, carbonates, and bi-carbonates salts (A2), or alone NaCl (A3). A completely randomized design, in a factorial arrangement (3 x 4), with five replicates was adopted. During the experimental period, the following responses were evaluated: transpiration rate, stomatal conductance, net photosynthesis, chlorophyll contents. After 48 days after sowing they were measured total leaf area and fresh and dry masses of leaves, stems and roots. The contents of inorganic (Na, Cl, K, Ca, P, Cu, Fe, Mn, and Zn) and organic (proline, protein, carbohydrates e N-amino soluble) solutes were also determined. The salinity of irrigation water caused reduction in the biomass production, leaf growth and gas exchange, but it was not observed effects of the chemical composition of water on these parameters. However, the ionic composition of irrigation water affected the contents of mineral nutrients, especially the contents of micronutrients. On the other hand, it was not found significant relationships between organic solutes contents and the levels of salinity or chemical composition of the water. The results suggest that chemical composition of irrigation water is an important factor, since it could affect mineral nutrients uptake, which can cause negative effects on plant metabolism and productivity.

KEYWORDS: *Vigna unguiculata*, salt stress, irrigation, salt tolerance.

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 – Disposição dos vasos na casa de vegetação	37
FIGURA 2 – Vista do vaso depois de realizado o desbaste	38
FIGURA 3 – Valores médios da condutividade elétrica do solo nos diversos tratamentos	44
FIGURA 4 – Peso seco das folhas (A), peso seco do caule (B), peso seco das raízes (C), peso seco da parte aérea (D), matéria seca total (E) e relação raiz/parte aérea (F) de plantas de feijão-de-corda (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação	47
FIGURA 5 – Área foliar total de plantas de feijão-de-corda (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação	48
FIGURA 6 – Condutância estomática (A) e taxa de transpiração (B) em folhas de plantas de feijão-de-corda em função dos níveis de salinidade da água de irrigação (CEa)	50
FIGURA 7 – Suculência foliar de plantas de feijão-de-corda (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação	52
FIGURA 8 – Teor de cálcio nas folhas e no caule de plantas de feijão-de-corda (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação	54
FIGURA 9 – Teor de fósforo nas folhas e no caule de plantas de feijão-de-corda (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação	56

FIGURA 10 – Teor de potássio nas folhas e no caule de plantas de feijão-de-corda (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação	57
FIGURA 11 – Teor de sódio no caule e nas folhas de plantas de feijão-de-corda (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação	59
FIGURA 12 – Teor de cloro nas folhas e no caule de plantas de feijão-de-corda (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação	60
FIGURA 13 – Teores de ferro e manganês nas folhas e caule de plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) em função da salinidade da água de irrigação.....	64
FIGURA 14 – Teor de carboidratos nas folhas de plantas de feijão-de-corda (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação.....	67

LISTA DE QUADROS

	Página
QUADRO 1 – Análises físico-químicas do solo utilizado no experimento	34
QUADRO 2 – Características químicas das águas aplicadas nos tratamentos	35
QUADRO 3 – Tratamentos utilizados no experimento	36
QUADRO 4 – Composição da solução nutritiva utilizada no experimento	38

LISTA DE TABELAS

Página

TABELA 1 – Características químicas da água drenada dos tratamentos coletada ao final do experimento.....	43
TABELA 2 – Valores do quadrado médio e significância estatística para o peso seco das folhas (PSF), peso seco do caule (PSC), peso seco da raiz (PSRAIZ), peso seco da parte aérea (PSPA), matéria seca total (MSTOT), relação raiz/parte aérea (R/PA) e área foliar total (AFT), em plantas de feijão-de-corda (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) cv. Pitiúba, irrigadas com água salina com diferentes composições iônicas.....	45
TABELA 3 – Teores médios de peso seco do caule (PSC), peso seco da raiz (PSRAIZ), relação raiz/parte aérea (R/PA) e área foliar total (AFT), em plantas de feijão-de-corda (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) cv. Pitiúba, quando irrigadas com água de diferentes composições iônicas. Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade	45
TABELA 4 – Valores do quadrado médio e significância estatística da taxa de transpiração (E), condutância estomática (GS), taxa fotossintética (FOT), suculência foliar (SUC), massa específica foliar (MEF) e clorofila (CLOR) em plantas de feijão-de-corda (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) cv. Pitiúba, irrigadas com água salina de diferentes composições iônicas	49
TABELA 5 – Médias e desvio padrão da clorofila (CLOR), em unidades arbitrárias, e da massa específica foliar (MEF), em mg cm ⁻² , em plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba irrigadas com águas de composição iônica diferentes em níveis crescente de sais	51

TABELA 6 – Teores médios da suculência foliar (SUC), em g H₂O dm⁻², e clorofila (CLOR), em unidades arbitrárias, em plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, quando irrigadas com água de diferentes composições iônicas. Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.....51

TABELA 7 – Valores do quadrado médio e significância estatística para as variáveis cálcio (Ca²⁺), potássio (K⁺) e fósforo (P) no caule e nas folhas de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, irrigadas com água salina de diferentes composições iônicas.....53

TABELA 8 – Teores médios de cálcio (Ca²⁺) e potássio (K⁺), em g kg⁻¹, nas folhas e caules de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, quando irrigadas com água de diferentes composições iônicas. Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.....58

TABELA 9 – Valores do quadrado médio e significância estatística para as variáveis sódio (Na⁺) e cloro (Cl⁻) no caule e nas folhas de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, irrigadas com água salina de diferentes composições iônicas59

TABELA 10 – Teores médios de sódio (Na⁺) e cloro (Cl⁻), em g kg⁻¹, nas folhas e caules de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, quando irrigadas com água de diferentes composições iônicas. Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.....61

TABELA 11 – Valores do quadrado médio e significância estatística para as variáveis cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no caule e nas folhas de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, irrigadas com água salina de diferentes composições iônicas.....63

TABELA 12 – Teores médios¹ de cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn), em mg kg⁻¹, nas folhas e caules de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, quando irrigadas com água de diferentes composições iônicas. 63

TABELA 13 – Valores do quadrado médio e significância estatística para as variáveis prolina (PROLINA), carboidratos (CHOS), proteínas (PROT) e N-aminossolúveis (AMINO) nas folhas de plantas de feijão-de-corda, irrigadas com água salina de diferentes composições iônicas..... 66

TABELA 14 – Teores médios de carboidratos (CHOS), N-aminossolúveis (AMINO), prolina (PROLINA) e proteínas (PROT) em folhas de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, quando irrigadas com água de diferentes composições iônicas. Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade..... 67

1 INTRODUÇÃO

Considerada uma leguminosa de ampla distribuição mundial, o feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) também conhecido como feijão-macassar, feijão-macassa, feijão-caupi, feijão-fradinho, feijão-miúdo e feijão-de-praia, é bastante utilizado na alimentação humana desde tempos remotos. Sua presença é mais concentrada principalmente nas regiões tropicais do globo, pois estas têm características edafoclimáticas semelhantes a seu provável berço de origem, a África (MOUSINHO, 2005). Estimativas da FAO (2004) relatam que no ano de 2003, foram cultivados no mundo cerca de 9,82 milhões de hectares de feijão-de-corda, sendo que destes, aproximadamente 9,44 milhões de hectares foram cultivados no continente africano. A produção mundial no mesmo ano foi de 3,72 milhões de toneladas de grãos secos, com um rendimento médio de 378 kg ha⁻¹ destacando-se a Nigéria como maior produtor mundial, com 2,1 milhões de toneladas produzidas.

Devido às condições de adaptabilidade e do hábito alimentar da população, as regiões Norte e Nordeste alcançam de 95% a 100% do total de áreas plantadas com feijão-de-corda, nos Estados do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte (ARAÚJO e WATT, 1988; SENA e BISERRA, 1991). O Estado do Ceará é o maior produtor nacional de feijão-de-corda seguido pelo Piauí. Na safra 2002/2003 a área plantada no Ceará foi de 618.600 hectares, resultando em uma produção de 211.800 toneladas (FNP, 2004).

A cultura adapta-se bem as condições brasileiras principalmente as condições da Região Nordeste. A temperatura mais adequada para o desenvolvimento do feijão-de-corda encontra-se na faixa de 20°C a 30°C, sendo que altas temperaturas durante o florescimento podem ser prejudiciais a cultura além de diminuir a nodulação nas raízes. Já temperaturas abaixo de 20°C podem causar a paralisação do desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA e CARVALHO, 1988). Em relação às características físico-químicas dos solos, desenvolve-se melhor naqueles ricos em matéria orgânica, com pH próximo de 6,0, textura média, profundo, bem drenados e de média a alta fertilidade. As exigências hídricas da cultura, para a obtenção do máximo rendimento, variam de 300 mm a 400 mm durante o seu ciclo, dependendo das condições edafoclimáticas locais (EMBRAPA, 2003).

Segundo Ayers e Westcot (1999) em todo o mundo, o uso intensivo de águas de boa qualidade tem acarretado, de forma crescente, a diminuição da sua disponibilidade para novos e antigos projetos de irrigação. Além disso, a crescente necessidade de expansão das áreas agrícolas, tem gerado a necessidade do uso de águas consideradas de qualidade inferior. Bem como, a re-utilização de água de drenagem com elevados teores de sais e a utilização de espécies capazes de apresentarem elevada rentabilidade quando irrigadas com esses tipos de água (RHOADES et al., 2000).

No Nordeste brasileiro as águas utilizadas nas irrigações apresentam, na maioria das vezes, concentração de sais na faixa de 1 a 30 mmol_c L⁻¹ correspondendo à faixa de condutividade elétrica de 0,1 a 3,0 dS m⁻¹, poderá o seu uso na agricultura, aliado a intensa evaporação e à falta de drenagem de solo adequada, provocar problemas de salinidade (HOLANDA e AMORIM, 1997). Em função disso, a verificação da adequabilidade da água para fins de irrigação deve considerar, principalmente, fatores relacionados ao teor e tipo de sais, às características do solo, tolerância da cultura, condições climáticas, manejo da irrigação e condições de drenagem (RHOADES et al., 2000).

A alta concentração de sais é um fator de estresse para as plantas, pois apresenta atividade osmótica retendo a água, além da ação de íons sobre o protoplasma. Ayers e Westcot (1999) afirmam, que os íons que mais freqüentemente causam toxicidade são o cloreto, o sódio e o boro. Um excesso de Na⁺ e, sobretudo, um excesso de Cl⁻ no protoplasma ocasionam distúrbio em relação ao balanço iônico (K⁺ e Ca²⁺ em relação ao Na⁺), bem como o efeito específico dos íons sobre as enzimas e membranas (LARCHER, 2000).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar o desenvolvimento de feijão-de-corda quando irrigado com águas de diferentes níveis de salinidade e diferentes composições iônicas, analisando-se o acúmulo de sais na planta; o crescimento vegetativo; a produção de biomassa; os processos fotossintéticos; os teores de prolina, carboidratos, N-aminossolúveis e proteínas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Problemas de salinidade na agricultura

2.1.1 Problemas sobre os solos

O processo de salinização do solo tem origem na sua própria formação, devido ser oriundo da intemperização da rocha matriz, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos mediante a ação dos fatores de clima, relevo, organismos vivos e tempo. Durante a intemperização, os diversos constituintes das rochas são liberados na forma de compostos simples. As fontes dos sais solúveis em água são os minerais primários que se encontram no solo e nas rochas da crosta terrestre (RICHARDS, 1954; SANTOS, 2000).

As três principais fontes naturais de sais no solo são o intemperismo mineral, a precipitação atmosférica e os sais fósseis (aqueles remanescentes dos ambientes marinhos e lacustres). Os sais também podem ser adicionados aos solos através de atividades humanas, incluindo o uso de águas de irrigação, salmouras altamente salinas ou resíduos industriais (BOHN et al, 1985; QUEIROZ et. al., 1997). Embora a principal fonte de todos os sais encontrados no solo seja a intemperização das rochas, raros são os exemplos onde esta fonte tenha provocado, diretamente, problemas de salinidade do solo (RICHARDS, 1954).

Os habitats salinos são definidos pelo anormal alto conteúdo de sais prontamente solúveis. Os oceanos, os lagos salinos e os pequenos corpos de água (charcos e poças) são habitats salinos aquáticos. Sobre os continentes há solos salinos tanto sob clima árido como clima seco. Nas regiões úmidas é possível o solo se tornar salino devido à influência da nebulização ou espirro da zona entre-marés, bem como sobre as dunas, margens de lagos e áreas de inundação de rios (áreas pantanosas). Ambientes salinizados também podem ser encontrados nas vizinhanças de depósitos salinos. Sob forma de aerossóis, alguns sais oceânicos podem ser carregados para o interior do continente, até uma distância de 100 km ou mais, pelos ventos e pelas nuvens (LARCHER, 2000).

A ocorrência de solos salinos está associada a causas naturais e, ou, à atividade humana. Neste último caso, o emprego da irrigação incompatível com as características físicas, químicas e mineralógicas do perfil do solo tem sido apontado com uma das principais causas da sua salinização. Ademais, em regiões áridas e semi-áridas, a baixa precipitação e a alta taxa de evaporação dificultam a lixiviação dos sais, os quais se acumulam em quantidades prejudiciais ao crescimento das plantas, agravando enormemente o problema (FAGERIA e GHEYI, 1997; OLIVEIRA, 1997).

Os problemas de salinidade têm sido também associados à água utilizada na irrigação, à drenagem deficiente e à presença de águas sub-superficiais ricas em sais solúveis a pouca profundidade. Nestes casos, ou seja, quando a salinização é devido à ação antrópica, a mesma é conhecida como salinização secundária. Além disso, a salinização pode ser causada pela aplicação de fertilizantes, de forma excessiva e parcelada ao longo do ciclo natural, induzindo o sistema radicular ao estresse osmótico (DIAS, 2004). Oliveira (1997) cita que a salinização secundária é, em alguns casos, responsável por perdas irreparáveis da capacidade produtiva do solo, tornando estéreis grandes extensões de terras cultivadas.

A salinidade induzida pelo homem é mais perceptível em ambientes de elevada taxa de evapotranspiração potencial e baixa precipitação pluviométrica no curso do ano. A salinidade induzida nessas áreas se manifesta em decorrência da irrigação praticada, e, onde, o controle através da drenagem não é feito ou feito de forma inadequada (OLIVEIRA, 1997).

No Nordeste brasileiro, característico de alta evapotranspiração e baixa precipitação, estima-se em mais de 9 milhões de hectares a área total ocupada pelos solos geneticamente salinos (planossolos, solonetz, solonchak e outros) (PEREIRA et al, 1985). No Nordeste semi-árido, as maiores incidências de áreas com salinização secundária, se concentram nas terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação nos chamados Perímetros Irrigados. Bernardo (1997) afirma que cerca de 30% das áreas irrigadas dos projetos públicos, no Nordeste brasileiro, estão com problemas de salinização.

Existem, fundamentalmente, duas técnicas de recuperação de solos afetados por sais, que são a lavagem dos sais e aplicação de melhoramentos químicos. 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 (SANTOS e HERNANDEZ, 1997).

2.1.2 Qualidade da água para irrigação

A qualidade da água de irrigação pode ser considerada como um importante fator, mas nunca deve ser esquecido que ela é tão somente um dos fatores e que não é possível desenvolver um sistema de classificação universal que possa ser utilizado sob todas as circunstâncias. A adequação da água para a irrigação depende tanto de sua própria qualidade quanto de fatores relacionados com as condições de uso (AYERS e WESTCOT, 1999).

Nas últimas décadas foram estabelecidas diversas classificações de qualidade das águas para irrigação que, em geral, foram perdidas por serem muitos generalistas, portanto pouco precisas, ou excessivamente restritivas, portanto não extrapoláveis a outras situações. De qualquer forma, nestas classificações se consideram comumente (1) o efeito da salinidade (expressa como condutividade elétrica, CE) sobre o rendimento das culturas, e (2) os efeitos combinados da salinidade (CE) e da sodicidade (expressa como Relação de Adsorção de Sódio, RAS) sobre a estabilidade estrutural dos solos. O efeito tóxico de alguns microelementos e os efeitos nutricionais deve ser considerado em certas circunstâncias (FAO, 1985 citado por ARAGÜES, 1994).

Bernardo et al. (2005) relaciona seis parâmetros básicos para se analisar a água e determinar a sua qualidade pra 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 entupimento de emissores (irrigação localizada).

A salinidade em áreas irrigadas ocorre em decorrência do uso de águas de qualidade inadequada, associado ao manejo do sistema solo-água-planta e, qualquer que seja a sua fonte, a água utilizada na irrigação sempre contém sais,

embora a quantidade e qualidade dos sais presentes variem bastante (MEDEIROS e GHEYI, 1994).

As águas superficiais e subterrâneas são originadas das precipitações, sendo que estas se constituem na fonte natural de irrigação das explorações de sequeiro. A salinidade das águas pluviais é baixa, com uma CE da ordem de 0,010 dS m⁻¹ (MOLLE e CADIER, 1992), o que favorece a dispersão de partículas do solo causando problemas de infiltração (AYERS e WESTCOT, 1999). A rigor, todas as águas naturais, quer sejam elas de origem pluvial, superficial (rios, lagos e açudes) ou subterrânea (poços e cacimbas), contêm sais dissolvidos em quantidades variadas (HOLANDA e AMORIM, 1997). A qualidade natural da água resulta da conseqüência da sua origem e dos processos físico-químicos naturais nos seus diversos percursos (LOPEZ, 2000).

Segundo Yaron (1973) citado por Blanco (1999) o teor de sais das águas superficiais é função das rochas predominantes nas nascentes, da zona climática, da natureza do solo em que a água flui e de poluições devido à atividade humana. Já no caso das águas subterrâneas, o teor de sais depende da origem da água e do curso sobre o qual ela flui, em conformidade com a lei de dissolução, baseada no contato entre a água e o substrato que a armazena. As mudanças no teor de sais na água subterrânea no processo de recarga resultam da redução (geralmente de natureza bioquímica), troca catiônica, evapotranspiração e precipitação.

Geralmente, as águas de zonas úmidas apresentam menor teor de sais do que as de zonas áridas, águas subterrâneas são mais salinas que as águas de rios e estas, próximas da foz, contêm mais sais do que as que as próximas à nascente; a concentração de sais nas águas de rios varia com a estação do ano, sendo maior no outono que na primavera. Numa determinada região, as águas, naturalmente, contêm menos sais antes do desenvolvimento de projetos de irrigação (HOLANDA e AMORIM, 1997).

De acordo com Hoorn (1971) e Kovda et al. (1973), a evapotranspiração e a pluviosidade são os principais elementos climáticos a serem considerados para a avaliação da água de irrigação. A quantidade de água a ser aplicada durante um período de irrigação depende da evapotranspiração, que afeta o regime de irrigação, e, conseqüentemente, o movimento sazonal de sais no perfil do solo. Maior evapotranspiração, requer maior quantidade de água de irrigação, que, por sua vez,

leva uma maior quantidade de sais e, geralmente, a uma maior salinidade do solo, embora parte seja lixiviado (HOORN, 1971).

O problema de salinidade em áreas irrigadas torna-se agravado quando o balanço de sais revela uma maior entrada que saída, indicando um maior acréscimo de sais na área considerada (BIGGAR et al., 1984).

A qualidade da água para irrigação está relacionada com os seus efeitos prejudiciais ao solo e à cultura, requerendo, muitas vezes, técnicas especiais de manejo para compensar eventuais problemas associados com o seu uso. A adequação da água para irrigação depende tanto da própria qualidade, quanto 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. Portanto, é mister a avaliação da qualidade da água como medida preventiva dos processos de salinização gradativos, pelo acúmulo de sais oriundos de irrigações sucessivas. Além das características físico-químicas da água, outros fatores devem ser considerados e analisados em conjunto quando de sua avaliação e recomendação de uso para irrigação (AYERS e WESTCOT, 1999).

Os principais sais encontrados tanto no solo como na água são o cloreto de sódio (NaCl), o sulfato de magnésio ($MgSO_4$), o sulfato de sódio (Na_2SO_4), o cloreto de magnésio ($MgCl_2$) e o carbonato de sódio (Na_2CO_3). Tais sais podem ter sua solubilidade afetada em função de alguns fatores, como o pH e temperatura na fonte, razão por que esses fatores devem ser levados em consideração no estudo da qualidade das águas, principalmente quando se têm carbonatos e/ou bicarbonatos (ULZURRUN, 2000).

Ao se determinar a viabilidade do uso de águas para irrigação, deve-se levar em consideração a composição química da mesma, a tolerância das culturas, as práticas de manejo de solo, água e culturas, as condições climatológicas, o método de irrigação e as condições de drenagem (CONTRERAS e ELIZONDO, 1980).

As águas oriundas de regiões sedimentares, de baixa salinidade, são principalmente bicarbonatadas, sulfatadas ou mistas, enquanto nas fissuras das rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino, com tendência a águas mais salinas, há predominância unicamente de águas cloretadas de sódio e magnésio (LEPRUN, 1983).

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 cloretadas sódicas independentes do nível de salinidade.

Oliveira e Maia (1998), a partir da análise de 600 amostras de água de diversos aquíferos de origem sedimentares do Rio Grande do Norte, mostraram que a maior incidência com problemas de salinidade, expressa pela sua elevada condutividade elétrica e sodicidade, ocorreu nas amostras provenientes dos poços que exploram os recursos do calcário Jandaíra ou dos aquíferos abastecidos diretamente pelo lençol freático. Mostraram, ainda, que na área sedimentar do Rio Grande do Norte, águas salinas com $CE \geq 3 \text{ dS m}^{-1}$, provêm, proporcionalmente, de: poços tubulares 27%; poços amazonas (cacimbas) 16% e de mananciais livres (açudes, rios e riachos) 21%.

Cruz e Melo (1969), afirmam que nas áreas sedimentares do Nordeste brasileiro, as águas subterrâneas, apresentam um baixo teor de sólidos dissolvidos, predominando concentrações abaixo de 500 mg L^{-1} . Mostram, ainda, que os gradientes de fluxo que determinam a velocidade de recarga, são fatores responsáveis pela qualidade da água devido a que o maior grau de mobilidade reduz a mineralização e os efeitos da concentração por evaporação, especialmente nas áreas de menor profundidade factível de tais efeitos.

Cruz e Melo (1974) citados por Silva Junior et al. (1999), mostraram alguns fatores responsáveis pela salinização das águas subterrâneas do cristalino do Nordeste brasileiro, entre eles o processo de concentração por evaporação, observando-se relação direta entre o índice de aridez e o grau de salinização das águas; assim a concentração total de sais varia de acordo com o zoneamento árido, observando-se ainda que o aumento da concentração é acompanhado por um aumento de Cl^- , Na^+ e Mg^{2+} . Outro fator, ainda relatado, é a condição de circulação da água, cujas fraturas de menor profundidade (abaixo de 40 m) se intercomunicam com os aluviões, favorecendo a renovação do aquífero, enquanto nas fraturas mais profundas a circulação é mais restrita, com condições mais estagnantes, havendo maior intercâmbio com a rocha e, assim, a influência litológica se sobrepõe a climática.

2.2 Problemas da salinidade sobre as plantas

2.2.1 Como os sais afetam as plantas

A salinização dos solos, ou acúmulo de sais solúveis na zona radicular a níveis que afetem negativamente o rendimento das culturas, pode considerar-se um processo natural dos sistemas áridos ou semi-áridos, devido a evapotranspiração potencial superar a precipitação pluviométrica e limita a lixiviação dos sais acumulados no solo. Este acúmulo de sais ocorre porque a água é evapotranspirada no estado puro, resultando que os sais dissolvidos se concentram na água remanescente no solo (ARAGÜES, 1995).

Os principais problemas causados pela salinização dos solos são a redução do potencial osmótico da solução do solo, diminuindo sua disponibilidade de água e a toxicidade de certos íons às plantas (RHOADES et al., 2000; MUNNS, 2002; BERNARDO et al., 2005). Os efeitos dos sais sobre as plantas podem resultar em dificuldade de absorção de água pelo vegetal, similares àquelas de adubações excessivas, e podem provocar interferência nos processos fisiológicos ou mesmo toxidez. Determinados íons como Na^+ e Cl^- , podem: (I) tornar-se tóxicos quando presentes na célula vegetal em demasia; (II) danificar a membrana celular; e (III) promover distúrbios metabólicos, afetando a fotossíntese, respiração, metabolismo de proteínas, atividades enzimáticas, produção de toxinas etc. (MUNNS, 2002). Segundo Rhoades e Loveday (1990) e Bernardo et al. (2005), os efeitos da salinidade são manifestados na redução das taxas de germinação e de crescimento, redução do rendimento, e, em certos casos severos, podem causar a morte generalizada das plantas.

As plantas se classificam, de acordo com a salinidade, em halófitas e glicófitas. A variação no comportamento é muito ampla: desde as glicófitas mais sensíveis, que não crescem normalmente nem em conteúdos muito baixos de cloreto de sódio até as halófitas mais resistentes, como *Rhizophora mangle*, que sobrevive em salinidades próximas à água do mar, *Suaeda marítima* e *Salicornia europea* (LEVITT, 1980) ou as halófitas da família Chenopodiáceas, que não apresentam problemas de crescimento em níveis de salinidade até 15000 mg L^{-1} de

cloreto de sódio, ainda que maiores concentrações as afetem negativamente (LARCHER, 2000).

O primeiro efeito da salinidade nas plantas pode ser descrito como o efeito osmótico. O processo de extração da água do solo pelas plantas se dá quando as forças para extração de água pelos tecidos das raízes são superiores às forças de retenção da água exercida pelo solo. À medida que o teor de umidade do solo diminui, as forças de retenção da água restante tornam-se maiores. Quando a água do solo é retida com força superior às forças de extração, inicia-se a escassez de água na planta. A presença de sais na solução do solo faz com que aumentem as forças de retenção, reduzindo o potencial osmótico do meio e, por conseguinte, a magnitude do problema de escassez de água na planta (AYERS e WESTCOT, 1999).

De acordo com Ayers e Westcot (1999), problemas de toxicidade na planta surgem quando certos íons, constituintes do solo ou da água são absorvidos pelas plantas e acumulados em seus tecidos em concentrações suficientemente altas pra provocar danos e reduzir rendimentos. Os problemas de toxicidade são decorrentes da concentração elevada de um cátion ou ânion específico, bem como de uma composição salina desfavorável na solução do solo, resultando em excessiva ou desbalanceada absorção pelas plantas (SMEDEMA e RYCROFT, 1988). Os íons que mais freqüentemente causam toxicidade são o cloreto (necrose nas folhas), o sódio (queimaduras ou necrose ao longo das bordas das folhas) e o boro (manchas secas nas bordas e no ápice das folhas mais velhas) (AYERS e WESTCOT, 1999). No entanto, Cruciani (1997) afirma que os efeitos de íons específicos não envolvem, necessariamente, a ação direta do sal ou do íon no tecido vegetal. Alguns se fazem sentir pelo desequilíbrio que provocam na absorção de nutrientes essenciais no metabolismo normal da planta. Medeiros e Gheyi (1997) afirmam que em muitos casos a concentração de sais não atinge níveis osmóticos capazes de prejudicar a absorção de água pelas plantas, entretanto, a concentração de íons diversos pode provocar interferências indiretas e ser um obstáculo à boa absorção de elementos essenciais e, conseqüentemente, ao desenvolvimento de um processo metabólico normal.

2.2.2 Tolerância das culturas à salinidade

A tolerância à salinidade é um termo que não está precisamente definido devido aos diferentes enfoques conceituais que se podem fazer. Assim, a tolerância tem sido definida como o grau no qual uma planta ajusta seu potencial osmótico com um sacrifício mínimo de seu crescimento ou como a medida da capacidade de uma planta para suportar os efeitos de uma solução salina concentrada na zona radicular. Levitt (1980) associa a tolerância com a ausência de efeitos negativos sobre o crescimento das plantas que acumulam sais em seus tecidos. A tolerância ao sal é um componente protoplasmático da resistência ao estresse salino. Nessa tolerância, está envolvido o grau em que o protoplasma (dependendo da espécie vegetal, do tecido e do vigor) pode tolerar um distúrbio no balanço iônico associado ao estresse salino, bem como sua capacidade de tolerar a toxicidade e os efeitos osmóticos do aumento da concentração de íons (LARCHER, 2000).

Maas (1986) considera que a tolerância pode ser analisada desde três diferentes pontos de vista: (1) pela aptidão de sobrevivência em solos salinos ; (2) pelo crescimento ou produção absoluta em solos salinos e (3) através do crescimento ou produção num solo salino relativo a um solo não salino. A aptidão de sobreviver pode ser relevante desde um ponto de vista ecológico ou conservacionista, mas é um critério de limitado valor agrônômico, posto que a sobrevivência vai sempre acompanhada com reduções de produção até limites inaceitáveis comercialmente. Por outro lado, os mecanismos de sobrevivência podem ser muito diferentes aos de produção em condições moderadamente salinas. Assim, muitas halófitas se mantêm em solos altamente salinos utilizando várias estratégias tais como dormência, maior succulência ou diminuição do ciclo vegetativo (LEVITT, 1980). Estes mecanismos de sobrevivência têm pouca relação com a produção, já que a dormência é incompatível com altas produções e o aumento da succulência não aporta maior peso seco (ROYO e ARAGÜES, 1989).

O critério da produção absoluta permite fazer estimativas econômicas em condições de salinidade, mas limita as comparações entre as culturas, já que as produções não são expressas em termos comparáveis. A produção absoluta em condições de salinidade pode ser um indicativo mais do vigor que da tolerância real (MAAS e HOFFMAN, 1977; NIEMAN e SHANNON, 1977).

Finalmente, o terceiro critério, da produção relativa, permite comparar culturas distintas cujas produções se expressam em unidade diferentes, pelo que é o critério mais apropriado para julgar os níveis relativos de salinidade que podem tolerar tanto as culturas como seus cultivares (NIEMAN e SHANNON, 1977).

Algumas culturas, devido a melhor capacidade de adaptação osmótica, conseguem produzir satisfatoriamente, mesmo em meio salino. Esta capacidade de adaptação é muito útil e permite a seleção das culturas mais tolerante, capaz de produzir rendimentos economicamente aceitáveis, quando não se pode manter a salinidade do solo abaixo do nível de tolerância das plantas tradicionalmente cultivadas. O nível máximo de salinidade média da zona radicular tolerável pelas plantas, sem qualquer efeito negativo no seu desenvolvimento e rendimento, é conhecido como salinidade limiar (SL) que normalmente é expressa em termos de CE_{es} (GHEYI et al., 1991; AYERS e WESTCOT, 1999).

Mass e Hoffman (1977) obtiveram uma relação linear entre a salinidade e os rendimentos das culturas, representada pela equação $Y = 100 - b (CE_{es} - SL)$, onde: Y corresponde à percentagem de rendimento potencial; SL é o nível de salinidade limiar da cultura, em $dS m^{-1}$; CE_{es} é a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, em $dS m^{-1}$, expressando a condição de salinidade do solo; e “b”, a perda potencial de rendimento provocada pelo aumento unitário acima da condutividade elétrica do limiar de tolerância da cultura.

A resposta da planta à salinidade não depende apenas da concentração de sais. Portanto, num estudo rigoroso da tolerância da planta aos sais, deverá considerar, além da quantidade de sais solúveis totais, outros fatores que, freqüentemente, interferem na produção, tais como planta, solo e clima (FAGERIA, 1989).

Segundo Dias (2004), o comportamento das plantas com relação à salinidade pode variar de acordo com o seu estágio de desenvolvimento, embora não seja claro se isto é devido à susceptibilidade à salinidade em um determinado estágio de crescimento ou ao longo do período em que a planta ficou exposta ao substrato salino, ou a interação entre esses fatores.

Quanto ao fator solo, segundo Fageria (1989) e Ayers e Westcot (1999), a tolerância das culturas pode aumentar, diminuir ou até mesmo não ser afetada, dependendo das interações fertilidade-salinidade que podem ocorrer no solo. Maas e Hoffman (1977) acrescentam que podem ocorrer reduções na tolerância a

salinidade, como resultado de uma excessiva fertilização, no entanto, se a aplicação de fertilizante não causa desequilíbrio nutricional, não haverá efeito significativo na redução da tolerância das culturas aos sais.

Por último, o clima pode afetar a resposta da planta à salinidade. Em geral, a tolerância aos sais é reduzida sob condições de climas quentes e secos (LACERDA, 1995; YEO, 1999), sendo mais pronunciadas nas culturas sensíveis ao passo que culturas em climas frios ou no período do inverno são mais tolerantes à salinidade (MAAS, 1986).

Cheeseman (1988) afirma que, em sentido restrito, os mecanismos de tolerância não podem ser conhecidos, porque a tolerância em si mesma é um descritor qualitativo que reflete correlações entre tamanho, mortalidade e salinidade externa. Além disso, o termo estresse salino não é interpretável ao nível de mecanismo porque se baseia em manipulações de um estado ambiental externo que está ligado somente, indiretamente, com o reajuste do metabolismo celular.

O mecanismo de caráter fisiológico traduz-se como um ajustamento osmótico sendo este um processo que resulta em acúmulo líquido de solutos na célula, acarretando diminuição do potencial hídrico sem que ocorra diminuição da turgescência (TAIZ e ZEIGER, 2002). Ainda segundo os mesmos autores, o ajustamento osmótico pode ocorrer tanto nas raízes como nas folhas, em diferentes magnitudes de intensidades. Fageria (1989) cita que o ajustamento osmótico envolve a absorção e acumulação de íons inorgânicos, bem como a síntese de solutos orgânicos, como carboidratos e ácidos orgânicos.

Muitas halófitas, sob condições salinas, acumulam grande quantidade de íons nas folhas, que, no entanto são mantidos compartimentalizados nos vacúolos das células, onde contribuem para o potencial osmótico sem afetar os sistemas enzimáticos do citoplasma (TAIZ e ZEIGER, 2002). Convém salientar, que freqüentemente, elas acumulam também aminoácidos, especialmente prolina, bem como galactosil-glicerol, ácidos orgânicos e glicinabetaína, estes compostos orgânicos são de importância fundamental para o ajustamento osmótico do citosol (BUCHANAN et al., 2000).

Nas monocotiledôneas halófitas, especialmente as gramíneas, as quais contêm menos sal que as dicotiledôneas halofíticas, a acumulação de carboidratos solúveis exerce uma função importante, a qual é responsável em parte pela manutenção do baixo potencial osmótico no protoplasto (LARCHER, 2000).

Nas glicófitas, o ajustamento osmótico depende também do acúmulo de substâncias orgânicas sintetizadas (GREENWAY e MUNNS, 1980), levando a um maior gasto energético (YEO, 1981). Segundo Greenway e Munns (1980), as glicófitas, em geral, retêm grande quantidade de sais nos caules e nas raízes, e, assim, o ajuste osmótico nas folhas passa a depender mais do acúmulo de solutos orgânicos. A capacidade de acumular solutos orgânicos como prolina, glicinabetaína e açúcares solúveis, entre outros, é importante característica fisiológica que pode favorecer o crescimento das plantas em ambientes salinos (SERRANO e GAXIOLA, 1994).

A maior parte dos trabalhos para elucidar a toxicidade foi centrada no íon Na^+ . Leopold e Willing (1984) encontraram em soja que o íon Na^+ provocava uma alteração na permeabilidade das membranas. Estes mesmos autores encontraram uma maior toxicidade dos cátions monovalentes que dos bivalentes. Resultados semelhantes foram encontrados por Ponnampereuma (1984) e Muhammed et al. (1987) em arroz. Estudos conduzidos por Reid e Smith (2000) assinalam a importância do Ca^{2+} , em condições salinas, sendo necessária uma condição mínima deste íon para manter a integridade da estrutura das membranas e o correto funcionamento do transporte seletivo dos íons. Efeitos positivos do Ca^{2+} foram encontrados em feijão (CACHORRO et al., 1994), sorgo (COLMER et al., 1994), cevada (CRAMER et al., 1991; HUANG e REDMANN, 1995), alfafa (CHAUNDARY et al., 1994), arroz (ZHONG E LAÜCHLI, 1994; LIN E KAO, 1995), milho (ALBERICO e CRAMER, 1993), tomate (SATTI et al., 1994), e em diversas gramíneas (GALVEZ et al., 1993).

Devido à salinidade do solo sempre está associada a elevadas concentrações de NaCl , muitos autores tem se concentrado na busca de relações entre a tolerância à salinidade e a concentração de Na^+ e Cl^- nas diferentes partes da planta e em distintos momentos ao longo dos seus estádios de crescimento. Assim, encontrou-se uma relação entre exclusão de Na^+ e tolerância em sorgo (MAAS et al., 1986; YANG et al., 1990; LACERDA et al., 2003), trigo (SALAMA et al., 1994), e em diversas outras espécies, incluindo o feijão-de-corda (COSTA et al., 2003).

2.2.3 Respostas do feijão-de-corda à salinidade

O feijão-de-corda é uma leguminosa de alto valor protéico que cada dia conquista maior valor agroeconômico, graças a sua característica de adaptabilidade às condições adversas (CARVALHO et al., 2000). No Nordeste brasileiro é uma espécie muito cultivada representando um dos alimentos básicos da população dessa região (ARAÚJO e WATT, 1988; SENA e BISERRA, 1991), além de possuir características adaptativas, intrínsecas a região Nordeste, como suportar altas temperaturas e locais com limitações hídricas (CALEGARI, 1995).

Essa espécie é considerada como moderadamente tolerante à salinidade, e segundo os dados obtidos pela FAO, o feijão-de-corda tolera a irrigação com água salina com condutividade elétrica de até $3,3 \text{ dS m}^{-1}$ e uma condutividade elétrica do solo de $4,9 \text{ dS m}^{-1}$ (AYERS e WESTCOT, 1999), sem redução na produtividade. No entanto, esse valor da salinidade limiar pode ser variável, tanto em função da existência de variabilidade genética intraespecífica em relação a essa característica (COSTA et al., 2003), como em função do tipo de solo, das condições climáticas da região e do método de irrigação utilizado.

As concentrações de sais que restringem o crescimento do feijão variam amplamente entre as variedades, e dependem não só do tipo de sal, mas também do tempo de exposição e do seu estágio de desenvolvimento (SHANNON, 1992). A salinidade devida a altos níveis de Na^+ ou Cl^- pode provocar a inibição da absorção dos íons K^+ e Ca^{2+} pelas raízes, provocando sintomas de deficiências, como a redução no crescimento, afetando também o teor de aminas, bem como o de proteínas (CRAMER et al., 1991).

Avaliando-se a tolerância de 50 genótipos de feijão-de-corda, em condições de casa de vegetação, quando submetidos a diferentes níveis de salinidade, Dantas et al. (2002), concluíram que, quando houve aumento da salinidade ocorreu uma redução na produção de matéria seca em todos os genótipos estudados. Ainda, os mesmos autores, citam que o teor de proteínas nos grãos de caupi em função da salinidade do solo independe da tolerância do genótipo à salinidade na fase de crescimento. A salinidade do solo ocasiona redução no nível de proteínas das plantas, e tanto as proteínas estruturais como as enzimas são afetadas. Esta redução pode ocasionar tanto um retardamento na síntese como uma

aceleração na degradação (DANTAS et al., 2002). LEMOS (1991), estudando os cultivares IPA 202 e CNX 153-3f, quando submetido a níveis crescentes de salinidade no solo, encontrou grande influência do estresse salino sobre o teor de proteínas dos grãos.

Vasconcelos et al. (1987), avaliando o efeito de diferentes tipos de solos salinos, na nodulação e crescimento de plantas de feijão-de-corda, cultivar Pitiúba, encontraram que a salinidade afetou a nodulação e a infecção MVA das raízes bem como o peso da matéria seca da parte aérea. Estes autores, encontraram uma forte ação inibidora do NaCl sobre o crescimento das plantas, além de constatarem, no tratamento de maior nível de salinidade, o albinismo nas plantas.

Segundo Silva et al. (2003), trabalhando com plantas de feijão-de-corda, cultivadas em solução nutritiva, em condições de casa de vegetação, evidenciaram que o estresse salino inibe fortemente o crescimento, provoca distúrbios no balanço hídrico além de elevar o teor total de solutos inorgânicos nas diferentes partes das plantas, bem como apresenta aumento no teor de carboidratos solúveis nas folhas e raízes, redução no teor de nitrogênio amino-solúvel, tanto nas extremidades das raízes como nas folhas trifoliadas mais jovens, e também, uma redução no teor de prolina nas extremidades das raízes.

Aragão et al. (2005) avaliando dois cultivares de feijão-de-corda, Vita 3 e Vita 5, uma tolerante e outra susceptível à salinidade, respectivamente, quando submetidas a um tratamento salino com NaCl 0,01 M, verificaram que a salinidade exerceu maior influência no cultivar Vita 5, ocorrendo redução no crescimento das raízes e da parte aérea e redução na área foliar. No entanto, os conteúdos de clorofila, bem como os parâmetros de fluorescência não foram afetados pelo estresse salino, mas a atividade da ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) diminuiu na Vita 3 e aumentou na Vita 5.

Alguns autores (LAHAYE e EPSTEIN, 1971; GRIEVE e MAAS, 1988), buscando minimizar os efeitos da salinidade nas plantas passaram a utilizar suplementos de Ca^{2+} no ambiente radicular de plantas cultivadas sob condições de estresse salino. Resultados positivos foram encontrados (CRAMER et al., 1990; ORTIZ et al., 1994; LIN e KAO, 1995; COLMER et al., 1996), bem como resultados contrários, ou seja, minorar os efeitos da salinidade adicionando-se cálcio suplementar ao ambiente salinizado (LEIDI et al, 1991; SONG e FUJYIAMA, 1996b). Segundo Lacerda (1995) estas discrepâncias nos resultados podem ser resultados

de diferenças entre as espécies ou cultivares usadas ou das condições ambientais nas quais foram cultivadas. Este autor verificou que a adição de cálcio ao ambiente radicular das plantas estressadas de *Vigna unguiculata* cultivar Pitiúba, cultivadas durante a estação úmida, provocou elevações nos teores de cinzas, de Na^+ 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. No entanto, durante a estação seca, a utilização de Ca^{2+} reduziu o teor de Na^+ no limbo foliar e minorou os efeitos deletérios da salinidade na produção de frutos. Silva (1998) acrescenta que o uso do cálcio no ambiente radicular de plantas estressadas como agente minorador dos efeitos da salinidade é complexo, pois depende da fonte de cálcio utilizada, da espécie vegetal e das condições ambientais nas quais elas são cultivadas.

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 cv. 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 pouco influenciadas pelo cálcio suplementar ao meio. Constatou, ainda, que o crescimento das plantas em meio salino (NaCl) foi afetado tanto pela fonte como pelas concentrações de cálcio adicionadas ao meio. No entanto, não foi possível identificar a dose limite de cálcio em relação ao crescimento vegetativo em meio salino, visto que o CaCl_2 provocou efeito negativo em concentrações acima de 2,5 mM e o CaSO_4 provocou efeitos positivos até a maior concentração utilizada.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido na Casa de Vegetação do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará – CE, localizada nas coordenadas 03°44' S e 38°33' W a 19,5 m de altitude, no período de 05 de maio a 23 de junho de 2005.

3.2 Substrato

O substrato utilizado foi areia lavada de rio, cujas características físico-químicas são apresentadas no QUADRO 1. As análises foram realizadas no Laboratório de Solos/Água do Departamento de Ciências do Solo, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará.

QUADRO 1 – Análises físico-químicas do solo utilizado no experimento.

Característica	
Classificação Textural	AREIA
Densidade global (g cm^{-3})	1,54
Água útil ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	0,5
pH em água	7,03
CE (dS m^{-1})	0,18
Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,50
Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,30
Na^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,15
K^+ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,06
$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,33
Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,00
PST (%)	11,00

3.3 Tratamentos e Delineamento Experimental

Foram estudados 3 tipos de águas (A) com as seguintes composições iônicas: água I (A1), composta de sais de NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O, na proporção de 7 : 2 : 1; água II (A2), composta de sais de Na₂SO₄, CaCl₂, MgCl₂, Na₂CO₃, NaHCO₃ e NaCl, na proporção de 0,5 : 5 : 1,4 : 0,2 : 1,5 : 1,4; e água III (A3) composta por sais de NaCl e CaCl₂, na proporção de 9,96 : 0,04. No QUADRO 2, observa-se a composição química da água utilizadas na irrigação. As águas foram confeccionadas obedecendo-se a relação entre a CEa e sua concentração ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1} = \text{CE} \times 10$) extraída de Rhoades et al. (2000). Essas águas foram combinadas com 4 níveis de condutividade elétrica (C), ou seja, 0,5 dS m⁻¹; 1,5 dS m⁻¹; 3,0 dS m⁻¹ e 4,5 dS m⁻¹. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 5 repetições no esquema fatorial 3 x 4, totalizando 12 tratamentos relacionados no QUADRO 3.

QUADRO 2 – Características químicas das águas aplicadas nos tratamentos.

Água	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	CE (dS m ⁻¹)	pH	RAS
	(mmol _c L ⁻¹)									
Água 1	1,0	0,5	3,5	6,5	-	-	-	0,5	7,0	4,04
	3,0	1,5	10,5	19,5	-	-	-	1,5	7,3	7,00
	6,0	3,0	21,0	39,0	-	-	-	3,0	7,4	9,90
	9,0	4,5	31,5	58,5	-	-	-	4,5	7,3	12,12
Água 2	2,5	0,7	2,15	7,1	0,1	0,75	0,25	0,5	7,9	1,70
	7,5	2,1	6,45	21,3	0,3	2,25	0,75	1,5	8,2	2,94
	15,0	4,2	12,9	42,6	0,6	4,5	1,5	3,0	8,3	4,16
	22,5	6,3	19,35	63,9	0,9	6,75	2,25	4,5	8,4	5,10
Água 3	0,02	-	4,98	5,02	-	-	-	0,5	7,1	49,8
	0,06	-	14,94	15,06	-	-	-	1,5	7,0	86,3
	0,12	-	29,88	30,12	-	-	-	3,0	7,3	122,0
	0,18	-	44,82	45,18	-	-	-	4,5	7,2	149,4

QUADRO 3 - Tratamentos utilizados no experimento.

Água	Salinidade (dS m ⁻¹)	Tratamentos
A1	C1 (0,5)	T1
A1	C2 (1,0)	T2
A1	C3 (3,0)	T3
A1	C4 (4,5)	T4
A2	C1 (0,5)	T5
A2	C2 (1,0)	T6
A2	C3 (3,0)	T7
A2	C4 (4,5)	T8
A3	C1 (0,5)	T9
A3	C2 (1,0)	T10
A3	C3 (3,0)	T11
A3	C4 (4,5)	T12

3.4 Sementes

Foram utilizadas sementes de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivar Pitiúba, obtidas junto ao Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Biologia e Bioquímica Molecular – UFC.

3.5 Instalação do experimento

Colocaram-se, aproximadamente, 22 kg de solo em recipientes, vasos plásticos com 26 cm de diâmetro e 28 cm de altura, perfurados na sua face inferior. Antes, porém, foi colocada uma camada de brita de 2 cm, para facilitar a drenagem. Logo em seguida, os vasos foram colocados na bancada central da casa de vegetação (FIGURA 1), onde se procedeu a lavagem do solo com 2 L de água destilada por três vezes, no intuito de retirar argila existente neste solo. O plantio foi realizado colocando-se quatro sementes em cada vaso.



FIGURA 1 – Disposição dos vasos na casa de vegetação.

3.6 Irrigação

O turno de rega foi diário. A quantidade de água aplicada foi estimada com o objetivo de o solo alcançar sua capacidade de campo e a água começasse a percolar, adicionando-se, aproximadamente, uma fração de lixiviação de 15%, de acordo com Ayers e Westcot (1999). Até a germinação, utilizou-se para a irrigação, água destilada.

3.7 Condução do experimento

A germinação ocorreu 3 dias após o plantio. O desbaste foi realizado 4 dias depois, deixando-se duas plantas por vaso (FIGURA 2). Após o desbaste, iniciou-se a aplicação dos tratamentos. A adubação constituiu na aplicação 200 mL por vaso de solução nutritiva baseada na solução nutritiva de Hoagland (EPSTEIN, 1975) cujos constituintes estão relacionados no QUADRO 3. Foram feitas 10 aplicações ao longo do ciclo da cultura.



FIGURA 2 – Vista do vaso depois de realizado o desbaste.

QUADRO 4 – Composição da solução nutritiva utilizada no experimento.

Constituinte	Quantidade (mL L ⁻¹)
KNO ₃ 1M	6,0
Ca(NO ₃) ₂ 1M	4,0
NH ₄ H ₂ PO ₄ 1M	1,0
MgSO ₄ 0,5M	2,0
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,5
MICRO	1,0
Fe-EDTA	0,5

Foi realizado o monitoramento diário do ensaio, para evitar o ataque de pragas e infestação de doenças. Realizaram-se duas aplicações de Kumulus S, na dose de 3 g L⁻¹, para o controle de ácaros; e, também, uma aplicação de Orthene (Acefato), na dose de 1,5 g L⁻¹, para o controle da cigarrinha.

Foram realizadas medições da taxa fotossintética líquida de folhas maduras, aos 20 dias após o plantio e aos 43 dias após o plantio, utilizando-se um analisador de gás no infravermelho IRGA (LCA-2, ADC, Hoddesdon, UK), em

sistema aberto, com fluxo de ar de 300 mL min^{-1} , bem como a medição das taxas de transpiração e da condutância estomática utilizando-se um porômetro (LI-1600 Steady State Porometer, Li-Cor., Inc., Lincoln, Nebraska, USA). As medições ocorreram sempre entre 10 h e 12 h, em condições de luminosidade plena, utilizando-se umidade relativa do ar, temperatura e radiação do ambiente.

Aos 47 dias após o plantio realizou a medição do teor de clorofila como o medidor de Clorofila modelo SPAD-502 da Minolta.

Aos 43 dias e aos 48 dias após o plantio realizou-se a medição da condutividade elétrica do extrato de saturação através de um condutivímetro portátil (Wet Sensor type Wet 1 CE, Delta T Devices, England).

A coleta do experimento foi realizada aos 48 dias após o plantio, sendo que na ocasião foi medida a área foliar, através do medidor de área foliar (LI – 3100, Area Meter, Li-Cor., Inc., Lincoln, Nebraska, USA), bem como foi determinado o peso fresco das folhas e dos caules. As folhas e os caules foram acondicionados em sacos de papel e colocados para secagem em estufa com circulação forçada, a $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$, por um período de 7 dias, quando se constatou peso constante das amostras, para obtenção da matéria seca da parte aérea. A massa específica foliar (mg cm^{-2}) e a suculência foliar ($\text{g H}_2\text{O dm}^{-2}$) foram calculadas conforme Mantovani (1999).

Na ocasião da coleta do experimento, três folhas de cada planta foram pesadas e acondicionadas em papel alumínio e logo em seguida colocadas em geladeira, para serem liofilizadas. Este material foi utilizado para as determinações de solutos orgânicos.

Após a coleta das plantas, realizou-se a coleta da água drenada de cada vaso, com o objetivo de se fazer às análises químicas da água percolada. As águas foram acondicionadas em recipientes plásticos, e colocados em geladeira até a realização das análises. Em seguida, realizou-se a coleta do sistema radicular, procedendo-se a lavagem das raízes e acondicionando-as em sacos de papel para serem colocadas em estufa a $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$, de circulação forçada, até a obtenção de peso constante, para a obtenção da matéria seca.

3.8 Determinação de solutos inorgânicos

A partir da matéria seca das folhas e dos caules, que foram finamente trituradas em moinho tipo Willey, obteve-se o extrato para a determinação dos teores de Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , P, Fe, Mn, Cu e Zn. O extrato foi preparado utilizando 200 mg do pó moído diluído em 15 mL de Ácido Clorídico 1 N e, em seguida, agitado por 60 minutos e filtrado, utilizando-se papel de filtro de filtragem rápida (MIYAZAWA et al., 1984). Os teores de Na^+ , Ca^{2+} e K^+ foram determinados através de fotometria de chama, enquanto que os teores de P por colorimetria e os teores de Fe, Mn, Cu e Zn através de espectrofotometria de absorção atômica (MALAVOLTA et al., 1989).

Os teores de Cl^- foram determinados em extratos aquosos, feitos a partir da diluição de aproximadamente 100 mg do material seco e moído, do caule e da folha, com 10 mL de água destilada deionizada. O homogeneizado foi mantido em agitação durante, aproximadamente, 60 minutos; e, posteriormente, filtrado em papel de filtro. Para a determinação do Cl^- , utilizou-se uma alíquota de 0,5 mL do extrato, completado para 3,0 mL com água desmineralizada. Em seguida, adicionaram-se 0,5 mL de mistura de $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ 13,2mM, em metanol, e de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 20,2% (4 + 1), lendo-se a absorvância a 460 nm após 15 minutos. Os teores de Cl^- foram determinados por meio de uma curva de calibração, utilizando-se o NaCl como padrão, preparada nas condições anteriores (GAINES et. al, 1984). Cada repetição foi dosada por uma amostra simples, sem replicata.

3.9 Determinação de solutos orgânicos

Utilizou-se extrato preparado a partir 100 mg do pó de folhas liofilizadas, diluído em 10 mL de solução tampão Na-K-Fosfato 0,01 M com NaCl 0,01 M, pH 7,6; macerou-se por 10 min, em almofariz e, em seguida, transferiu-se o conteúdo para tubos de ensaio e colocados em um agitador por 30 minutos. Colocou-se em centrífuga por 10 minutos a uma velocidade de 3000 x g. Por último, filtrou-se o sobrenadante, o qual foi armazenado em freezer até o momento das análises.

Os carboidratos foram determinados utilizando-se alíquotas de 100 μL do extrato diluído em 400 μL de água desmineralizada, colocados em tubos de ensaio; adicionou-se 500 μL de Fenol a 5% e 2,5 mL de Ácido Sulfúrico concentrado,

posteriormente agitados em vortex. Deixou-se esfriar e, procedeu-se a leitura por colorimetria a 490 nm. A concentração de carboidratos foi determinada através de curva de calibração utilizando-se como padrão, a glicose (DUBOIS et al., 1956).

Os teores de proteínas foram determinados colocando-se em tubos de ensaio alíquotas 20 μ L do extrato diluído em 80 μ L de água desmineralizada; adicionou-se 1 mL de Comassie, agitando-se em vortex, e aguardou-se 15 minutos para se fazer a leitura a 595 nm. A concentração de proteínas encontrou-se por meio de curva de calibração, sendo a albumina utilizada como padrão (BRADFORD, 1976).

O procedimento para a determinação de N-aminossolúveis constou de se utilizar alíquotas de 50 μ L de extrato diluído em 450 μ L de solução tampão, adicionou-se 250 μ L de T. Citrato, 500 μ L de KCN e 100 μ L de Ninidrina; aqueceu-se em banho-maria, a 90 °C, por 20 minutos; parou-se a reação com um banho de gelo, então, foram adicionados 650 μ L de Etanol a 60%. Procedeu-se a leitura em colorímetro a 570 nm para através de curva de calibração encontrarmos a concentração de aminoácidos, utilizando-se a glicina como padrão (YEMM e COCKING, 1955).

No caso, da prolina, alíquotas de 1 mL do extrato foram colocadas em tubos de tampa rosqueável, aos quais foi adicionado 1 mL de ninidrina ácida e 1 mL de ácido acético glacial. A mistura foi agitada e colocada em banho-maria, a 90 °C, por 60 minutos. Após esse período, resfriou-se os tubos com um banho de gelo. Depois do resfriamento, adicionou-se a cada tubo, 2 mL de Tolueno e agitou-se em vortex. A fração orgânica (superior) foi retirada com o auxílio de uma pipeta Pasteur, procedendo-se a leitura a 520 nm. A concentração de prolina foi determinada usando-se curva de calibração utilizando-se prolina pura como padrão (BATES et al., 1973).

3.10 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância, tendo sido realizada a comparação entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, através do programa SAEG/UFV. Os dados oriundos de tratamentos com variáveis quantitativas foram submetidos à análise de regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da água percolada e do solo

Observa-se na TABELA 1 que a condutividade elétrica da água drenada (CEad) aumentou consideravelmente com o aumento da salinidade da água aplicada, atingindo valores que indicam elevado risco de salinização (Ayers e Westcot, 1999). O aumento na CEad evidencia a alta taxa de percolação, devida, principalmente, a textura do substrato utilizado no experimento (QUADRO 1). O processo de lixiviação, segundo Gheyi et al. (1991), é uma maneira efetiva de controlar o aumento gradativo de sais solúveis na zona radicular e, que a quantidade extra de água aplicada percola abaixo da zona radicular, removendo pelo menos uma parte dos sais acumulados.

Ainda na TABELA 1, vemos que a composição da água drenada é muito influenciada pela composição da água de irrigação (QUADRO 2), visto que nos tratamentos onde se utilizou água de irrigação com 50 % de CaCl_2 (T5, T6, T7 e T8), a água drenada apresenta níveis maiores do Ca^{2+} , quando comparado com os demais tratamentos onde a presença de sais de cálcio na água de irrigação é menor. Nota-se, também, que os valores de sódio e cloretos na água de drenagem são bastante elevados, em todos os tratamentos, não se diferenciando entre a composição inicial da água de irrigação. Estes resultados evidenciam o que afirmam Gheyi et al. (1991), que nem todos os sais incorporados pelas águas ficam no solo, mesmo em regiões áridas e semi-áridas. No entanto, estes mesmos autores, afirmam que a avaliação dos riscos de salinização de uma determinada área mediante a composição da água de irrigação, não poderá ser realizada simplesmente pela qualidade da água, pois seus efeitos dependem do solo, do clima e da habilidade e conhecimento no manejo do sistema água-solo-planta por parte do usuário.

TABELA 1 – Características químicas da água drenada dos tratamentos coletada ao final do experimento.

Tratamentos	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CE (dS m ⁻¹)	pH	RAS
	(mmol _c L ⁻¹)								
T1	4,10	2,70	28,50	0,10	35,20	0,40	2,93	6,90	15,46
T2	8,00	6,20	61,70	0,10	75,60	0,50	5,66	6,60	23,15
T3	8,70	5,00	53,00	0,10	65,20	0,80	5,66	7,04	20,25
T4	9,80	6,20	61,70	0,10	76,80	0,70	6,29	7,07	21,81
T5	5,20	4,00	15,00	0,10	24,40	0,50	2,32	6,67	6,99
T6	18,40	8,10	38,60	0,10	64,80	0,90	5,39	6,84	10,60
T7	22,20	9,10	43,90	0,10	73,60	2,00	6,26	7,64	11,10
T8	21,50	14,00	35,30	0,10	69,60	0,80	6,11	7,82	8,38
T9	2,00	2,80	33,50	0,10	38,10	0,80	3,05	6,84	21,62
T10	1,40	2,40	47,70	0,10	50,20	0,90	3,96	7,16	34,60
T11	1,20	1,30	76,00	0,10	77,20	1,10	5,59	7,20	67,98
T12	1,60	1,20	59,90	0,10	61,60	1,30	5,84	7,90	50,62

Analisando-se a condutividade elétrica do solo (CEes) (FIGURA 3), podemos observar um aumento ao final do experimento. Embora os valores de CEes tenham sido muito superiores aos valores iniciais, os resultados encontrados estão dentro dos parâmetros da classificação de solos normais, proposta por Richards (1954), o que se deve, em parte, à textura arenosa do substrato e à aplicação da lâmina de lixiviação. No entanto, a utilização de águas com presença de baixo ou alto teor de sais para fins de irrigação, deve ser sempre monitorada, pois o acúmulo de sais no solo, mesmo que gradativo, poderá trazer sérios problemas para o solo e, conseqüentemente, para a produção agrícola. De acordo com Dias (2004) e Oliveira (1997) o processo de salinização secundária do solo é responsável por perdas irreparáveis nos solos, afetando sensivelmente as culturas.

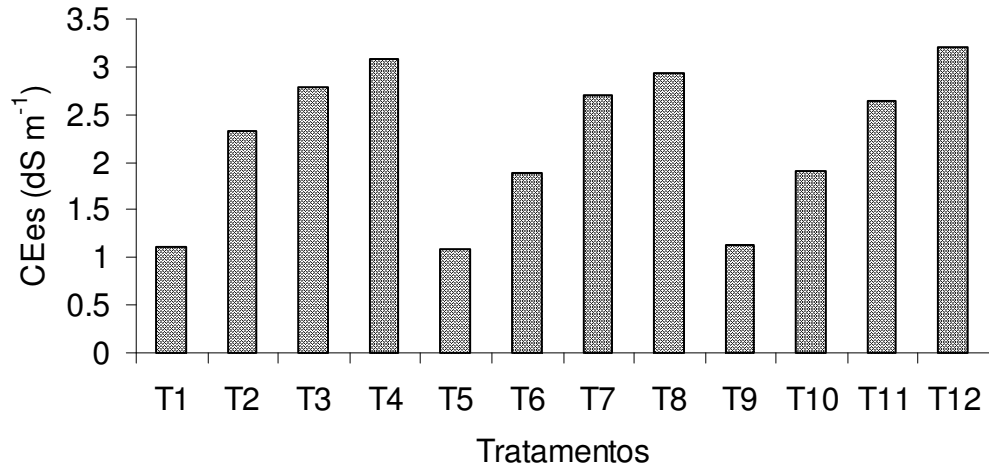


FIGURA 3 – Valores médios da condutividade elétrica do solo nos diversos tratamentos.

4.2 Análise de crescimento das plantas

Na TABELA 2, observamos que o peso seco das folhas, da parte aérea e a matéria seca total não apresentaram diferenças estatísticas para água de irrigação utilizada. Entretanto, o peso seco do caule e da raiz e a área foliar total foram significativos ao nível de 5% de probabilidade, e a relação raiz/parte aérea foi significativa ao nível de 1 % de probabilidade. Os níveis crescentes de salinidade da água de irrigação influenciaram fortemente todos os parâmetros avaliados; ao passo que, a interação entre composição iônica da água e salinidade, foi significativa somente nos parâmetros peso seco das folhas e matéria seca total (TABELA 2).

Verificamos na TABELA 3 que o maior peso seco do caule, em média, foi obtido com a utilização da Água 3 (rica em cloreto de sódio) e com a Água 1 (rica em sais de cálcio e magnésio), sendo a Água 2 (rica em cálcio e bicarbonatos) em que se obteve o menor valor para esta variável. Por outro lado, o peso seco da raiz foi maior nos tratamentos irrigados com a Água 2, apresentando valores superiores aos das Águas 1 e 3, o que resultou em maiores valores da relação raiz/parte aérea quando se utilizou a água rica em bicarbonatos (A2). Os maiores valores da área foliar foram também observados nos tratamentos em que se utilizou água rica em cálcio e bicarbonatos (A2) mostrando valor médio bem superior ao encontrando quando se utilizou a Água 1 e a Água 3.

TABELA 2 – Valores do quadrado médio e significância estatística para o peso seco das folhas (PSF), peso seco do caule (PSC), peso seco da raiz (PSRAIZ), peso seco da parte aérea (PSPA), matéria seca total (MSTOT), relação raiz/parte aérea (R/PA) e área foliar total (AFT), em plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, irrigadas com água salina com diferentes composições iônicas.

Fontes de Variação	Quadrado Médio						
	PSF	PSC	PSRAIZ	PSPA	MSTOT	R/PA	AFT
Água	3,168 ^{ns}	9,870*	5,950*	3,706 ^{ns}	5,322 ^{ns}	0,014**	1645333*
Sal	79,932*	79,756*	31,838*	316,922*	542,288*	0,014**	10928200*
Água x Sal	4,297*	1,245 ^{ns}	1,230 ^{ns}	6,662 ^{ns}	11,167*	0,0013 ^{ns}	73005,29 ^{ns}
Resíduo	1,633	0,965	0,978	3,445	4,694	0,0023	86603,62
C.V. (%)	13,61	8,21	23,85	8,69	8,49	25,30	7,87

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

TABELA 3 – Teores médios de peso seco do caule (PSC), peso seco da raiz (PSRAIZ), relação raiz/parte aérea (R/PA) e área foliar total (AFT), em plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, quando irrigadas com água de diferentes composições iônicas. Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tratamentos	PSC (g)	PSRAIZ (g)	R/PA	AFT (cm ²)
Água 1	12,36 a	4,18 ab	0,1912 ab	3683,8 b
Água 2	11,16 b	4,68 a	0,2187 a	4047,2 a
Água 3	12,39 a	3,59 b	0,1640 b	3481,1 b

O peso seco das folhas, do caule, da raiz e da parte aérea, bem como a matéria seca total das plantas de feijão-de-corda apresentaram comportamento linear decrescente (FIGURAS 4A, 4B, 4C, 4D e 4E) à medida que houve o incremento nos níveis de sais da água. Resultados semelhantes foram encontrados em cevada por Cramer et al. (1991), e em plantas de feijão-de-corda submetidas a

crecentes níveis de NaCl (LACERDA, 1995; SILVA, 1998; COSTA et al., 2003). Dantas et al. (2002) verificou que quando houve aumento da salinidade em genótipos de feijão-de-corda, ocorreu uma redução na produção de matéria seca. A redução na biomassa do feijão-de-corda tem respaldo científico em diversos trabalhos que referenciam que o teor relativo de água nas folhas de plantas de caupi sob salinidade permanece quase inalterado, indicando um eficiente mecanismo protetor acoplado ao fechamento dos estômatos (DANTAS et al., 2002). Larcher (2000), afirma que a produção de biomassa é um bom critério para se avaliar o estresse salino em plantas.

Observa-se na FIGURA 4F que neste experimento a relação raiz/parte aérea diminuiu com o aumento da salinidade da água de irrigação, em consequência dos maiores efeitos da salinidade no crescimento do sistema radicular. Temos um comportamento linear decrescente quando se utiliza as Águas 2 e 3, e um comportamento quadrático, ao se utilizar a Água 1, apresentando uma ligeira tendência de maior relação raiz/parte aérea, no entanto com o incremento da salinidade, ocorre uma redução nesta variável. Verifica-se uma redução de 20 % em relação ao menor nível de salinidade da água de irrigação ($CEa = 0,5 \text{ dS m}^{-1}$). Embora o crescimento radicular seja sensível aos sais (CRAMER et al., 1989), a maioria dos trabalhos mostra que a redução no crescimento é maior na parte aérea do que nas raízes (GREENWAY e MUNNS, 1980). É possível que as condições de cultivo influenciem nessa variável.

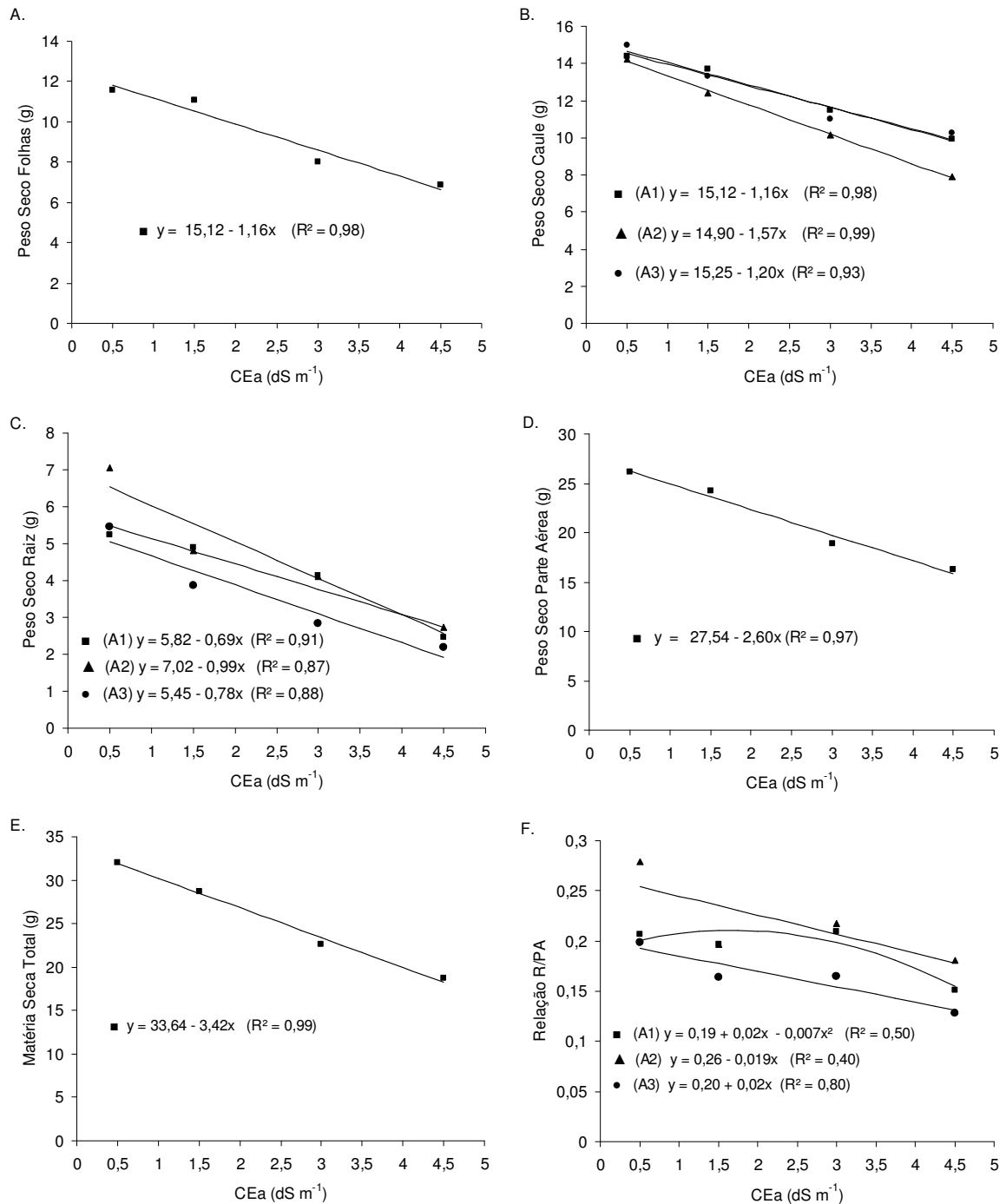


FIGURA 4 – Peso seco das folhas (A), peso seco do caule (B), peso seco das raízes (C), peso seco da parte aérea (D), matéria seca total (E) e relação raiz/parte aérea (F) de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação.

O exame do efeito da salinidade na área foliar é apresentado na FIGURA 5, que mostra decréscimo na área foliar de caráter linear com o aumento da salinidade da água de irrigação. Uma das primeiras respostas das plantas

submetidas ao estresse salino é a redução na taxa de crescimento foliar, reduzindo a área foliar disponível para a fotossíntese (TERRY e WALDRON, 1984). Essa redução na área foliar foi também comprovada por O'Leary (1971) e Sousa (1995) em plantas de *Phaseolus vulgaris*, em plantas de feijão-de-corda por Silva (1998), Costa et al. (2003) e Aragão et al. (2005) e, em bananeira por Carmo et al. (2003).

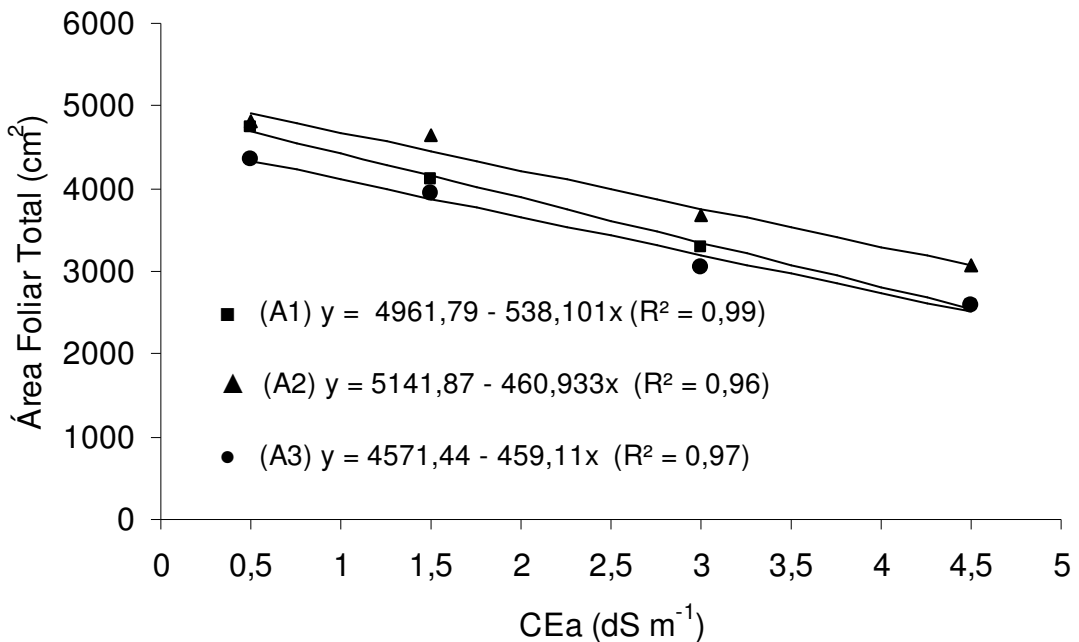


FIGURA 5 – Área foliar total de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação.

4.3 Trocas gasosas e características morfofisiológicas

Observamos na TABELA 4, que a taxa de transpiração e a condutância estomática mostraram-se influenciadas negativamente pelo efeito crescente da salinidade em plantas de feijão-de-corda, no entanto, para a composição da água e para a interação, tanto a transpiração como a condutância estomática não apresentaram significância estatística. A taxa fotossintética líquida não apresentou significância estatística para nenhuma das fontes de variação.

TABELA 4 – Valores do quadrado médio e significância estatística da taxa de transpiração (E), condutância estomática (GS), taxa fotossintética (FOT), suculência foliar (SUC), massa específica foliar (MEF) e clorofila (CLOR) em plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, irrigadas com água salina de diferentes composições iônicas.

Fontes de Variação	Quadrado Médio					
	E	GS	FOT	SUC	MEF	CLOR
Água	11,45 ^{ns}	0,012 ^{ns}	26,03 ^{ns}	0,1407*	0,145 ^{ns}	198,66**
Sal	17,05*	0,088*	2,34 ^{ns}	0,3281*	0,123 ^{ns}	24,00 ^{ns}
Água x Sal	3,61 ^{ns}	0,012 ^{ns}	6,66 ^{ns}	0,1814*	0,278 ^{ns}	14,46 ^{ns}
Resíduo	4,19	0,026	9,98	0,0200	0,153	10,34
C.V. (%)	13,22	15,28	16,02	8,47	15,57	6,66

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

O efeito da salinidade sobre as variáveis taxa de transpiração e condutância estomática, pode ser observado na FIGURA 6. Verifica-se que o efeito da salinidade sobre as trocas gasosas foi bem menos pronunciado do que sobre o crescimento foliar, sendo que na maior concentração de sais da água de irrigação foi verificada uma redução média de 17% na condutância estomática (FIGURA 6A) e de 12% na taxa de transpiração (FIGURA 6B). As discrepâncias entre os efeitos da salinidade sobre o crescimento foliar e sobre as trocas gasosas foram observadas por outros autores (GUILHERME et al., 2003), sendo um indicativo de que a redução no consumo de água em plantas cultivadas em meio salino pode estar mais associado à redução na área foliar total do que na redução da taxa de transpiração por unidade de área foliar.

As reduções na taxa de transpiração pela salinidade também foram encontradas por Silva et al. (2003), Azevedo Neto et al. (2004) e Guimarães (2005). Silva (1998) encontrou que a condutância estomática e a taxa de transpiração reduziram com o aumento da salinidade também em plantas de feijão-de-corda. A redução na condutância estomática e na transpiração pode está associada ao fechamento parcial dos estômatos devido à redução da condutividade hidráulica do sistema radicular provocada pela salinidade, levando a um aumento da suberização e lignificação dos tecidos vasculares das raízes (AZAIZEH et al., 1992; CACHORRO et al., 1993; SONG E FUJIYAMA, 1996a, 1996b; PEYRANO et al., 1997; SILVA,

1998; GUIMARÃES, 2005), causando uma redução no fluxo de água através das plantas e, conseqüentemente, redução das taxas de condutância estomática e transpiração (SILVA, 1998).

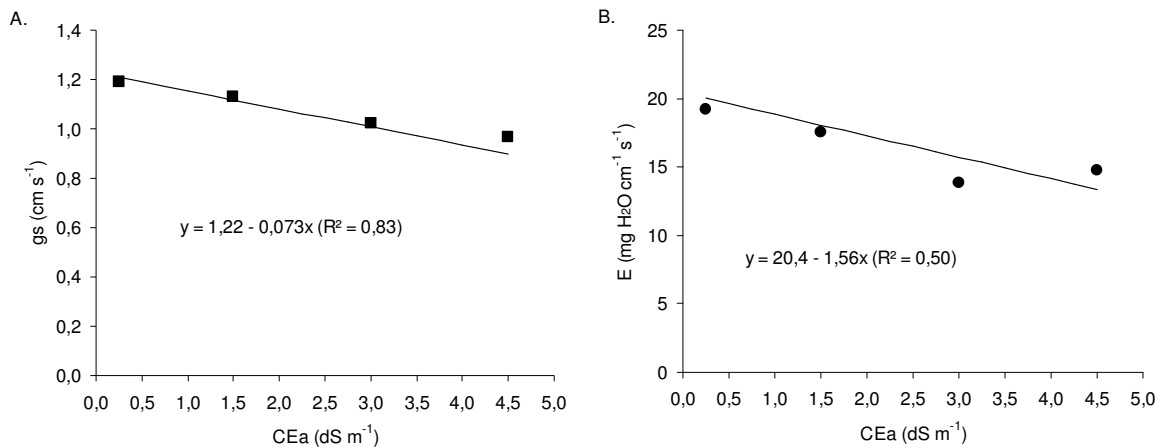


FIGURA 6 – Condutância estomática (A) e taxa de transpiração (B) em folhas de plantas de feijão-de-corda em função dos níveis de salinidade da água de irrigação (CEa).

De acordo com Amorim e Valle (1993), o processo de transpiração controla a absorção e translocação de água e sais minerais constituindo-se num fator importante na dissipação de energia como forma de resfriamento. Ao absorverem CO₂, as plantas perdem água pelas folhas, ocorrendo principalmente através dos estômatos, que apresentam mecanismos para controlar o seu grau de abertura; este mecanismo é atribuído à condutância estomática foliar, parâmetro este utilizado como indicador da deficiência hídrica (Mc DERMIT, 1990).

Conforme os valores apresentados na TABELA 4, podemos observar que houve diferença significativa para as variáveis suculência foliar e clorofila, ao se utilizar água de irrigação com composições iônicas distintas, entretanto, a massa específica foliar não apresentou significância estatística. A suculência foliar apresentou um comportamento significativo ao nível de 5 % de probabilidade, ao incremento de sais na água de irrigação bem como para a interação entre composição iônica da água e os níveis de sais, o que não se verificou com a massa específica foliar e a clorofila (TABELA 4). Na TABELA 5, observamos os valores médios e o respectivo desvio-padrão da massa específica foliar e da clorofila.

TABELA 5 – Médias e desvio padrão da clorofila (CLOR), em unidades arbitrárias, e da massa específica foliar (MEF), em mg cm^{-2} , em plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba irrigadas com águas de composição iônica diferentes em níveis crescente de sais.

Parâmetro	CEa (dS m^{-1})				
	0,5	1,5	3,0	4,5	
CLOR	Água 1	46,46 ± 4,17	48,06 ± 2,63	50,046 ± 2,56	51,74 ± 2,07
	Água 2	46,16 ± 4,71	44,04 ± 3,12	44,44 ± 2,26	44,64 ± 3,52
	Água 3	49,84 ± 1,50	50,44 ± 2,68	49,54 ± 3,22	54,08 ± 4,45
MEF	Água 1	2,36 ± 0,25	2,73 ± 0,13	2,70 ± 0,38	2,50 ± 0,23
	Água 2	2,35 ± 0,24	2,58 ± 0,20	2,38 ± 0,24	2,36 ± 0,30
	Água 3	2,86 ± 0,49	2,57 ± 0,23	2,13 ± 1,01	2,66 ± 0,17

A variável suculência foliar obteve os maiores valores médios quando se utilizou a Água 2, cuja composição iônica predomina sais de cálcio, carbonatos e bicarbonatos, seguida da Água 3 e da Água 1, sendo que estas últimas não diferiram estatisticamente (TABELA 6). Já a variável clorofila teve um comportamento distinto, pois as Águas 3 e 1 apresentaram os maiores valores médios superando a Água 2 (TABELA 6).

TABELA 6 – Teores médios da suculência foliar (SUC), em $\text{g H}_2\text{O dm}^{-2}$, e clorofila (CLOR), em unidades arbitrárias, em plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, quando irrigadas com água de diferentes composições iônicas. Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tratamentos	SUC	CLOR
Água 1	1,60 b	49,08 a
Água 2	1,77 a	44,82 b
Água 3	1,64 b	50,98 a

Na FIGURA 7, observamos que plantas de feijão-de-corda, ao serem submetidas a estresse salino, um aumento na suculência foliar em relação aos menores níveis de salinidade da água de irrigação, explicados por modelos quadrático e linear, sendo que os maiores incrementos foram observados nos tratamentos salinos com água 2, a qual continha a maior concentração de cloreto. Resultados semelhantes também foram observados por Silva (1998), Costa et al. (2003) e Guimarães (2005) ao avaliarem plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba, estressadas com sal. Estes resultados estão também de acordo com os obtidos por outros autores que mostraram que a suculência é uma resposta comum em folhas de plantas estressadas com sais de cloreto, sendo, porém, mais comum em dicotiledôneas (STROGONOV, 1964; ZEKRI, 1991).

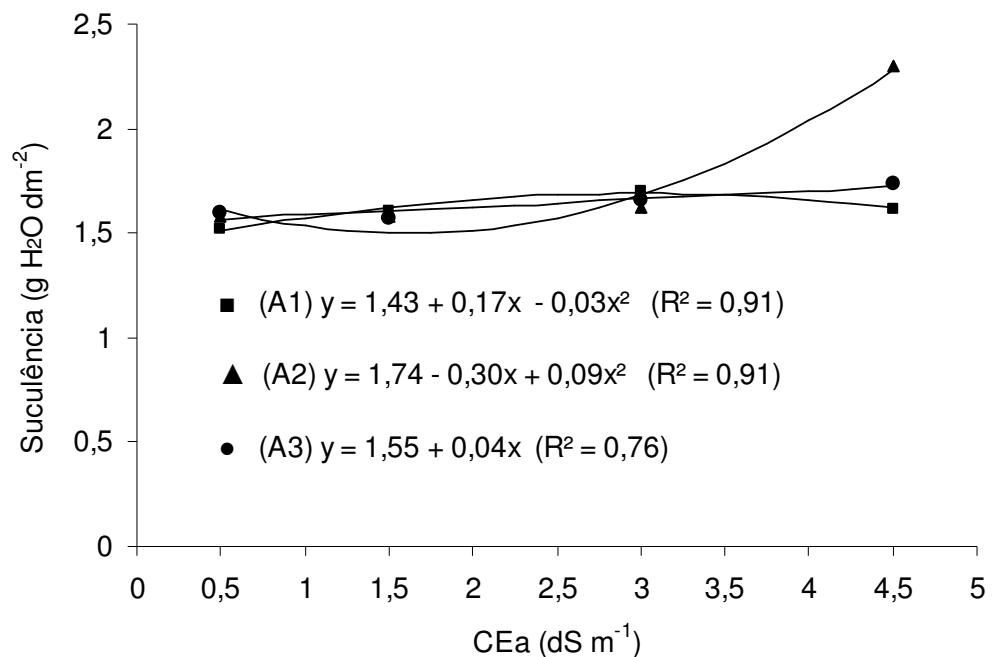


FIGURA 7 – Suculência foliar de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação.

4.4 Composição mineral

4.4.1 Teores de Ca^{2+} , K^+ e P

A absorção e localização de Na^+ , Cl^- , K^+ e Ca^{2+} em plantas submetidas a estresse salino têm recebido muita atenção dos pesquisadores, que pretendem estudar os mecanismos de tolerância à salinidade (GREENWAY e MUNNS, 1980; LACERDA, 2005). Analisando-se a TABELA 7, observamos que a salinidade exerceu efeito significativo nos teores de cálcio e fósforo nas folhas e no caule das plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba, ao nível de 1% de probabilidade, e apenas o potássio não apresentou significância estatística; enquanto que a composição iônica da água de irrigação influenciou todos os íons analisados exceto o íon fósforo, tanto nas folhas como o caule (TABELA 7). Quanto à interação água x sal, apenas a variável íon potássio no caule apresentou significância estatística ao nível de 5% de probabilidade (TABELA 7), enquanto que nas folhas somente a interação água x sal para a variável íon cálcio foi estatisticamente significativa ao nível de 1% de probabilidade (TABELA 7).

TABELA 7 – Valores do quadrado médio e significância estatística para as variáveis cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+) e fósforo (P) no caule e nas folhas de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, irrigadas com água salina de diferentes composições iônicas.

Fontes de Variação	Quadrado Médio					
	Caule			Folhas		
	Ca^{2+}	K^+	P	Ca^{2+}	K^+	P
Água	20,83**	31,560**	1,253 ^{ns}	22,754**	18,479*	1,358 ^{ns}
Sal	10,33**	10,577 ^{ns}	10,318**	2,813**	7,851 ^{ns}	8,917**
Água x Sal	0,549 ^{ns}	11,083*	0,593 ^{ns}	0,864**	9,244 ^{ns}	0,482 ^{ns}
Resíduo	0,569	3,835	0,687	0,131	4,295	0,682
C.V. (%)	8,10	8,85	18,35	15,98	9,63	18,80

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

As respostas do íon cálcio em plantas de feijão-de-corda, quando submetidas a níveis crescentes de sais na água de irrigação, são apresentados na FIGURA 8. Verifica-se um aumento dos níveis do íon cálcio nas folhas, mesmo utilizando-se de águas composições iônicas distintas, enquanto que no caule ocorre um decréscimo, resultados que são distintos aos observados por vários autores (KENT e LÄUCHLI, 1985; GRIEVE e FUJIYAMA, 1987; GRIEVE e MAAS, 1988; CRAMER et al., 1989; NAKAMURA et al., 1990; SILVA, 1998). No entanto, podemos observar que o conteúdo de cálcio nas folhas é superior ao do caule (FIGURA 9), resultado também encontrado por Lacerda (1995) e Silva (1998) em plantas de feijão-de-corda cv Pitiúba, submetidas a estresse salino.

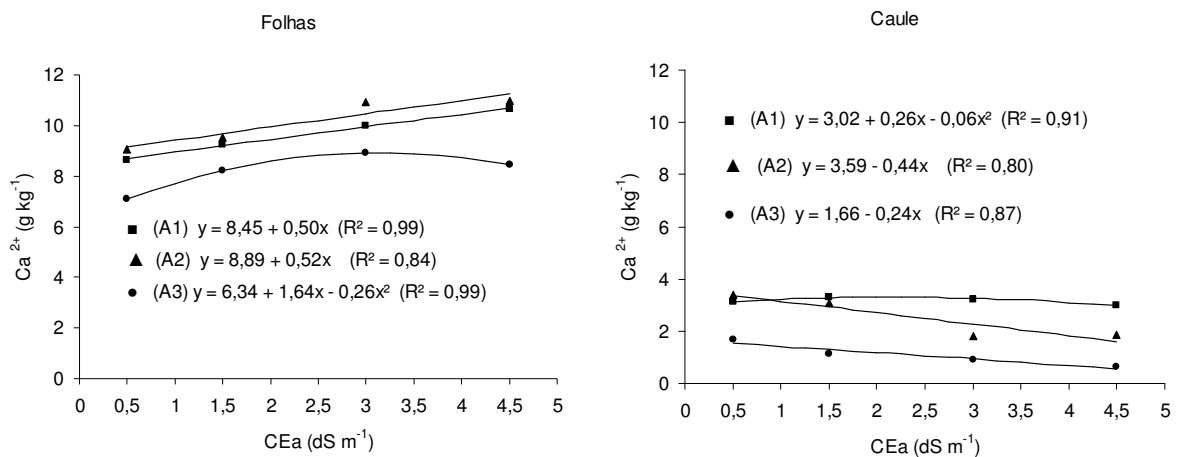


FIGURA 8 – Teor de cálcio nas folhas e no caule de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação.

Os teores de cálcio, de acordo com a composição química da água de irrigação (TABELA 8), apresentam-se maiores nas folhas, quando a irrigação foi realizada com a água 2 (predominância de CaCl₂) e com a água 1 (presença de CaCl₂) e menor valor com a água 3 (sem cálcio). O mesmo resultado pode ser observado para o caule das plantas, visto que o acúmulo de íons cálcio foi influenciado, em ordem decrescente, pelas águas 1, 2 e 3. O aumento nos teores de cálcio nas folhas de feijão-de-corda neste experimento pode ser explicado devido a uma maior absorção deste íon por parte da planta, visto que a composição da água de irrigação tinha uma predominância de sais de cálcio, exceto a água 3.

Vários estudos têm demonstrado os efeitos do cálcio como redutor dos teores de sódio em milho (MAAS e GRIEVE, 1987; ALBERICO e CRAMER, 1993), em feijão (CACHORRO et al., 1994), sorgo (COLMER et al., 1994; LACERDA et al., 2003), cevada (CRAMER et al., 1991; HUANG e REDMANN, 1995), alfafa (CHAUNDARY et al., 1994), arroz (ZHONG e LAÜCHLI, 1994; LIN e KAO, 1995), tomate (SATTI et al., 1994), e em diversas gramíneas (GALVEZ et al., 1993). O efeito benéfico do cálcio em prevenir a entrada de sódio, ocorre primariamente na plasmalema das células da raiz envolvidas na absorção. Estudos conduzidos por Reid e Smith (2000) assinalam a importância do Ca^{2+} , em condições salinas, sendo necessária uma condição mínima deste íon para manter a integridade da estrutura das membranas e o correto funcionamento do transporte seletivo dos íons. Por outro lado, é conhecido o efeito antagônico do excesso de cálcio sobre a absorção de outros íons, como o potássio (MARSCHNER, 1995). Dessa forma, é possível a ocorrência de diferentes respostas da planta à salinidade do meio, quando se compara diferentes tipos de sais. Essas diferenças podem ocorrer em termos de crescimento, na nutrição mineral ou em outras respostas fisiológicas da planta.

O acúmulo de fósforo, nas plantas de feijão-de-corda cv Pitiúba, foi bastante influenciado pelo estresse salino, como podemos observar na FIGURA 9. Houve aumento no teor deste íon tanto nas folhas quanto no caule, para os três tipos de água (A1, A2 e A3), resultado semelhante ao encontrado por vários autores (LEVITT, 1980; MAAS e GRIEVE, 1987; ANDRADE, 1989; LACERDA, 1995; AZEVEDO NETO, 1997; SILVA, 1998). Esses resultados evidenciam a necessidade de cautela na realização de adubação fosfatada em ambiente salino, pois o nível ótimo deste nutriente para a produção vegetal na ausência de sais pode ser tóxico pra algumas plantas cultivadas em ambiente salino (NIEMAM e CLARK, 1976; GRATTAN e MAAS, 1984). Verifica-se na FIGURA 9, que o íon fósforo, é bem distribuído na parte aérea da planta, mesmo quando há aumento nos níveis de sais na água de irrigação.

Por outro lado, alguns autores têm defendido que o aumento na absorção e no acúmulo de P em plantas estressadas é mais comum quando as concentrações de P são altas na solução de cultivo (ROBERTS et al., 1984; NAVARRO et al., 2001), como verificado no presente estudo, e podem não ocorrer em plantas cultivadas no campo ou em meio pobre nesse nutriente. Essa observação foi confirmada em estudo desenvolvido com dois genótipos de sorgo forrageiro

cultivados sob condições de casa de vegetação, em vasos contendo solo arenoso, e irrigadas com águas salinas com até 8 dS m^{-1} (AQUINO, 2005). Este autor, não encontrou nenhuma tendência de acúmulo de P em folhas de plantas de sorgo. Portanto, esses resultados discrepantes demonstram que muitos estudos realizados em condições controladas necessitam de ajustes para que possam melhor representar as condições reais do campo (LACERDA, 2005; MITTLER, 2006).

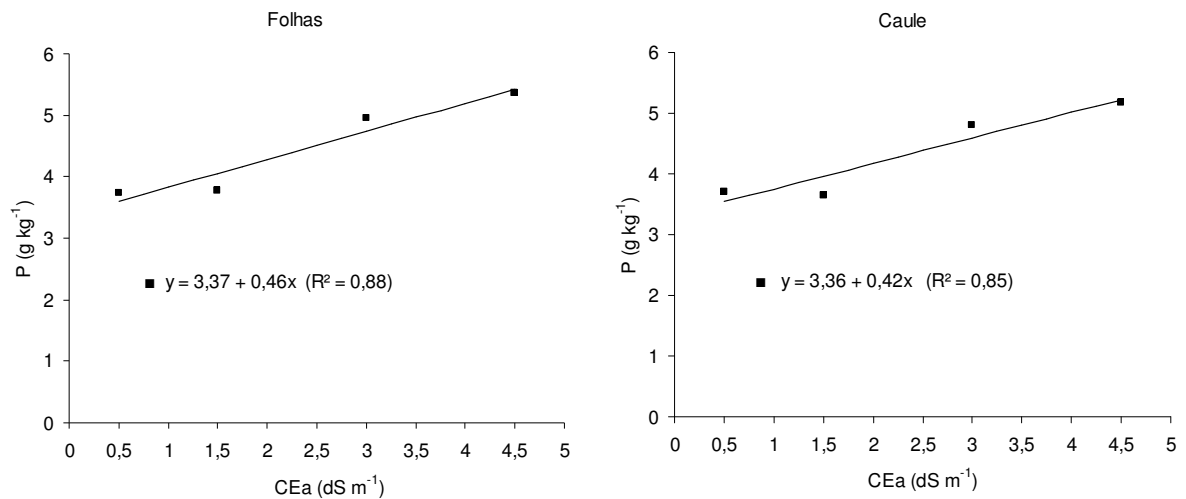


FIGURA 9 – Teor de fósforo nas folhas e no caule de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação.

Altas concentrações do íon sódio pode, inibir a absorção de K^+ pelas plantas, através do antagonismo entre estes dois íons bem como poderá ocorrer o vazamento do íon potássio quando há a substituição do Na^+ pelo Ca^{2+} nas membranas celulares (MARSCHNER, 1995). Na realidade alguns autores têm observado a existência de múltiplos sistemas de absorção com diferentes seletividades para K^+ e Na^+ o que pode refletir a necessidade da planta para coordenar o influxo desses cátions (SCHACHTMAN e LIU, 1999). No presente estudo, no entanto, os teores de K^+ não foram influenciados pelo aumento da salinidade da água de irrigação (FIGURA 10), resultado semelhante ao obtido, em sorgo, por Aquino (2005), porém divergente dos resultados obtidos pela maioria dos

autores (IGARTUA et al., 1995; OLIVEIRA, 2002; SILVA et al., 2003). Particularmente no caso de plantas de feijão-de-corda, observa-se resultados conflitantes (COSTA et al., 2003), sendo observado acúmulo em alguns genótipos e redução em outros. De acordo com Lacerda (2005), a duração do estresse e a idade da folha amostrada podem produzir diferentes resultados e interpretações.

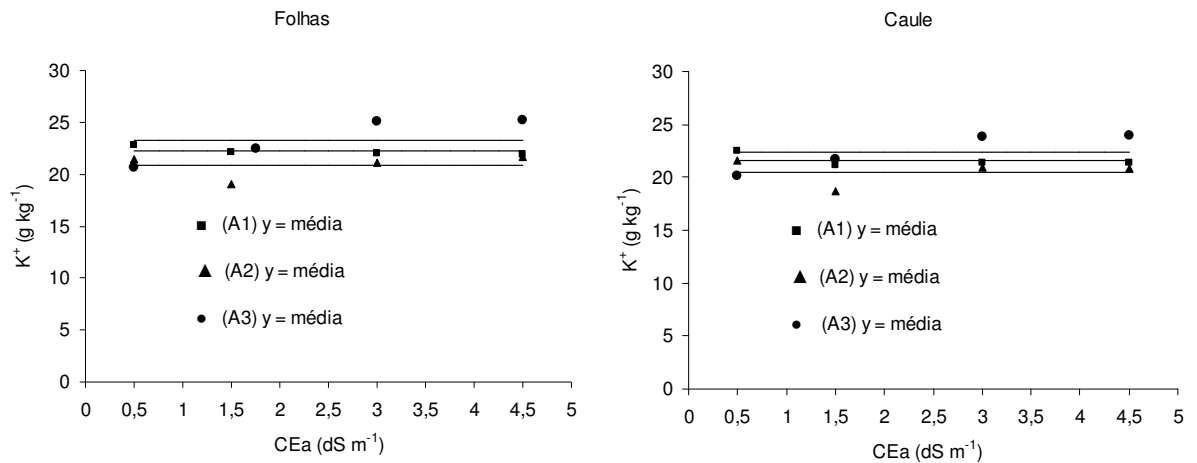


FIGURA 10 - Teor de potássio nas folhas e no caule de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação.

Vários autores já encontraram aumento de potássio, em condições de estresse salino, em folhas de milho (ERDEI e TALEISNIK, 1993), feijão-de-corda (COSTA et al., 2003; SILVA et al., 2003) e em cajueiro (ABREU, 2004); bem como reduções nos teores deste íon em folhas de milho (AZEVEDO NETO et al., 2004) e sorgo (LACERDA, 2000; NETONDO et al, 2004), e em raízes de milho (AZEVEDO NETO, 1997) e citrus (RUIZ et al., 1997). Por outro lado, a composição química da água de irrigação, afetou significativamente o acúmulo deste íon (TABELA 8). Pela TABELA 8, observa-se que ao utilizar a Água 3, os níveis de potássio nas folhas e no caule, são superiores aos níveis encontrados deste íon, quando se utiliza as águas 1 e 2. Vale salientar, que a água 3, é composta essencialmente de NaCl.

TABELA 8 – Teores médios de cálcio (Ca^{2+}) e potássio (K^+), em g kg^{-1} , nas folhas e caules de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, quando irrigadas com água de diferentes composições iônicas. Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tratamentos	Folhas		Caule	
	Ca^{2+}	K^+	Ca^{2+}	K^+
Água 1	9,63 a	22,22 ab	3,16 a	21,61 ab
Água 2	10,13 a	20,82 b	2,54 b	20,52 b
Água 3	8,17 b	23,33 a	1,08 c	22,44 a

4.4.2 Teores de Na^+ e Cl^-

A composição iônica da água de irrigação afetou significativamente os teores dos íons sódio e cloreto tanto no caule quanto nas folhas (TABELA 9), enquanto os níveis crescentes de sais na água somente não influenciaram a variável sódio no caule, pois as outras variáveis analisadas foram altamente influenciadas pela salinidade (TABELA 9). Fato também observado por outros autores (LACERDA, 1995; COSTA et al. 2003; SILVA et al., 2003; GUIMARÃES, 2005). Já para a interação entre a água e o sal, apenas a variável sódio nas folhas apresentou significância estatística ao nível de 1 % de probabilidade (TABELA 9).

O aumento no teor de sódio no caule quando se incrementa os níveis de sais, está representado na FIGURA 11. Vale salientar que o conteúdo de sódio no caule foi maior que nas folhas, resultado também encontrado por Lacerda (1995), Silva (1998) e Guimarães (2005), também em plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba. Isto pode ser explicado pelo fato deste íon durante o seu transporte pela planta, ou seja, das raízes até as folhas, vai sendo eliminado do fluxo transpiratório para ser compartimentalizado nos tecidos do caule + pecíolo (SILVA, 1998). Além disso, o íon sódio pode ser prontamente translocado por meio do floema, e, dessa forma, as altas concentrações que ocorrem em folhas que transpiram ativamente podem ser diluídas através de uma redistribuição por toda a planta (LARCHER, 2000). Geralmente, o menor acúmulo de sódio nas folhas, está associado à relativa habilidade das glicófitas em limitar a absorção e/ou transporte de íons tóxicos,

principalmente Na^+ e Cl^- , da zona radicular para a parte aérea, evitando o seu acúmulo, em níveis que excedam a habilidade das células em compartimentalizá-los no vacúolo (GREENWAY e MUNNS, 1980; MUNNS, 2002).

TABELA 9 – Valores do quadrado médio e significância estatística para as variáveis sódio (Na^+) e cloro (Cl^-) no caule e nas folhas de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, irrigadas com água salina de diferentes composições iônicas.

Fontes de Variação	Quadrado Médio			
	Caule		Folhas	
	Na^+	Cl^-	Na^+	Cl^-
Água	0,034**	22,979**	12,389**	29,099**
Sal	0,0083**	26,816**	0,747 ^{ns}	39,958**
Água x Sal	0,0010 ^{ns}	2,674 ^{ns}	0,714**	1,971 ^{ns}
Resíduo	0,0053	3,338	0,041	1,495
C.V. (%)	12,94	10,41	11,46	7,91

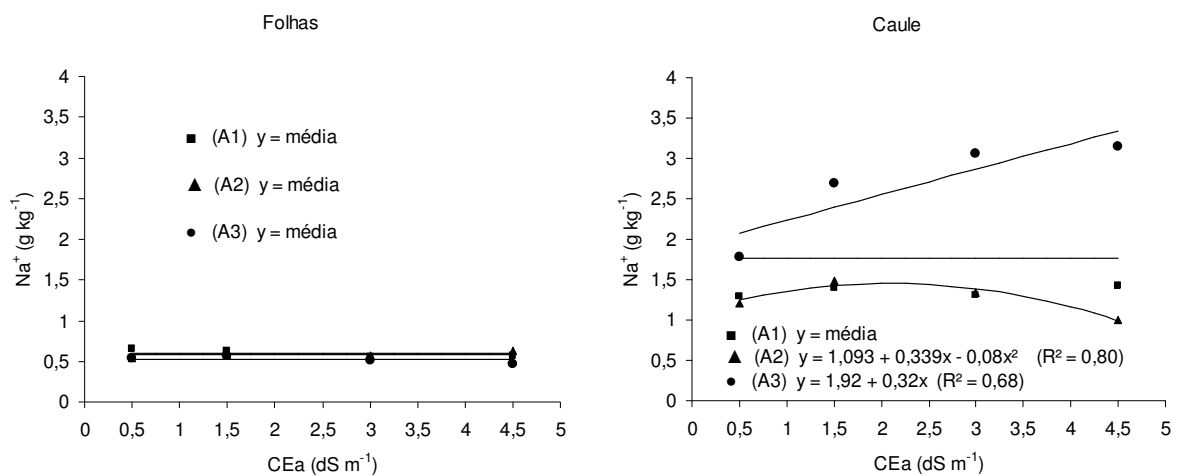


FIGURA 11 – Teor de sódio no caule e nas folhas de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação.

Ao se analisar a resposta do íon cloro à salinidade, podemos perceber que houve um aumento nos seus teores em relação ao tratamento de menor nível de sais (FIGURA 12), e, comparados com os do íon sódio, foram maiores, muito provavelmente devido à composição química da água de irrigação utilizada no experimento. Resultado semelhante foi encontrado por Guimarães (2005) em plantas de feijão-de-corda da mesma cultivar utilizada neste experimento, observando que, para qualquer órgão analisado, o teor de cloreto foi sempre maior que o de sódio. A distribuição do cloro na planta apresentou-se mais uniforme que o sódio (FIGURA 12). Conforme afirma Larcher (2000), a redistribuição do íon cloreto pela planta apresenta-se como forma de sobrevivência em solos salinos. O acúmulo do íon cloreto nas folhas pode contribuir para o ajustamento osmótico (BERNSTEIN, 1961, 1963; SLATYER, 1961, SILVA, 1998) e contribuir para o aumento da succulência foliar, como resultado do acúmulo de água no interior das células e espaços intercelulares (STROGONOV, 1964; SLATYER, 1967; MERCADO, 1973; ZEKRI e PARSONS, 1990; NOBLE e ROGERS, 1994; SILVA, 1998), porém pode acarretar o retardamento ou inibição da formação de novas células (SILVA, 1998).

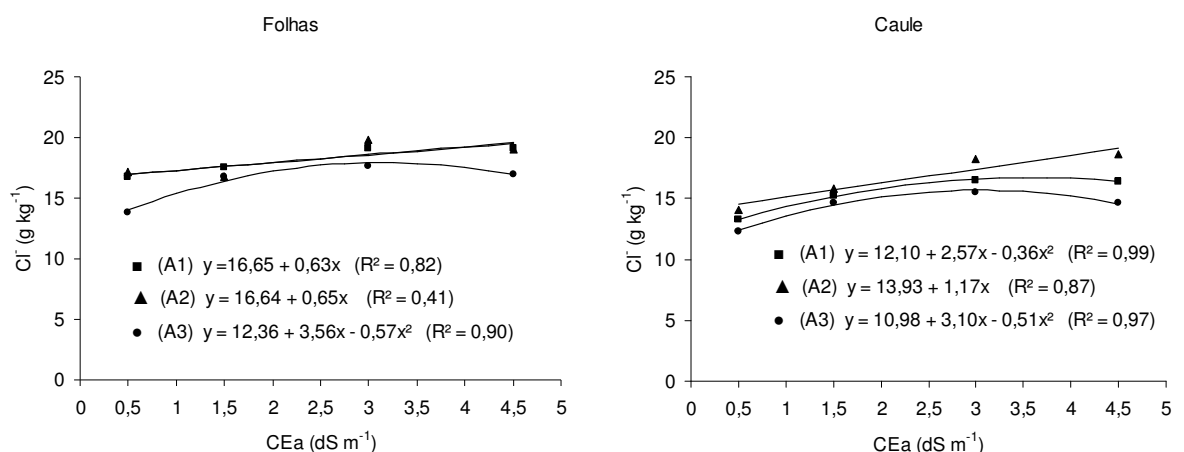


FIGURA 12 – Teor de cloro nas folhas e no caule de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação.

Na TABELA 10, verificamos a influência da composição química da água de irrigação tanto no acúmulo de sódio nas folhas quanto no caule, constata-se que água 3 apresenta maiores teores de sódio no caule que as águas 1 e 2, o que não

se verifica no acúmulo deste íon nas folhas pois a Água 1 e a Água 2 não diferiram estatisticamente, apresentando maiores valores, que a Água 3. Este resultado pode ser explicado pelo fato da composição química da água 3, ser somente de NaCl; indicando que para haver uma compartimentalização eficiente deste íon, deverá existir uma predominância em relação aos outros íons na composição da água utilizada para irrigação; visto que na composição das águas 1 e 2, utilizadas neste experimento, existem sais de cálcio, magnésio bem como a presença de sulfatos, carbonatos e bicarbonatos. Observa-se ainda na TABELA 10, que a composição química das águas 2 e 1 apresentaram maiores valores para o íon cloro nas folhas ao passo que a água 3 apresentou um menor valor deste íon. Já no caule, os valores são superiores para a água 2, seguidas da água 1 e, por último, a água 3.

TABELA 10 – Teores médios de sódio (Na^+) e cloro (Cl^-), em g kg^{-1} , nas folhas e caules de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, quando irrigadas com água de diferentes composições iônicas. Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tratamentos	Folhas		Caule	
	Na^+	Cl^-	Na^+	Cl^-
Água 1	0,60 a	18,16 a	1,36 b	15,37 b
Água 2	0,58 a	18,19 a	1,26 b	16,70 a
Água 3	0,52 b	16,32 b	2,67 a	14,29 c

4.4.3 Teores de micronutrientes

Analisando-se a absorção dos micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn), em plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba, quando submetidas a estresse salino, com águas de composições iônicas diferentes, observamos pela TABELA 11, que a composição química da água de irrigação influenciou na absorção dos íons cobre, ferro e manganês, mas não influenciou as concentrações do íon zinco, tanto no caule quanto nas folhas.

Na TABELA 12, observa-se que o teor do íon cobre nas folhas apresenta-se maior quando se utiliza uma água de irrigação com sais de cálcio, magnésio e sódio (A1) seguidas da água composta de CaCl_2 e bicarbonatos (A2) e da água somente com NaCl em sua composição (A3); por outro lado no caule verifica-se que os maiores teores do íon cobre foram observados na Água 1, seguidas da Água 3 e 2. Os teores do íon ferro nas folhas, foram maiores nas plantas irrigadas com água 3 seguidas das águas 1 e 2. Já no caule, observa-se maiores valores ao se fazer a irrigação com as Águas 1 e 3 em relação a Água 2. Ao se analisar os teores médios do íon manganês nas folhas e no caule das plantas de feijão-de-corda (TABELA 12), observa-se comportamento semelhante ao encontrado para o Fe no caule, ou seja, as águas 1 e 3 apresentam maiores valores em relação a Água 2. Esse resultado sugere que a aquisição de micronutrientes, como ferro e manganês pela planta, pode ser afetada pela composição do meio salino, podendo-se observar redução na absorção desse micronutrientes em função do antagonismo com o íon cálcio em excesso. Resultado semelhante foi encontrado por Alvarenga et al. (2000), que observaram redução na absorção de manganês, em alface, quando se aplicou cálcio via foliar.

A salinidade crescente influenciou somente os íons ferro (caule) e manganês (folha e caule) ao nível de 1 % de probabilidade (TABELA 11). A interação entre a composição iônica da água e à salinidade, mostrou resultados distintos, visto que no caule, os íons ferro e manganês foram estatisticamente significativos, a 1% de probabilidade, enquanto nas folhas (TABELA 11), os íons cobre, ferro e manganês apresentaram significância estatística ao nível de 1% de probabilidade (TABELA 11).

TABELA 11 – Valores do quadrado médio e significância estatística para as variáveis cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no caule e nas folhas de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, irrigadas com água salina de diferentes composições iônicas.

Fontes de Variação	Quadrado Médio ¹				
	Caule				
	Cu	Fe	Mn	Zn	
Água	0,374035**	0,051023**	1,585664**	0,251795 ^{ns}	
Sal	0,041968 ^{ns}	0,001443 ^{ns}	0,304197**	0,236532 ^{ns}	
Água x Sal	0,066999 ^{ns}	0,020536**	0,113118**	0,216050 ^{ns}	
Resíduo	0,031877	0,005536	0,014380	0,337005	
C.V. (%)	10,64	4,25	7,69	19,01	
Fontes de Variação	Folhas				
	Água	0,405917**	0,068937**	0,456245**	0,109038 ^{ns}
	Sal	0,089826 ^{ns}	0,074428**	0,124068**	0,038884 ^{ns}
	Água x Sal	0,193727*	0,101151**	0,025815**	0,254235 ^{ns}
	Resíduo	0,069972	0,012636	0,006794	0,233673
	C.V. (%)	13,34	5,45	3,72	15,08

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

¹ Valores transformados em Logaritmo Neperiano.

TABELA 12 – Teores médios¹ de cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn), em mg kg⁻¹, nas folhas e caules de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, quando irrigadas com água de diferentes composições iônicas.

Tratamentos	Folhas			Caule		
	Cu	Fe	Mn	Cu	Fe	Mn
Água 1	2,144 a	2,006 a	2,317 a	1,834 a	1,783 a	1,743 a
Água 2	1,875 b	2,053 b	2,044 b	1,580 b	1,692 b	1,235 b
Água 3	1,875 b	2,122 ab	2,292 a	1,620 b	1,775 a	1,701 a

* Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

¹ Valores transformados em Logaritmo Neperiano.

Na FIGURA 13, podemos observar que o incremento na salinidade provocou o decréscimo nos teores de manganês, tanto nas folhas quanto no caule, verificando-se que um comportamento quadrático para a água 1 (A1) e água 2 (A2) e linear para a água 3 (A3). Também, na mesma figura, vemos que o íon ferro, não sofre redução acentuada ao aumentar os níveis de sais, nas águas 2 e 3 enquanto que na água 1, verifica-se um aumento na concentração deste micronutriente.

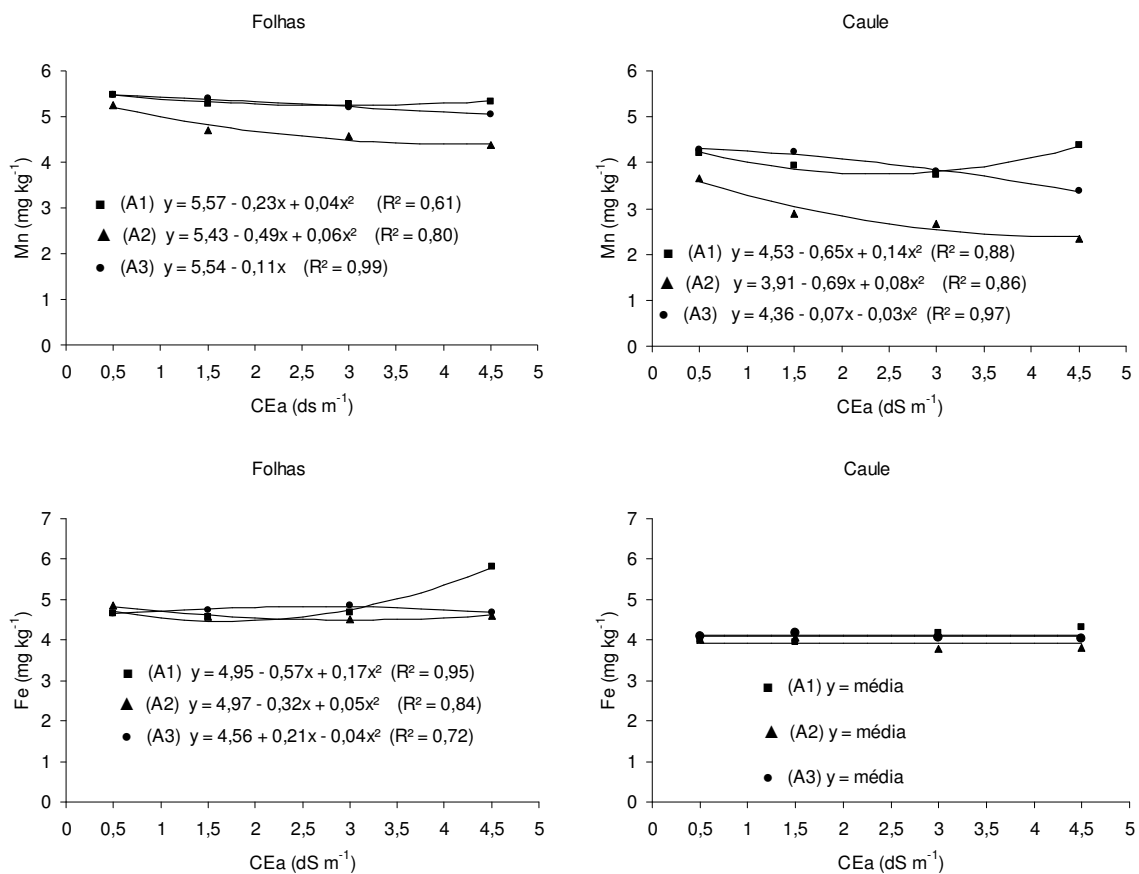


FIGURA 13 – Teores de ferro e manganês nas folhas e caule de plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em função da salinidade da água de irrigação. Valores transformados em Logaritmo neperiano.

Verifica-se que, de um modo geral, os menores teores de micronutrientes foram encontrados nas plantas irrigadas com a Água 2, rica em bicarbonatos e sais de cálcio, o que pode ser explicado, em parte, pelo fato de os cátions micronutrientes (Fe, Cu, Mn e Zn) sofrerem grande influência do pH e do conteúdo de cálcio no solo, ou seja, em condições ácidas, os cátions micronutrientes apresentam maior solubilidade e disponibilidade para a absorção, podendo, às

vezes, tornarem-se tóxicos às plantas. Com o aumento do pH, estes íons passam para formas insolúveis (óxidos e hidróxidos) ocorrendo uma diminuição na sua solubilidade e disponibilidade (AQUINO, 2003).

4.5 Acúmulo de solutos orgânicos nas folhas

Na TABELA 13, podemos observar que a salinidade influenciou significativamente apenas o conteúdo de carboidratos nas folhas de feijão-de-corda cv. Pitiúba, visto que as variações nos teores de prolina, proteína e N-aminossolúveis não foram estatisticamente significativas. Para a composição da água de irrigação, os teores de carboidratos e proteínas foram estatisticamente significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente; enquanto que os valores de prolina e N-aminossolúveis não apresentaram significância estatística (TABELA 13). A interação entre água e salinidade não influenciou, estatisticamente, nenhum das variáveis avaliadas (TABELA 13).

Os carboidratos solúveis e os aminoácidos contribuem para a proteção das biomembranas e das proteínas em relação aos efeitos deletérios da alta concentração iônica (LARCHER, 2000). Na FIGURA 14, podemos observar a influência dos níveis crescentes de sais nos teores de carboidratos nas folhas de feijão-de-corda. Nota-se que a princípio houve uma pequena redução seguida de um aumento, no entanto sem que houvesse uma maior discrepância entre o nível de maior salinidade ($4,5 \text{ dS m}^{-1}$) e o de menor salinidade ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$). Resultado semelhante foi encontrado por Costa et al. (2003), ao analisar a concentração de solutos orgânicos em vários cultivares de feijão-de-corda, entre elas a cultivar Pitiúba. Este resultado indica que o aumento nos teores de carboidratos não pareceu ter contribuído significativamente para a manutenção de um potencial hídrico favorável à absorção de água, ou seja, para o ajustamento osmótico foliar.

TABELA 13 – Valores do quadrado médio e significância estatística para as variáveis prolina (PROLINA), carboidratos (CHOS), proteínas (PROT) e N-aminossolúveis (AMINO) nas folhas de plantas de feijão-de-corda, irrigadas com água salina de diferentes composições iônicas.

Fontes de Variação	Quadrado Médio			
	PROLINA	CHOS	PROT	AMINO
Água	5,295 ^{ns}	4000,082 ^{**}	1,055 [*]	1987,25 ^{ns}
Sal	2,045 ^{ns}	2118,668 [*]	0,754 ^{ns}	948,88 ^{ns}
Água x Sal	2,754 ^{ns}	608,530 ^{ns}	0,481 ^{ns}	1485,51 ^{ns}
Resíduo	1,734	625,183	0,301	1503,58
C.V. (%)	82,43	5,35	31,46	54,39

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

Verifica-se na TABELA 14, que a composição da Água 3, rica em cloreto de sódio, influenciou na obtenção dos maiores valores de carboidratos superando as Águas 1 e 2 e estas por sua vez apresentam igualdade estatística. Silva (1998) ao utilizar NaCl, em plantas de feijão-de-corda, também observou um aumento de carboidratos nas folhas. Para os valores médios de proteínas, vemos que a composição da Água 1 obteve os maiores valores, seguida da composição da Água 3 e, por último, da Água 2 (TABELA 14).

No processo de ajustamento osmótico as plantas absorvem íons e acumulam diversos solutos orgânicos em suas células, resultando num abaixamento do potencial osmótico e manutenção do gradiente de potencial hídrico entre o ambiente externo e o interior da planta (TAIZ e ZEIGER, 2002). Nas glicófitas, o ajustamento osmótico também ocorre, mas a compartimentalização dos íons não é tão eficiente como nas halófitas (O'LEARY, 1975). Segundo Greenway e Munns (1980), as glicófitas, em geral, retém grandes quantidades de sais nos caules e nas raízes, e, assim, o ajuste osmótico nas folhas passa a depender mais do acúmulo de solutos orgânicos. Dentre os osmorreguladores orgânicos encontrados em plantas superiores citam-se: álcoois, açúcares solúveis, betaínas, aminoácidos, prolina e derivados (SOMERO, 1992; HANSON, 1992; SERRANO, 1996; GARCIA et al., 1997; ZHU et al., 1997; IYER e CAPLAN, 1998).

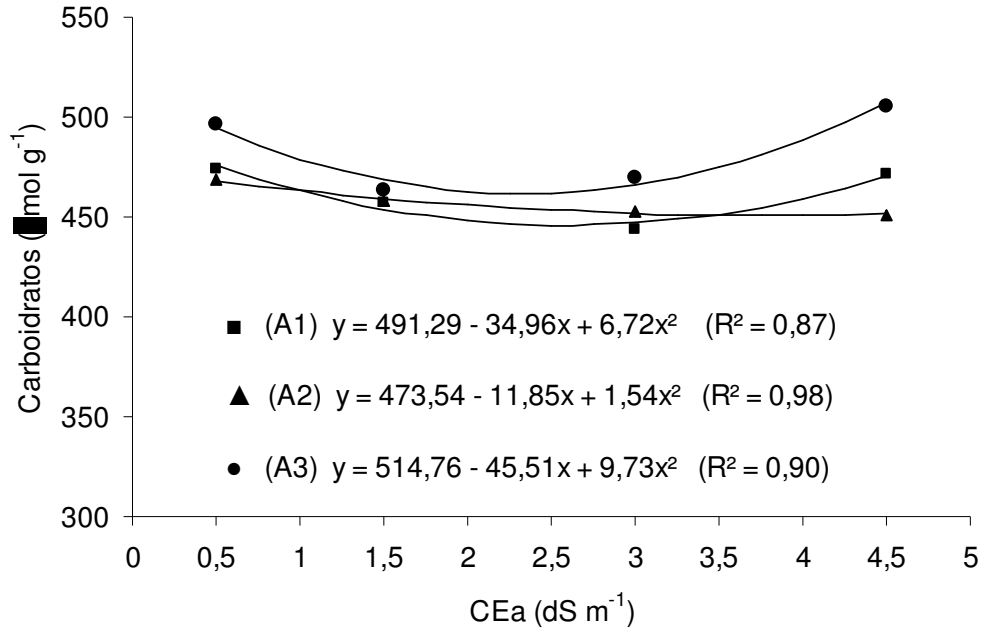


FIGURA 14 – Teor de carboidratos nas folhas de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba em função da salinidade da água de irrigação.

TABELA 14 – Teores médios de carboidratos (CHOS), N-aminossolúveis (AMINO), prolina (PROLINA) e proteínas (PROT) em folhas de plantas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Pitiúba, quando irrigadas com água de diferentes composições iônicas. Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tratamentos	CHOS	AMINO	PROLINA	PROT
		($\mu\text{mol g}^{-1}$)		(mg g^{-1})
Água 1	461,63 b	74,34 a	1,62 a	1,96 a
Água 2	457,64 b	60,16 a	1,07 a	1,50 b
Água 3	483,89 a	79,38 a	2,10 a	1,77 ab

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, podemos concluir:

1. A salinidade reduziu significativamente a produção de biomassa, o crescimento foliar e as trocas gasosas das plantas, porém, com pequena influência da composição da água sobre esses parâmetros;
2. A salinidade provocou um maior acúmulo dos íons Ca, P e Cl nas folhas; entretanto, no caule ocorreu um decréscimo da concentração de Ca^{2+} , aumento de Na^+ , Cl^- e P.
3. O efeito da composição iônica da água de irrigação foi observado principalmente sobre a nutrição mineral;
4. A absorção dos micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) foi afetada pela maior presença de sais de cálcio na água de irrigação bem como pela elevação do pH.
5. O acúmulo do potássio não foi influenciado pela salinidade crescente da água de irrigação, no entanto a composição iônica influenciou na concentração deste íon na planta;
6. Não foram observados relacionamentos significativos entre os teores dos solutos orgânicos analisados e os níveis de salinidade e a composição química da água.
7. O acúmulo de solutos inorgânicos, como Na^+ , Ca^{2+} e Cl^- , sugere a participação dos mesmos no ajustamento osmótico da planta;
8. A composição química da água de irrigação é relevante quando se pretende irrigar, pois o aporte de diferentes sais ao solo poderá influenciar especificamente na absorção de nutrientes minerais, com repercussões negativas no metabolismo da planta e na sua produtividade.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.E.B. **Crescimento, osmorregulação e mobilização de reservas em plântulas de cajueiro anão-precoce submetidas à salinidade.** Universidade Federal do Ceará, 2004. 60p. Monografia (Graduação em Agronomia)

ALBERICO, G. J.; CRAMER, G. R.. Is the salt tolerance of maize related to sodium exclusion.1.Preliminary screening of seven cultivars. **J. of Plant Nutr.**,v.16, p. 2289-2303, 1993.

ALVARENGA, M.A.R.; SILVA, E.C.; SOUZA, R.J.;CARVALHO, J.G. Efeito de doses de nitrogênio aplicadas no solo e níveis de cálcio aplicados via foliar sobre o teor e o acúmulo de micronutrientes em alface americana. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.24, n.4, p.905-916, out./dez., 2000.

AMORIM, S.M.C; VALLE, R.R. Absorção e resistência ao movimento da água no cacauzeiro. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.28, n.8, p.907-913, ago.,1993.

ANDRADE, S.M.G. **Efeito do Ca^{2+} na germinação, composição mineral e crescimento do arroz (*Oryza sativa* L.) cultivado em solução de NaCl.** Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 94p. 1989. Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas.

AQUINO, B.F. **Conceitos fundamentais em fertilidade do solo.** Fortaleza: UFC, 2003. 182p. Notas de aulas

AQUINO, A.J.S. **Avaliação do crescimento e de mecanismos de tolerância à salinidade em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas salinas.** Fortaleza: UFC, 2005, 73p. Dissertação Mestrado

ARAGÃO, M.E.F.; GUEDES, M.M.; OTOCH, M.L.O.; GUEDES, M.I.F.; MELO, D.F.; LIMA, M.G.S. Differential responses of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activities of two *Vigna unguiculata* cultivars salt stress. **Braz. Journal Plant Physiology**, v.17, n.2, p.207-212, 2005.

ARAGÜES, R. Agricultura de regadío, calidad del agua y flujos de retorno. In: **Symposium Nacional Presente y Futuro de los Regadíos Españoles**. CEDEX-MOPTMA. Madrid, Jun/1994. 18p.

ARAGÜES, R. Agricultura de regadío y salinización de suelos y aguas. **Fronteras de la Ciencia y de la Tecnología**, n.8:,p.36-39, 1995.

ARAÚJO, J.P.P.; WATT, E.E. **O caupi no Brasil**. EMBRAPA/CNPAF. Brasília, DF, 1988. 722 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Trad. H. R. Gheyi et al., Campina grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29)

AZAIZEH, H.; GUNSE, B.; STEUDLE, E. Effects of NaCl and CaCl₂ on water transport across root cell of maize (*Zea mays* L.) seedlings. **Plant Physiol.**, v.99, p.886-894, 1992.

AZEVEDO NETO, A.D. **Estudo do crescimento e distribuição de nutrientes em plântulas de milho submetidas ao estresse salino**. UFRPE, Recife. 133p. 1997. Dissertação de Mestrado.

AZEVEDO NETO, A.D.; PRISCO, J.T.; ENÉAS FILHO, J.; LACERDA, C.F.; SILVA, J.V.; COSTA, P.H.A.; GOMES FILHO, E. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 16, p. 31-38, 2004.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.

BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: SILVA, D. D.; PRUSKI, F.F. (Eds.). **Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável da Agricultura**. Viçosa: MMA, SRH, ABEAS, UFV, 1997, 252p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7 ed. Viçosa: Ed. UFV. 2005. 611p.

BERNSTEIN, L. Osmotic adjustment of plants to saline media. I. Steady State. **Amer. J. Bot.**, v.48, p.909-918, 1961.

BERNSTEIN, L. Osmotic adjustment of plants to saline media. II. Dynamic Phase. **Amer. J. Bot.**, v.50, p.360-370, 1963.

BIGGAR, J.W.; ROLSTON, D.E.; NIELSOEN, D.R. Transport of salts by water. **California Agriculture**, v.38, n.10, p.10-11. 1984.

BLANCO, F. F. **Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo**. ESALQ: Piracicaba – SP. 1999. 104p (Dissertação de Mestrado)

BOHN, H.L.; McNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. **Soil Chemistry**. New York, John Willey & Sons, 1985. 341p.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p.246-254, 1976.

BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville, Maryland: American Society of Plant Physiologists, 2000. 1367p.

CACHORRO, P.; ORTIZ, A.; CERDÁ, A. Effects of saline stress and calcium on lip composition in bean roots. **Phytochem.**, v.32,p.1131-1136, 1993.

CACHORRO, P.; ORTIZ, A.; CERDÁ, A. Implications of calcium nutrition on the response of *Phaseolus vulgaris* L. to salinity. **Plant and Soil**, v.159, p.205-212, 1994.

CALEGARI, A. Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná. Londrina: **IAPAR**, 1995. p.115. Circular Técnico,80.

CARMO G. A; MEDEIROS J. F.;TAVARES J. C.; GHEYI, H. R.; SOUZA A. M.; PALÁCIO, E. A. Q. Crescimento de bananeiras sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal/SP, v.25, n.3, p.513-518, 2003.

CARVALHO, J.A.; PEREIRA, G.M.; ANDRADE, M.J.B.; ROQUE, M.W. Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Ciênc. agrotecnica**, Lavras, v.24, n.3, p.710-717, jul./set., 2000.

CHAUNDARY, M. T.; WAINWRIGHT, S. J.; MERRETT, M. J.; SHAHEALAM, M.. Salt tolerant plants of Lucerne (*Medicago media* Pers) regenerated from salt-selected suspension cultures. **Plant Science**, v.98, p.97-102, 1994.

CHEESEMAN, J.M. Mechanisms of salinity tolerance in plants. **Plant Physiology**, v.87, p.547-550, 1988.

COLMER, T. D.; FAN, T. W. M.; HIGASHI, R. M.; LAUCHLI, A.. Interactions of Ca²⁺ and NaCl stress on the ion relations and intracellular pH of *Sorghum bicolor* root tips: an in vivo P-31-NMR study. **J. Exp.Bot.**, v.45, p.1037-1044, 1994.

COLMER, T.D.; FAN, T.W.M.; HIGASHI, R.M.; LÄUCHLI, A. Interactive effects of Ca^{2+} and NaCl salinity on the ionic relations and proline accumulation in the primary root tip of *Sorghum bicolor*. **Physiol. Plant.**, v.97, p.421-424, 1996.

CONTRERAS, A.M.; ELIZONDO, M.S. **Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera**. México: Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Enseñanza Investigación y Servicio en Irrigación, 2. ed.,1980, 22p.

COSTA, P.H.A.; SILVA, J.V.; BEZERRA, M.A.; ENÉAS FILHO, J.; PRISCO, J.T.; GOMES FILHO, E. Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidos à salinidade. **Revista Brasil. Bot.**, v.26, n.3, p.289-297, jul-set., 2003.

CRAMER, G.R.; EPSTEIN, E.; LÄUCHLI, A. Na-Ca interactions in barley seedlings: relationship to ion transport and growth. **Plant, Cell and Environ.**, v.12, p.551-558, 1989.

CRAMER, G.R.; EPSTEIN, E.; LÄUCHLI, A. Effects of sodium, potassium and calcium on salts-stressed barley. I Growth analysis. **Physiol. Plant.**, v.80, p.83-88, 1990.

CRAMER, G.R.; EPSTEIN, E.; LAUCHLI, A. Effects of sodium, potassium and calcium on salt stressed barley. II.- Elemental analysis. **Physiol. Plant.**, v.81, p.197-202, 1991.

CRUCIANI, D.E. Drenagem agrícola para recuperação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. (Eds.) **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. Cap.8, p.239-284.

CRUZ, W.B.; MELO, F.A.C.F. Zoneamento químico e salinização das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil. In: SUDENE, **Boletim de Recursos naturais**, v.7, n. ¼, p.7-40, jan/dez, 1969.

DANTAS, J.P.; MARINHO, F. J. L.; FERREIRA, M.M.M.; AMORIM, M.S.N.; ANDRADE, S.I.O.; SALES, A.L. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.425-430, 2002.

DIAS, N. S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido**. Piracicaba: ESALQ/USP. 2004. 110p. (Tese de Doutorado)

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v.28, p.350-356, 1956.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo de feijão caupi**, Teresina, 2003. Embrapa Meio Norte. Sistemas de produção, 2. Versão eletrônica

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo, EDUSP, 341p. 1975.

ERDEI, L.; TALEISNIK, E. Changes in water relation parameters under osmotic and salt stresses in maize and sorghum. **Physiologia Plantarum**, v.89, p.381-387, 1993.

FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA/DPU, 1989. 425p. (EMBRAPA – CNPAF. Documentos, 18)

FAGERIA, N.K.; GHEYI, H.R. Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. (Eds.) **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. Cap. 11, p. 363-383.

FAO. Faostat agriculture. 2004. Disponível em <http://faostat.fao.org/faostat/>. (07 de novembro de 2005)

FNP CONSULTORIA & COMERCIO. **Agrianual 2004**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo. 2004. 546 p.

GAINES, T. P.; PARKER, M. B.; GASCHO, G. J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. **Agronomy Journal**, v.76, p.371-374, 1984.

GALVEZ, A. F.; GULICK, P. J.; DVORAK, J. Characterization of the early stages of genetic salt-stress responses in salt-tolerant *Lophopyrum elongatum*, salt-sensitive wheat, and their amphiploid. **Plant Physiol.**, v.103, p.257-265, 1993.

GARCIA, A.B.; ENGLER, J.A.; IYER, S.; GERATS, T.; MONTAGU, M.V.; CAPLAN, A.B. Effects of osmoprotectants upon NaCl stress in rice. **Plant Physiol.**, v.115, p.159-169, 1997.

GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F.; BATISTA, M.A.F. Prevenção, manejo e recuperação dos solos salinos e sódicos. **Curso de Especialização em Irrigação e Drenagem**. Mossoró: ESAM, 1991. 56p. Apostila

GRATTAN, S.R.; MAAS, E.V. Interactive effects of salinity and substrate phosphate on soybean. **Agron. J.**, v.76, p.668-676, 1984.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Ann. Rev. Plant Physiol.**, v.31, p.149-190, 1980.

GRIEVE, C.M.; FUJIYAMA, H. The response of two rice cultivars to external Na/Ca ratio. **Plant and Soil**, v.103, p.245-250, 1987.

GRIEVE, C.M.; MAAS, E.V. Differential effects of sodium/calcium ratio on sorghum genotypes. **Crop. Sci.**, v.28, p.659-665, 1988.

GUILHERME, E.A., LACERDA, C.F., BEZERRA, M.A., GUIMARAES, F.V.A., PRISCO, J.T., ENÉAS FILHO, J., GOMES FILHO, E. Efeitos do estresse salino no crescimento foliar e na taxa de assimilação de carbono em plantas de feijão-de-corda In: IX Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal, 2003, Atibaia. **Brazilian Journal of Plant Physiology (Suplemento)**. Londrina: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, v.15, p.391, 2003.

GUIMARÃES, F.V. **Respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba submetidas ao estresse com NaCl em diferentes concentrações de CaCl_2 e CaSO_4** . Fortaleza – UFC, 2005. 176p. Tese de Doutorado em Bioquímica Vegetal.

HANSON, A.D. Compatible solute synthesis and compartmentalization in higher plants. In: **Water and Life**. SOMERO, G.N.; OSMOND C.B.; BOLIS C.L. (eds). Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. Germany, 1992. p.52-69.

HOLANDA, J. P.; AMORIM, J.R.A. Qualidade de água para irrigação. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.M. (eds) **Manejo e Controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. Cap.5, p.137-169.

HOORN, J. W. van. Quality of irrigation water, limits of use of long-term effects. In: **Salinity Seminar, Baghdad**. Rome: FAO, 1971, p.117-35. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 7)

HUANG, J.; REDMANN, R.E. Solute adjustment and calcium supply in cultivated and wild barley. **J. Plant Nutrition**, v.18, n.7, p.1371-1389, 1995.

IGARTUA, E.; GRACIA, M. P.; LASA, J. M. Field responses of grain sorghum to a salinity gradient. **Field Crop Research**, v.42, p.15-25, 1995.

IYER, S.; CAPLAN, A. Products of proline catabolism can induce osmotically regulated genes in rice. **Plant Physiol.**, v.116, p.203-211, 1998.

KENT, L.M.; LÄUCHLI, A. Germination and seedling growth of cotton: salinity-calcium interactions. **Plant Cell Environm.**, v.8, p.155-159, 1985.

KOVDA, V. A.; YARON, B.; SHALHEVELT, Y. Quality of irrigation water. In: KOVDA, V. A.; BERG, C. van den, HAGAN, R. M. (Eds.). **Irrigation, drainage and salinity**. London: HUTCHINSON/FAO/UNESCO, 1973. Cap. 7, p.177-205. (FAO-UNESCO. International Source Book)

LACERDA, C.F. **Efeitos da salinidade do desenvolvimento e composição mineral do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e utilização do Ca²⁺ como meio para minorar tais efeitos**. Fortaleza : UFC, 1995, 87p. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)

LACERDA, C.F. **Crescimento e acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos em dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos a estresse salino**. Viçosa : UFV, 2000. 163p. (Tese de Doutorado em Fisiologia Vegetal)

LACERDA, C.F.; CABRAIA, J.; CANO, 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**, v.49, p.107-120, 2003.

LACERDA, C.F. Interação salinidade x nutrição mineral. 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.127-137, 2005.

LAHAYE, P.A.; EPSTEIN, E. Calcium and salt tolerance by bean plants. **Physiol. Plant.**, v.25, p.213-218, 1971.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução: PRADO, C.H.B.A. & FRANCO. A.C. São Carlos, RiMa, 2000. 533p.

LEIDI, E.O.; NOGALES, R.; LIPS, S.H. Effect of salinity on cotton plants growth under nitrate or ammonium nutrition at different calcium levels. **Field Crop Res.**, v.26, p.35-44, 1991.

LEMOS, G.B. **Avaliação do estado nutricional de duas variedades de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a diferentes níveis de salinidade**. Areia: UFPB, 1991. 85p. Monografia Graduação

LEOPOLD, A.C.; WILLING, R.P. Evidence for toxicity effects of salt membranes. In : "**Salinity tolerance in plants. Strategies for crop improvement**". STAPLES, R.C.; TOENNIESSEN, G.H. (eds.), John Wiley & Sons. 1984.

LEPRUN, J.C. **Primeira avaliação de águas superficiais do Nordeste**. In: SUDENE. Relatório do convênio de manejo e conservação do solo no Nordeste brasileiro. Recife, 1983. p.91-141.

LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses. Water, radiation, salt, and other stress.** Vol II. 2nd edition. Academic Press, New York, 1980.

LIN, C. C.; KAO, C. H. NaCl stress in rice seedlings - The influence of calcium on root growth. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, v.36, p.41-45, 1995.

LOPEZ, P.I. Calidad de las aguas subterráneas y normativas para diferentes usos: contaminación e protección. In: **V MÁSTER INTERNACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE.** CENTER-MAPYA, Madrid. 67p. 2000. Apostila

MAAS, E.V. Salt tolerance of plants. **Applied Agricultural Research**, v.1, p.12-26, 1986.

MAAS, E.V.; GRIEVE, C.M. Sodium-induced deficiency in salt-stressed corn. **Plant, Cell Environm.**, v.10, p.559-564, 1987.

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of the Irrigation and Drainage Division, A.S.C.E.**, v.103, n.1R2, p.115-134, 1977

MAAS, E.V.; POSS, J.A.; HOFFMAN, G.J. Salinity sensitivity of sorghum at three growth stages. **Irrig. Sci.**, v.7, p.1-11, 1986.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e Aplicações. **Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato.** Piracicaba, SP, 1989. 201p.

MANTOVANI, A. A method to improve leaf succulence quantification. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.42, p.9-14, 1999.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2 Ed. Academic Press, London, 1995.

Mc DERMID, D.K. Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. **HortScience**, Alexandria, v.25, n.12, p.1538-48, 1990.

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. **A qualidade da água de irrigação**. Campina Grande: UFPB, 1994. 60p.

MEDEIROS, J.F.; GHEYI, H.R. Manejo de um sistema solo-água-plantas em solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. (Eds.) **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. cap.8, p.239-287.

MERCADO, A. **Structure and function of plant cells in saline habitats**. Halsted Press. Jerusalem, Israel. 284p. 1973.

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trend in Plant Science**, v.11, p.15-19, 2006.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. ; BLOCH, M. F. M. Avaliação de métodos com e sem digestão para extração de elementos em tecidos de plantas. **Ciência e Cultura**, v.36, p.1953-1958, 1984.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. Recife: SUDENE/DPG/PRN/DPP/APR, 1992. 523p.

MOUSINHO, F.E.P. **Viabilidade econômica do feijão caupi no estado do Piauí**. ESALQ, Piracicaba – SP, 103p. 2005. Tese de doutorado.

MUHAMMED, S.; AKBAR, M.; NEUE, H.U. Effect of Na/Ca and Na/ K ratios in saline culture solution on the growth and mineral nutrition of rice (*Oryza sativa* L.). **Plant and Soil**, v.104, p.57-62, 1987.

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

NAKAMURA, Y.; TANAKA, K.; OHTA, E.; SAKATA, M. Protective effects of external Ca^{2+} on elongation and the intracellular concentration of K^+ in intact mung bean roots under high NaCl stress. **Plant Cell Physiol.**, v.31, p.815-821, 1990.

NAVARRO, J.M., BOTELLA, M.A., CERDÁ, A., MARTINEZ, V. Phosphorus uptake and translocation in salt-stressed melon plants. **Journal Plant Physiology**, v.158, p.375-381, 2001.

NIEMAN, R.H.; CLARK, R.A. Interactive effects of salinity and phosphorus nutrition on the mature photosynthesizing corn leaves. **Plant Physiol.**, v.57, p.157-161, 1976.

NIEMAN, R.H.; SHANNON, M.C. Screening for salt tolerance. **A.I.D. Joint Invitational Workshop on Adaptation of Plant to Mineral Stress in Problem Soils**, U.S.D.A., A.R.S., Cornell University, p.2-27. 1977.

NETONDO, G.W.; ONYANGO, J.C.; BECK, E. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. **Crop Science**, v.44, p.806-811, 2004.

NOBLE, C.L.; ROGERS, M.J.E. Response of temperate forage legumes to waterlogging and salinity. In: **Handbook of Plant and Crop Stress**. M. Pessaraki ed.. Marcel Dekker, Inc. New York. p. 473-496, 1994.

O'LEARY, J.W. Physiological basis for plant growth inhibition due to salinity. In: **Food, fiber, and the arid lands**. MCGINNIES, W.G.; GOLDMAN, B.J.; PAYCORE, P. (eds.), Arizona, AASS & Univ. of Arizona Press. p.331-336. 1971.

O'LEARY, J.W. High humidity overcomes lethal levels of salinity in hidroponically grown salt-sensitive plants. **Plant and Soil**, v.42, p.717-721, 1975.

OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.M. (eds) **Manejo e Controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. Cap. 1, p.1-36.

OLIVEIRA, I. P.; CARVALHO, A. M. A cultura do caupi nas condições de clima e solo dos trópicos úmidos e semi-áridos do Brasil. In: ARAÚJO, J. P. P.; WATT, E. E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Brasília: IITA; EMBRAPA,. 1988. Cap. 3, p.63-96.

OLIVEIRA, M.; MAIA, C.E. **Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte**. Campina Grande, DEAg/UFPB, v.2, n.1, p.17-21, 1998.

OLIVEIRA, H.P.M. **Efeitos da concentrações iso-osmóticas de sais (NaCl + KCl) sobre o crescimento e o acúmulo de íons em plantas de sorgo forrageiro**, Fortaleza, CE/UFC, 2002, 32p. Monografia (Curso de Agronomia, Universidade Federal do Ceará)

ORTIZ, A.; MARTINEZ, V.; CERDÁ, A. Effects of osmotic shock and calcium on growth and solute composition of *Phaseolus vulgaris* plants. **Physiol. Plant.**, v.91, p.468-176, 1994.

PEREIRA, J.R.; VALDIVIESO, C.R.; CORDEIRO, G.G. Recuperação de solos afetados por sódio através do uso de gesso. In: **SEMINARIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA**, Brasília, 1985. Brasília, p. 85-105.

PEYRANO, G.; TALEISNIK, E. QUIROGA, M.; FORCHETTI, S.M.; TIGIER, H. Salinity effects on hydraulic conductance, lignin content and peroxidase activity in tomato roots. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.35, p.387-393, 1997.

PONNAMPERUMA, F.N. Role of cultivar tolerance in increasing rice production on saline lands. In: "**Salinity tolerance in plants. Strategies for crop improvement**". STAPLES, R.C.; TOENNIESSEN, G.H. (eds.), John Wiley & Sons, p.257-271. 1984.

QUEIROZ, J.E.; GONÇALVEZ, A.C.; SOUTO, J.S.; FOLEGATTI, M.V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In.: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. (Eds) **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. Cap. 3. p. 69-111.

REID, R.J.; SMITH, A. The limits of sodium/calcium interactions in plant growth. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.27, p.709-715, 2000.

RHOADES, J.D.; LOVEDAY, J. Salinity in irrigated agriculture. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (co-eds.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: Amer. Soc. Agron., 1990. cap. 9, p.31-67. (Agronomy, 30)

RHOADES, J.P.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **The use saline waters for crop production**. Trad.: GHEYI, H.R.; SOUSA, J.R.; QUEIROZ, J.E. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D.C., U.S. Salinity Laboratory, 1954. 160p. (USDA Agriculture Handbook, 60)

ROBERTS, J. K. M.; LINKER, C. S.; BENOIT, A. G.; JARDETZKY, O.; NIEMAN, R. H. Salt stimulation of phosphate uptake in maize root tips studies by ³¹P nuclear magnetic resonance. **Plant Physiology**, v.75, p.947-950, 1984.

ROYO, A.; ARAGÜES, R. Efectos de la salinidad sobre las plantas: tolerancia, manejo agronomico, genética y mejora. **Diputación General de Aragon**. 59p. 1989.

RUIZ, D.; MARTINEZ, V.; CERDÁ, A. Citrus response to salinity: growth and nutrient uptake. **Tree Physiology**, v.17, p.141-150, 1997.

SALAMA, S.; TRIVEDI, S.; BUSHEVA, M.; ARAFA, A. A.; GARAB, G.; ERDEI, L. Effects of NaCl salinity on growth, cation accumulation, chloroplast structure and function in wheat cultivars differing in sail tolerance. **J. Plant Physiol.**, v.144, p.241-247, 1994.

SANTOS, J.G.R. **A Salinidade na agricultura irrigada: Teoria e Prática**. Campina Grande: [s. n.], 2000. 171p.

SANTOS, R.V.; HERNANDEZ, F.F.F. Recuperação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.M. (eds.). **Manejo e Controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. Cap. 10, p.319-361.

SATTI, S. M. E.; IBRAHIM, A. A.; ALKINDI, S. M. Enhancement of salinity tolerance in tomato - implicaitons of potassium and calcium in flowering and yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, p.2825-2840, 1994.

SCHACHTMAN, D.; LIU, W. Molecular pieces to the puzzle of the interaction between potassium and sodium uptake in plants. **Trends Plant Science**, v.4, p.281-287, 1999.

SENA, A.E.S.; BISERRA, J.V. **Eficiências e economicidade da irrigação por aspersão na cultura do feijão-de-corda *Vigna unguiculata* (L.) Walp**. Produção Científica do PDCT/NE no Ceará, v.2, p.588-605, 1991.

SERRANO, R.; GAXIOLA, R. Microbial models and salt stress tolerance in plants. **Critical Rev. Plant Sci.**, v.13, p.121-138, 1994.

SERRANO, R. Salt tolerance in plants and microorganism: toxicity targets and defense responses. **Int. Rev. Cytol.**, v.165, p.1-52, 1996.

SHANNON, M.C. The effects of salinity on cellular and biochemical processes associated with salt tolerance in tropical plants. In: **Proceedings in plant stress in the tropical environment** (T.L. Davenport & H.M. Harrington, eds.). University of Florida, Kailu-Kona, 1992. p.56-63.

SILVA, J.V. **Efeitos do CaCl_2 no crescimento e acumulação de osmorreguladores em plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba estressadas com NaCl.** Fortaleza, UFC, 103p. 1998. (Dissertação de Mestrado em Fitotecnia)

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 grown in nutrient solution supplemented with CaCl_2 . **Braz. Journal Plant Physiology**, v.15, n.2, p.99-105, 2003.

SILVA JUNIOR, L.G.A.; GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.3, n.1, p.11-17, 1999.

SLATYER, R.O. Effects of several osmotic substrates on water relations of tomato. **Aust. J. Biol. Sci.**, v.14, p.519-540, 1961.

SLATYER, R.O. **Plant-water relationships.** Academic Press, Inc. London. 366p. 1967.

SMEDEMA, L.K.; RYCROFT, D.W. **Land drainage: Planing and design of agricultural drainage systems**. London: Bastfort, 1988. 376p.

SOMERO, G.N. Adapting to water stress: convergence on common solutions. In: **Water and Life**. SOMERO, G.N., OSMOND, C.B., BOLIS, C.L. (eds). Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. Germany, 1992. p. 3-18.

SONG, J.Q.; FUJIYAMA, H. Ameliorative effect of potassium on rice and tomato subjected to sodium salinization. **Soil Sci. Plant Nutr.**, v.42, n.3, p.493-501, 1996a.

SONG, J.Q.; FUJIYAMA, H. Difference in response of rice and tomato subjected to sodium salinization to the addition of calcium. **Soil Sci. Plant. Nutr.**, v.42,n.3, p.503-510, 1996b.

SOUSA, M.R. **Comportamento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Eriparza) submetido a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação**. Lavras :UFLA, 1995. 94p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola

STROGONOV, B.P. **Physiological basis of salt tolerance of plants – as affected by various types of salinity**. Israel Program Scientific Translations Ltd.. Jerusalem. 279p. 1964.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 3st ed. Massachusetts: Sinauer Associates. 690p. 2002.

TERRY, N.; WALDRON, L.J. Salinity, photosynthesis, and leaf growth. **California Agriculture**, v.36, n.10, p.38-39, 1984.

ULZURRUN, M.D.D. Salinidad e alcalinidad del suelo em relación com el riego de drenaje. In: **V MÁSTER INTERNACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE**. CENTER-MAPYA, Madrid. 161p. 2000. Apostila

VASCONCELOS, I. MENDES FILHO, P.F.; ALMEIDA, R.T. Nodulação e desenvolvimento do feijão-de-corda, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., em solos com diferentes níveis de salinidade. **Revista de Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.18 , n.1, p.125-130, 1987.

YANG, Y.W.; NEWTON, R.J.; MILLER, F.R. Salinity tolerance in Sorghum. I. Whole plant response to sodium chloride in *S. bicolor* and *S. halepense*. **Crop Sci.**, v.30, p.775-781, 1990.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of amino-acids with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, p. 209-213, 1955.

YEO, A.R. Salt tolerance in the halophyte *Suaeda marítima* L. Dum: intracelular compartmentation of ions. **Journal of Experimental Botany**, v.32, p.487-497, 1981.

YEO, A. Predicting the interaction between the effects of salinity and climate change on crop plants. **Scientia Horticulturae**, v.78, p.159-174, 1999.

ZEKRI, M. Effects of NaCl on growth and physiology of sour orange and Cleopatra mandarin seedlings. **Scientia Horticulturae**, v. 7, p.305-315, 1991.

ZEKRI, M.; PARSONS, L.R. Calcium influences growth and leaf mineral concentration of citrus under saline conditions. **Hort. Sci.**, v.25, n.7, p.784-786, 1990

ZHONG, H. L.; LAUCHLI, A. Spatial distribution of solutes, K, Na, Ca and their deposition rates in the growth zone of primary cotton roots: Effects of NaCl and CaCl₂. **Planta**, v.194, p.34-41, 1994.

ZHU, J.K., HASEGAWA, B.; BRESSAN, R.A. Molecular aspects of osmotic stress in plants. **Crit. Rev. Plant. Sci.**, v.16, p. 253-277, 1997.