

ALEXANDRE JOSÉ SILVA DE AQUINO

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E DE MECANISMOS DE  
TOLERÂNCIA À SALINIDADE EM PLANTAS DE SORGO  
FORRAGEIRO IRRIGADAS COM ÁGUAS SALINAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do grau mestre em Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Claudivam Feitosa de Lacerda,  
Mestre - UFC

**Fortaleza  
2005**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ALEXANDRE JOSÉ SILVA DE AQUINO

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E DE MECANISMOS DE  
TOLERÂNCIA À SALINIDADE EM PLANTAS DE SORGO  
FORRAGEIRO IRRIGADAS COM ÁGUAS SALINAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do grau mestre em Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

APROVADA: 5 de agosto de 2000

---

Marlos Alves Bezerra,  
Conselheiro

---

Raimundo Nonato Távora Costa,  
Conselheiro

---

Claudivan Feitosa de Lacerda,  
Orientador

**DEDICO**

À meus pais, Antegnar e Eliana,  
e aos meus irmãos Antegnar Filho,  
Adriano, Manuel e Mônica

## AGRADECIMENTOS

À Deus pai, que nos dá os meios de obter o conhecimento.

Aos meus pais e irmãos, pelo apoio, educação e carinho sempre constantes.

Ao orientador Claudivan Feitosa de Lacerda pelo incentivo, apoio, otimismo, conhecimento e atenção expressados durante a realização do curso.

À Universidade Federal do Ceará – UFC, através do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos serviços prestados.

À Coordenação de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de recursos financeiros indispensáveis para a realização desta pós-graduação.

Ao professor Raimundo Nonato, pelo incentivo e pelas valiosas críticas e sugestões apresentadas ao trabalho.

Ao pesquisador Marlos Alves Bezerra, pelas valiosas críticas e sugestões apresentadas.

Ao professor e coordenador do Curso de Pós Graduação em Irrigação e Drenagem Francisco Marcus Lima Bezerra, pelo apoio e amizade.

A todos os professores(as) e funcionários(as) do departamento de Engenharia Agrícola da Universidade federal do Ceará, pela amizade e conhecimentos transmitidos.

Aos funcionários(as) e o Professor Joaquim Enéas Filho, do departamento de Bioquímica da Universidade Federal do Ceará, pelo apoio durante a realização das análises.

Aos funcionários(as) do Departamento de Solos da Universidade Federal do Ceará pelo apoio durante a realização das análises.

Aos colegas de mestrado, em especial, Alípio, Alves Neto, Daniel, Elba, Esaú, Fábio, Itamar, John Herberth, Juliana, Luís, Mauro Régis, Neuzo, Robson, Rodrigo, Sildenmery, Socorro, Suassuna e Wlisses pelo companheirismo e atenção ao longo do curso.

À aluna de graduação e amiga Ponciana, pelas horas de apoio.

Aos eternos(as) amigos(as) e companheiros(as) de graduação Alexsandro Holanda, Hilma Maria, Leonardo Passos, Leonardo Salviano, Oswald de Souza (*in memorian*), Sergio Henrique e Virgínia Claudia.

À todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, o meu MUITO OBRIGADO

## SUMÁRIO

|  |      |
|--|------|
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> .....  | vii  |
| <b>LISTA DE TABELAS</b> .....  | viii |
| <b>RESUMO</b> .....  | x    |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | xi   |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | 12   |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....  | 14   |
| 2.1. Aspectos gerais da salinidade.....                                      | 14   |
| 2.2. Ação dos sais sobre as plantas.....                                     | 16   |
| 2.3. Tolerância e sensibilidade à salinidade.....                            | 19   |
| 2.4. O sorgo.....  | 21   |
| 2.4.1. Aspectos gerais.....  | 21   |
| 2.4.2. Características agronômicas.....                                      | 23   |
| 2.4.3. Resposta do sorgo ao estresse salino.....                             | 24   |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....   | 27   |
| 3.1. Local do experimento, tipo de solo e condições ambientais.....          | 27   |
| 3.2. Material vegetal e condução do experimento.....                         | 28   |
| 3.3. Análises das trocas gasosas e do potencial hídrico.....                 | 29   |
| 3.4. Análises de crescimento.....  | 29   |
| 3.5. Determinação dos teores de íons.....                                    | 30   |
| 3.6. Determinação dos teores de carboidratos.....                            | 31   |
| 3.7. Análises de solo.....   | 31   |
| 3.8. Análises estatísticas.....  | 32   |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                                       | 33   |
| 4.1. Características do solo.....  | 33   |
| 4.2. Crescimento da parte aérea e raízes.....                                | 34   |
| 4.3. Partição de matéria seca e distribuição de raízes nos vasos.....        | 37   |
| 4.4. Características morfológicas.....                                       | 42   |
| 4.5. Trocas gasosas e estado hídrico das plantas.....                        | 46   |
| 4.6. Teores de íons na parte aérea.....                                      | 48   |
| 4.7. Relações iônicas e distribuição percentual dos íons na parte aérea..... | 52   |
| 4.8. Teores de carboidratos.....   | 57   |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>5. CONCLUSÕES.....</b>              | <b>60</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b> | <b>61</b> |
| <b>ANEXO A</b>                         |           |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Área foliar total, matéria seca da parte aérea, matéria seca das raízes e matéria seca total de plantas de dois genótipos de sorgo forrageiro em função da salinidade da água de irrigação.....  | 37 |
| Figura 2 - Distribuição de raízes nos vasos cultivados com plantas de sorgo irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....  | 41 |
| Figura 3 - Suculência foliar de plantas de dois genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....  | 45 |
| Figura 4 - Condutância estomática, transpiração, fotossíntese líquida e potencial hídrico de folhas de plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....   | 47 |
| Figura 5 - Teores de $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ e $\text{Cl}^-$ em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....   | 50 |
| Figura 6 - Teores de P em folhas de dois genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....   | 51 |
| Figura 7 - Relação entre os teores de $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ e $\text{Cl}^-$ nos caules e os teores desses íons nos limbos foliares e entre os teores nas bainhas e nos limbos foliares em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa)..... | 54 |
| Figura 8 - Relação $\text{Na}^+/\text{K}^+$ nos limbos foliares em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....   | 55 |
| Figura 9 - Teores de carboidratos em folhas de plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....   | 59 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Resultado da análise de solo proveniente de Horta Didática do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará.....  | 28 |
| Tabela 2 - Valores médios de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e de percentagem de sódio trocável (PST) medidas no solo antes e ao final da instalação do experimento.....  | 33 |
| Tabela 3 - Valores de condutividade elétrica (CEes) e da percentagem de sódio trocável (PST) em diferentes profundidades no solo.....   | 34 |
| Tabela 4 - Valores dos quadrados médios e significância estatística da área foliar total (AFT), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca as raízes (MSR) e matéria seca total (MST) em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....     | 35 |
| Tabela 5 - Valores dos quadrados médios e significância estatística da distribuição percentual da matéria seca da parte aérea (colmos, bainhas e limbos foliares) e da relação parte aérea/raiz em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa)..... | 39 |
| Tabela 6 - Valores da distribuição percentual da matéria seca da parte aérea (colmos, bainhas e limbos foliares) e da relação parte aérea/raiz em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....  | 40 |
| Tabela 7 - Valores dos quadrados médios e significância estatística da distribuição da matéria seca das raízes em diferentes profundidades nos vasos cultivados com plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....                                | 41 |
| Tabela 8 - Valores dos quadrados médios de número de perfilhos (NP), número de folhas (NF), número de entrenós (NE), altura do colmo (AC) e diâmetro do colmo (DC) em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....                              | 42 |
| Tabela 9 - Valores médios de número de perfilhos (NP), número de folhas (NF), número de entrenós (NE), altura do colmo (AC) e diâmetro do colmo (DC) em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....  | 43 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela 10 - Valores dos quadrados médios e significância estatística do grau de suculência e da massa específica foliar em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....   | 44 |
| Tabela 11 - Valores médios da massa específica foliar em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....   | 45 |
| Tabela 12 - Valores dos quadrados médios e significância estatística da fotossíntese, transpiração, condutância estomática e potencial hídrico em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....  | 47 |
| Tabela 13 - Valores de quadrados médios para as variáveis de cloretos no limbo foliar (CIL), na bainha (CIB) e no colmo (CIC); sódio no limbo foliar (NaL), na bainha (NaB) e no colmo (NaC); potássio no limbo foliar (KL), na bainha (KB) e no colmo (KC).....  | 48 |
| Tabela 14 - Valores de quadrados médios para as variáveis de relações de: cloretos no colmo/ cloretos no limbo foliar (Cic/Clf); cloretos na bainha/ cloretos no limbo foliar (Cib/clf); sódio no colmo/ sódio no limbo foliar (NaC/NaF); sódio na bainha/ sódio no limbo foliar (Nab/Naf); potássio no colmo/ potássio no limbo foliar (Kc/Kf); potássio na bainha/ potássio no limbo foliar (Kb/Klf); sódio no limbo foliar/ potássio no limbo foliar (Na/K)..... | 52 |
| Tabela 15 - Valores de quadrados médios para as variáveis de percentuais de : cloretos no limbo foliar (CIPF), na bainha (CIPB) e no colmo (CIPC); sódio no limbo foliar (NaPF), na bainha (NaPB) e no colmo (NaPC); potássio no limbo foliar (KPF), na bainha (KPB) e no colmo (KPC).....  | 56 |
| Tabela 16 - Distribuição percentual de Na <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> e K <sup>+</sup> nos limbos foliares, bainhas e colmos de plantas de dois genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).....   | 57 |
| Tabela 17 - Valores de quadrados médios para e níveis de significância para os teores de carboidratos em folhas de plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais.....   | 58 |

## RESUMO

Neste trabalho foi avaliada tolerância de dois genótipos de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L) Moench), considerados sensível (CSF 18) tolerante (CSF 20) ao estresse salino. Sementes selecionadas foram germinadas em vasos contendo 12 kg de solo arenoso em condições casa de vegetação. Dez dias após a semeadura as plantas passaram a ser irrigadas com água de diferentes concentrações de sais. Para o preparo das soluções salinas, foram utilizados os sais de NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O dissolvidos em água destilada, na proporção de 7:2:1. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 5, composto por dois genótipos, cinco tratamentos em doses crescentes de água salina (0.5, 2.0, 4.0, 6.0 e 8.0 dS.m<sup>-1</sup>) e cinco repetições. Durante a fase de crescimento vegetativo foram realizadas medições de fotossíntese e trocas gasosas nas plantas. A coleta das plantas teve início quarenta e quatro dias após o início dos tratamentos. Foram realizadas medições de características morfológicas, massas seca e fresca das partes aéreas das plantas (limbos, bainhas e colmos) e potencial hídrico. As raízes foram coletadas, juntamente com amostras de solo em três profundidades (0.10, 0.20 e 0.30 m). Foram determinados os teores de íons das partes aéreas e das amostras de solo. O genótipo CSF 20 apresentou maiores valores de número de entrenós, altura da planta, diâmetro do colmo. As reduções dos padrões de crescimento foram maiores para o genótipo CSF 18, quando as plantas foram expostas aos maiores níveis de salinidade da água de irrigação. A relação entre os teores de K<sup>+</sup> nos colmos e nos limbos foliares foram bem menores no genótipo CSF 20, sugerindo que esse genótipo apresenta maior capacidade de distribuição de K<sup>+</sup> para as folhas. Os maiores valores na relação Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> foram observados no genótipo CSF 18 em função de sua menor capacidade de acumular K<sup>+</sup> nas folhas. O genótipo CSF 20 acumulou maior quantidade de carboidratos solúveis nas folhas. Os resultados mostraram que o genótipo CSF 18 mostrou-se sensível à salinidade, enquanto que o genótipo CSF 20 mostrou-se tolerante à salinidade,

Palavras Chave: água salina, tolerancia, genótipos, crescimento,

## ABSTRACT

This work studied the tolerance of two genotypes of forrage sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench), one salt sensitive (CSF 18) and another salt tolerant (CSF 20). Selected seeds were germinated in vases containing 12 Kg of sandy soil under greenhouse conditions. Ten days after seeding, plants were irrigated with different salt concentration water. For preparing saline solutions, NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O salts were used solved in destyled water, on proportion 7:2:1. the randomized completely design was used, and the treatments were outlined according to a 2 x 5 factorial arrangement, composed with two genotypes and five tratments of increasing salinity (0.5, 2.0 , 4.0, 6.0 e 8.0 dS.m<sup>-1</sup>), with five replicates. During vegetative growth measures of photosynthesis and gas exchanges were made. Fourty four days after germination, plants were harvested. The contents measured were morpholocial characteristics, shoot fresh and dry matter production (leaves, blades and colms) and water potential. Roots were colected with soil samples in three deaphts (10, 20 e 30 cm). Solute contents of shoot and soil samples were determinated. The genotype CSF 20 showed higher values of internode number, plant height and colm diameter. The reductions of growth were higher for CSF 18 genotype, when plants were exposed to the higher salt levels irrigation water. The relation of K<sup>+</sup> in colms and leaves were lower in genotype CSF 20, sugesting that this genotype shows a higher capacity of distribution of K<sup>+</sup> in leaves. The genotype CSF 20 showed higher accumulation of soluble carbohydrates in leaves. Results showed that CSf 18 genotype was most sensible to water salinity and CSF 20 was most tolerant to water salinity.

Key words: saline water, tolerance, genotypes, growth

## 1. INTRODUÇÃO

Salinidade é um termo que qualifica uma situação de excesso de sais solúveis no solo ou no ambiente radicular onde as plantas estão crescendo. No mundo, os maiores problemas de salinidade ocorrem em regiões áridas e semi-áridas, associados, em muitos casos, com a agricultura irrigada. Nessas regiões, emprego de irrigação incompatível com as características físicas, químicas e mineralógicas do perfil do solo tem sido apontado como uma das principais causas da salinização dos solos. Além disso, 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 (HOLANDA & AMORIM, 1997).

A região semi-árida do nordeste brasileiro, além da escassez de recursos hídricos para atender as necessidades da população (consumo, indústria, irrigação, etc.), também se defronta com o alto teor de sais em grande parte das fontes de águas subterrâneas (poços) e superficiais (açudes de pequeno e médio portes e lagoas) (WRIGTH, 1981; HOLANDA & AMORIM, 1997). Além disso, a concentração salina destas águas, principalmente dos pequenos e médios reservatórios, aumenta durante o período seco, quando o volume da água é significativamente reduzido (WRIGTH, 1981). Já as águas de rios ou riachos podem, também, apresentar problemas de salinidade, dependendo dos tipos de solo, da qualidade de água das barragens ou, ainda, do retorno da água de drenagem (HOLANDA & AMORIM, 1997; SECKLER et al., 1998).

A utilização de fontes de águas salinas pode, dependendo de sua constituição, alterar de forma negativa as propriedades físicas e químicas do solo e, dependendo da sua forma de aplicação, pode provocar graus variados de estresse aos vegetais. Em geral, o estresse salino em plantas é acompanhado de acúmulo de íons potencialmente tóxicos e de efeitos osmóticos e nutricionais, que podem afetar os teores de moléculas orgânicas (LACERDA, 2000), a fisiologia, a produtividade e a qualidade de biomassa (O'LEARY, 1984). Estas respostas dependem da espécie vegetal, sendo encontradas diferenças, também, entre genótipos da mesma espécie, como é o caso do sorgo (LACERDA, 2000). Portanto, a utilização de águas salinas na irrigação de determinadas culturas deve ser precedida de estudos científicos que

comprovem o seu impacto sobre a quantidade e a qualidade dos produtos agrícolas e, também, sobre as propriedades do solo (SHARMA & RAO, 1998; GHEYI, 2000).

Alternativas para o uso de águas salinas na agricultura irrigada incluem o uso de halófitas forrageiras ou oleaginosas (GLENN et al., 1998) e de espécies não halófitas, mediante o manejo de solo, a rotação de culturas, misturas de águas de diferentes qualidades e o uso de fontes de água nos diferentes estádios de desenvolvimento da planta (OSTER, 1984; SHARMA & RAO, 1998). Dentre as espécies não halófitas, o sorgo, reconhecido por sua tolerância moderada ao estresse salino (AYERS & WESTCOT, 1999), pode se constituir em uma alternativa para o aproveitamento de recursos (água e solo) salinos (FERNANDES et al., 1994; IGARTUA et al., 1995; LACERDA et al., 2003a). O uso do sorgo também se justifica, por suas características bromatológicas que, à semelhança do milho, possibilitam a fermentação adequada e conseqüente armazenamento deste alimento sob a forma de silagem, pelos teores elevados de proteína bruta em algumas variedades e de carboidratos solúveis (PESCE et al., 2000) e pelas suas características agrônômicas, que entre outras, incluem moderada resistência à seca (TABOSA et al., 1999; PITOMBEIRA et al., 2002) e elevada produtividade de biomassa (OLIVEIRA, 1983).

Partindo destes pressupostos, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da salinidade da água de irrigação sobre o desenvolvimento vegetativo de dois genótipos de sorgo forrageiro (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench), buscando identificar respostas morfológicas e fisiológicas associadas com a tolerância ao estresse salino nessa espécie.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Aspectos gerais da salinidade

De um modo geral, um solo é considerado salino quando contém sais solúveis em quantidade suficiente para prejudicar o crescimento das plantas (WAISEL, 1972). 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 (FAGHERIA & GHEYI, 1997).

A linha divisória entre solos salinos e solos não salinos têm estabelecido o valor de  $4 \text{ dS.m}^{-1}$  para extratos de pasta saturada do solo. Entretanto, podem-se observar reduções no rendimento de culturas em solos cujo extrato de saturação apresenta condutividade elétrica entre 2 e  $4 \text{ dS.m}^{-1}$  (FAGHERIA & GHEYI, 1997). O comitê de terminologia da sociedade americana de ciência do solo tem recomendado baixar o limite entre solos salinos e não salinos para  $2 \text{ dS.m}^{-1}$  (BOHN et al., 1987, citado por FAGHERIA & GHEYI, 1997). Os sais solúveis mais encontrados em solos salinizados consistem, normalmente, de várias proporções de cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , dos ânions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e, às vezes, de  $\text{K}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{NO}_3^-$  (FAGHERIA & GHEYI, 1997).

Normalmente, três íons alcançam concentrações na solução do solo que são suficientes para causar problemas osmóticos para as plantas: os cloretos e sulfatos associados ao sódio. Embora os sais destes íons ocorram em proporções variáveis, os pesquisadores são unânimes em afirmar que o NaCl predomina na maioria das vezes (BERNSTEIN, 1975).

A salinidade resulta de causas naturais ou provocadas pelo homem. Embora a acumulação de sais, resultante da evapotranspiração, seja a causa primária dos problemas na agricultura relacionados à salinidade, existem outras. Alguns solos contêm, naturalmente, sais suficientes para limitar a produção das culturas, principalmente em regiões áridas e semi-áridas (ASHRAF et al., 1987). No Nordeste brasileiro, a alta demanda evaporativa do ar associada ao sistema deficiente de drenagem e ao manejo inadequado da água de irrigação, são os principais responsáveis por este problema (PRISCO, 1987). Observa-se que o uso da irrigação

tem contribuído para salinizar áreas que anteriormente não eram tidas como salinas (CRAMER et al., 1985), como conseqüência da utilização de águas contendo concentrações elevadas de sais ou práticas de manejo impróprio, como drenagem deficiente, quantidade de água inadequada e emprego indeterminado e excessivo de fertilizantes, (KENT & LAUCHLI, 1985).

Esforços têm sido feitos com o objetivo de controlar a salinidade através de meios técnicos (CRAMER et al., 1985), porém a recuperação de um solo inutilizado pelo excesso de sais ou em vias de inutilização, em geral, envolve grandes investimentos e somente em determinadas circunstâncias poderá ser economicamente viável (BEZERRA, 1980).

A seleção das práticas de manejo para recuperação de solos afetados por sais depende do diagnóstico correto da natureza e extensão dos problemas de salinidade, e também, de condições ambientais favoráveis, que permitam a sua aplicação. Em solos salinos e solos com altos teores de boro, a prática comum é o cultivo de plantas tolerantes, juntamente com gradagens e aplicações de altas lâminas de irrigação para lavagem de sais solúveis em excesso. Em solos sódicos, quando a infiltração é inadequada, opções de manejo são dirigidas para melhorar a condutividade hidráulica do solo (K). Assim, para melhorar as propriedades físicas do solo, podem ser utilizadas várias combinações de práticas de lavra, uso de corretivos e práticas culturais (FAGERIA & GHEYI, 1997). Entretanto essas práticas são muito caras e o uso de espécies ou cultivares adaptáveis a tais condições adversas de solo pode ser uma estratégia promissora para melhorar a produção de alimentos.

Modernamente tem-se dado grande ênfase às pesquisas que tratam de aspectos fitotécnicos, tais como modificação das condições de cultivo e melhor manejo do ambiente em que as plantas são cultivadas e aumento da tolerância das culturas à salinidade, através da seleção e melhoramento genético e de domesticação de espécies selvagens (PRISCO, 1987). As práticas de manejo de solos salinos devem incluir combinações de manejo de solo, da água e da planta integralmente. No entanto, embora as diferenças entre as espécies com relação à tolerância à salinidade sejam bem relatadas, há necessidade de trabalhos básicos e aplicados nas áreas de fisiologia, genética e melhoramento de plantas, para melhor entendimento dos processos envolvidos (FAGERIA & GHEYI, 1997).

## 2.2. Ação dos sais sobre as plantas

O estresse é considerado, na maioria das definições, como um desvio significativo das condições ótimas para a vida, e induz a mudanças e repostas em todos os níveis funcionais do organismo, as quais são reversíveis a princípio, mas podem se tornar permanentes. Mesmo se uma condição de estresse é somente temporária, a vitalidade da planta torna-se cada vez menor conforme a duração do estresse, e, quando o limite da capacidade de ajuste da planta é alcançado, os distúrbios que antes não se manifestavam (distúrbios latentes) aparecem na forma de doenças crônicas ou injúrias (LARCHER, 2000).

O estresse salino pode ter sido o primeiro fator químico de estresse durante a evolução da vida na Terra. Os primeiros organismos vivos foram formas de vida marinhas e, mesmo na atualidade, biótipos salinos são colonizados a partir de habitats marinhos em vez de habitats de água doce. Portanto, logo no início, os organismos deviam ter desenvolvido mecanismos efetivos para regulação iônica e para estabilização das estruturas protoplasmáticas, após desenvolver a capacidade de superar as dificuldades causadas pelo sal no interior da célula, e de outros ajustes envolvendo todo o organismo (LARCHER, 2000).

A resposta das plantas ao estresse salino varia ao longo do seu ciclo de vida (EPSTEIN & RAINS, 1987). A maioria das espécies é relativamente sensível à salinidade, e quase todas as culturas são incapazes de tolerar condições de salinidade permanente no solo (KRAMER, 1984). Aumentando-se os níveis de NaCl, todos os aspectos de crescimento das plantas (altura, número de folhas, peso seco das raízes, caules e folhas) são reduzidos (HANSEN & MUNNS, 1988).

Inicialmente o efeito da salinidade foi explicado pela teoria da seca fisiológica. A água seria osmoticamente retida em uma solução salina, de forma que o aumento da concentração dos sais torna a água cada vez menos disponível para a planta (LARCHER, 2000). Dessa forma, a planta sofre a injúria ou até mesmo a morte devido à diminuição do gradiente de potencial hídrico no sistema solo planta, provocado pelo excesso de sais, o que acarretará a redução na absorção de água e por consequência, déficit hídrico.

Hoje, sabe-se que as plantas reduzem o potencial osmótico de suas células ao acumular íons do meio interno, ou pela mobilização de seus próprios constituintes orgânicos, sendo tal processo denominado de ajustamento osmótico ou

osmoregulação (ANDRADE, 1989). Muitas das plantas que toleram o efeito do estresse salino o fazem por sintetizar compostos orgânicos, conhecidos como solutos compatíveis. Eles são em número bastante limitado, pois somente poucos compostos podem existir em concentrações relativamente altas no citoplasma sem causar danos às enzimas.

Convém lembrar que, ao contribuir para a realização do ajustamento osmótico, os íons podem exercer efeitos tóxicos sobre as plantas. A interferência dos sais ocorre diretamente na atividade enzimática e, em conseqüência, processos fisiológicos e bioquímicos, tais como: respiração, fotossíntese e metabolismo de proteínas e ácidos nucléicos são afetados (FRIEDMAN et al., 1989).

De acordo com Fageria & Gheyi (1997), as plantas tolerantes à salinidade devem ser capazes de ajustar o seu potencial osmótico, o que envolve tanto a absorção e a acumulação de íons como a síntese de solutos orgânicos. Embora estes dois mecanismos tenham sido usados como base de classificação das plantas halofíticas, eles geralmente operam juntos. O mecanismo dominante varia entre espécies da planta e, em alguns casos, entre partes da planta.

Um excesso de  $\text{Na}^+$  e, sobretudo um excesso de  $\text{Cl}^-$  ocasionam distúrbios em relação ao balanço iônico ( $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  em relação ao  $\text{Na}^+$ ), bem como efeito dos íons específicos sobre as enzimas e membranas. Como conseqüência, a produção de energia pela fosforilação e pela fotofosforilação são reduzidas, a assimilação de nitrogênio é limitada. Dessa forma o metabolismo das proteínas sofre distúrbios e ocorre a acumulação de diaminas, como a putrecina, a cadaverina e de poliaminas (FLORES, 1990, citado por LARCHER, 2000).

Se os efeitos adversos osmóticos e íon específico da absorção de sais excedem o nível de tolerância funcional da planta, ocorrem distúrbios funcionais e injúrias. A fotossíntese não é limitada devido somente ao fechamento estomático, mas, também, pelo efeito do sal sobre os cloroplastos, em particular sobre o transporte eletrônico e sobre os processos secundários (LARCHER, 2000).

Os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  causam injúrias distintas, principalmente nas folhas. Altas concentrações de  $\text{Na}^+$  são comumente encontradas nas raízes, causando declínio na funcionalidade do sistema radicular, e aumento na translocação de  $\text{Na}^+$  para a parte aérea e decréscimo de  $\text{K}^+$ . O acúmulo de  $\text{Na}^+$  na parte aérea provoca o aparecimento de manchas necróticas e a queima das pontas das folhas (LACERDA, 1995). Normalmente os danos se manifestam primeiro nas pontas das folhas, o que

é característico de sua toxicidade, para logo se deslocar, à medida que progride a toxicidade ao longo das bordas. Necrose excessiva vem acompanhada, geralmente, por desfolhação prematura. Em culturas sensíveis, esses sintomas se manifestam quando se alcançam concentrações de 0,1 a 1,0% de cloreto, em base de peso seco nas folhas. No entanto, a sensibilidade dessas culturas é variável como, por exemplo, as frutíferas começam a mostrar danos a concentrações acima 0,3% de cloreto, em base de peso seco (AYERS & WESTCOT, 1999). De acordo com Richards (1954), muitas plantas, incluindo fruteiras, cereais e olerícolas, uma manifestação típica do acúmulo de  $\text{Cl}^-$ , é a queima da parte central das folhas.

Freqüentemente, a toxicidade de sódio é afetada pela disponibilidade de cálcio no solo. Atualmente, várias pesquisas investigam se a toxicidade é manifestada devido a uma simples concentração de sódio, ou se é um problema mais complexo, que inclui a deficiência de cálcio e outras interações. Resultados preliminares indicam a possibilidade de que, no que diz respeito a algumas culturas anuais, a toxicidade manifestada se deve muito mais à deficiência de cálcio. Se isto estiver correto, tais culturas deverão responder a aplicações de cálcio, utilizando-se gesso ou nitrato de cálcio (AYERS & WESTCOT, 1999).

A aplicação de  $\text{Ca}^{2+}$  no meio salino reduziu a absorção de  $\text{Na}^+$  e a relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , minorando, parcialmente, os efeitos da salinidade sobre o crescimento vegetativo de plântulas de sorgo, principalmente de um genótipo tolerante (SILVA, 2003).

### **2.3. Tolerância e sensibilidade à salinidade**

Nem todas as culturas respondem igualmente à salinidade; algumas produzem rendimentos aceitáveis a níveis altos de salinidade e outras são sensíveis a níveis relativamente baixos, cuja diferença se deve à maior capacidade de adaptação osmótica, o que permite absorver, mesmo em condições de salinidade, uma maior quantidade de água. Esta capacidade de adaptação é muito útil e permite a seleção de culturas mais tolerantes e capazes de produzir rendimentos economicamente aceitáveis, quando não se pode manter a salinidade do solo ao nível de tolerância das plantas que se cultiva (AYERS & WESTCOT, 1999).

De acordo com Fageria & Gheyi (1997), a tolerância aos sais varia de acordo com o estágio de crescimento da planta; portanto, deve-se no programa de melhoramento, concentrar esforços nos estádios críticos das plantas. Não se deve esquecer de que a resposta da planta à salinidade está diretamente relacionada à duração da exposição, e que, na seleção, o desempenho geral deve ser baseado nos demais estádios de crescimento.

A evolução dos organismos vivos tem resultado em numerosas espécies que apresentam mecanismos especiais de adaptação ao crescimento no ambiente salino (KRAMER, 1984). A tais espécies deu-se o nome de halófitas, em oposição àquelas que não apresentam referidos mecanismos de adaptação, as glicófitas. As primeiras crescem melhor do que as últimas, onde os níveis de sais no solo são elevados, como nos desertos e mangues. Já as glicófitas, predominam em solos não salinizados sendo, portanto, pertencente a este grupo a maioria das plantas cultivadas (SALISBURY & ROSS, 1985).

A colonização de ambientes salinos pelas halófitas depende das exigências requeridas pela germinação e da resistência das plantas jovens. Tanto as plantas com reservas cotiledonares, como as plantas jovens altamente autotróficas, estão expostas a grandes injúrias, pois suas raízes estão limitadas a camadas superiores do solo, as quais contêm maiores concentrações salinas. A germinação tem maior sucesso em ambiente livre de sal ou com baixa concentração salina, e existem somente poucas halófitas com habilidade para germinar sob uma salinidade de 3 a 4  $\text{dS.m}^{-1}$ . Geralmente o limite superior para a germinação e para o crescimento em seguida à germinação é de 1,5 a 2,0  $\text{dS.m}^{-1}$ , ou valores menores (LARCHER, 2000).

A sobrevivência da maioria das halófitas em solos salinos deve-se ao fato de que as mesmas, além de acumular sais, possuem a capacidade de compartimentalizá-los no vacúolo ou diluem os mesmos nos tecidos. Convém salientar, que freqüentemente as halófitas acumulam também aminoácidos, especialmente prolina, bem como galactosil-glicerol, ácidos orgânicos e glicinobetaína, compostos orgânicos de importância fundamental para o ajustamento osmótico do citosol (WYN-JONES et. al., 1984). As plantas terrestres que crescem sobre solos salinos acumulam sal em seu citosol até o nível em que apresenta valores de potencial osmótico menor do que o da solução do solo, dessa forma a água se movimentará ao longo de um gradiente osmótico. Em adição ao efeito

osmótico exercido pela acumulação de sal, o potencial osmótico também é reduzido pela presença de ácidos orgânicos ou de carboidrato solúveis (LARCHER, 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, a tolerância à salinidade está extremamente ligada à exclusão dos íons da parte aérea, particularmente das folhas mais novas. Por outro lado, as espécies sensíveis não conseguem realizar bem a compartimentalização de íons no vacúolo, sofrendo, em conseqüência, a interferência dos mesmos no metabolismo celular, que acarretará redução no crescimento e desenvolvimento. Esta redução, no entanto, varia com a espécie, cultivar, fase de crescimento, teor e tipo de sal, e outros fatores (HARIVANDI et al., 1983). Os dados existentes na literatura nos levam a crer que o ajustamento osmótico e a capacidade de compartimentalização são de importância fundamental para se prever o tipo de relação das glicófitas quando submetidas ao estresse salino (PRISCO & PAHLICH, 1989).

As plantas sensíveis à salinidade tendem a, em geral, a excluir os sais na absorção da solução do solo, mas não são capazes de realizar o ajustamento osmótico descrito e sofrem com o decréscimo do turgor, levando as plantas ao estresse hídrico por osmose (HOLANDA & AMORIM, 1997).

Os processos de crescimento são particularmente sensíveis aos efeitos dos sais, de modo que a taxa de crescimento e a produção de biomassa são bons critérios para a avaliação do grau de estresse e da capacidade da planta superar o estresse salino. Nas halófitas obrigatórias (eualófitas, por exemplo, *Salicornia salsa*, *Suaeda halocnemum*) as quais são restritas à habitats salinos, o crescimento é promovido pela absorção moderada de sais. Nesse caso, somente se a concentração de sais alcançar altos níveis, é que o crescimento pode ser limitado e a planta mostrará sinais de estresse, como a produção de antocianina e a degradação da clorofila. As halófitas facultativas (por exemplo, muitas espécies da família Poaceae, Cyperaceae, Juncaceae, Glaux Marítima, *Áster tripolium*) ocorrem em solos francamente salinizados, mas o crescimento dessas plantas é logo inibido se as concentrações de sais aumentarem. Outras espécies de plantas são indiferentes ao sal; embora, sejam encontradas em solos não salinos, elas também toleram fracas salinidades (por exemplo, ecótipos de *Festuca rubra*, *Agrostis*

*stolonífera*, *Phragmites communis*, espécies ou subespécies do gênero *Puccinellia*, Lótus e *Atriplex hastata*, e plantas cultivadas, como *Vigna Unguicalata* e a beterraba). A absorção de sais por plantas não-halofíticas ou espécies halofóbicas acarreta uma forte ou até mesmo severa limitação de crescimento (LARCHER, 2000).

## **2.4. A cultura do sorgo**

### **2.4.1. Aspectos gerais**

O sorgo (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) é uma planta originária da África Tropical, Etiópia e Sudão, tendo sido introduzido no Hemisfério Ocidental no século XVI. O grão de sorgo é o alimento básico da população de vários países da África e da Ásia e também fonte de bebidas alcoólicas. É resistente à seca e ao calor, sendo cultivado em todos os continentes, em áreas com temperatura superior a 20° C e período mínimo de 125 dias livre de geadas. A maioria dessas áreas é indesejável para outras culturas, a não ser com o uso da irrigação. O sorgo é conhecido por sua capacidade de sobreviver a condições de limitado suprimento de água e produzir mesmo que ocorram períodos longos de seca. Dentre os genótipos conhecidos, destacam-se os distribuídos nos grupos granífero, sacarino, forrageiro e vassoura (PITOMBEIRA, 2001).

No Brasil, a área cultivada com sorgo vem crescendo a cada safra, de acordo com o grupo Pró-Sorgo (2005), formado por pesquisadores da iniciativa pública e particular. A cultura de é comprovada eficiência na alimentação animal e no sistema de plantio direto, principalmente nas safrinhas. Na safra 1998/1999, o Brasil cultivou 712 mil hectares e colheu cerca de um milhão de toneladas. Na safra 1999/2000, a área plantada total atingiu o maior valor da história do sorgo no país, com cerca de um milhão de hectares, sendo 787 mil de sorgo granífero e 215 mil de sorgo forrageiro. No entanto, a maior produção foi obtida na safra 2000/2001, com cerca de 1,2 milhões de toneladas, porém com uma redução média de 25% da área plantada. Na safra 2001/2002, a área plantada foi praticamente igual à safra anterior,

com 735 mil hectares, e produção estimada em 930 mil toneladas. Durante a safra de 2002/2003, a área plantada com sorgo foi de 994 mil hectares, gerando uma produção de 2.326 toneladas. Na safra seguinte (2003/2004), a área plantada com sorgo no país foi de 1.029 milhões de hectares e a produção de 2410 toneladas (GRUPO PRÓ-SORGO, 2005).

Durante a safra de 2003/2004, a região Centro-Oeste respondeu por 54.5% da área plantada de sorgo granífero no país, enquanto que a região Sudeste respondeu por 34.19% da área plantada com sorgo forrageiro. A região Nordeste, que apresenta mais de 80% de suas áreas situadas em regiões climáticas adversas, na safra de 2003/2004, respondeu por 4,57% da área plantada de sorgo granífero e 1,41% da área plantada de sorgo forrageiro (GRUPO PRÓ-SORGO, 2005).

No Ceará, na safra de 2003/2004, a área plantada com sorgo granífero foi de 9.194 hectares enquanto que a área plantada com sorgo forrageiro foi de 111 hectares (GRUPO PRÓ-SORGO, 2005).

#### 2.4.2. Características agronômicas

O sorgo é mais resistente à seca do que outras culturas, como por exemplo, o milho. Isso se deve ao seu sistema radicular extenso, ao controle efetivo da transpiração e aos estômatos com capacidade de recuperação rápida após períodos de estresse hídrico. Entretanto quando o período de crescimento é longo, as variedades com perfilhamento são capazes de se recuperar, até certo ponto, dos déficits hídricos anteriores nos períodos iniciais de crescimento, mediante formação de perfilhos adicionais. Os déficits hídricos severos durante os períodos de floração causam o fracasso da polinização ou o secamento da panícula, a diminuição de rendimento resultante pode ser compensada parcialmente com os perfilhos adicionais com panícula (DOORENBOS & KASSAM, 1994).

O uso do sorgo se justifica, também, por suas características bromatológicas que, à semelhança do milho, possibilitam fermentação adequada e conseqüente armazenamento deste alimento sob forma de silagem, pelos teores elevados de proteína bruta em algumas variedades e de carboidratos solúveis (PESCE et al., 2000) e pelas suas características agronômicas que, entre outras, incluem moderada resistência à seca (TABOSA et al., 1999; PITOMBEIRA et al., 2002) e elevada produtividade de biomassa (OLIVEIRA, 1983).

Para alcançar altas produtividades, o sorgo requer dias e noites quentes, com temperaturas médias acima de 25 °C, atingindo a maturidade entre 90 e 140 dias. Por suas características de tolerância aos estresses abióticos, o sorgo é uma espécie cultivada, principalmente, em áreas que apresentam um regime hídrico desfavorável, com precipitações variando entre 400 a 600 mm/ano, ou menos (WINSCONSIN CORN AGRONOMY, 2001).

A cultura, considerada uma glicófita, se adapta bem à maioria dos solos, porém desenvolve-se melhor nos de textura leve a média. As necessidades de fertilizantes são de até 180 kg/ha de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 20 a 45 kg/ha de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 35 a 80 kg/ha de  $\text{K}_2\text{O}$ . O solo deve ter, preferencialmente, aeração e drenagem boas, embora o sorgo seja relativamente tolerante a períodos curtos de encharcamento e possa ser cultivado em áreas com alta intensidade pluviométrica, e em regiões temperadas e tropicais com até 2300 metros de altitude (DORENBOOS & KASSAM, 1994).

#### 2.4.3. Resposta do sorgo ao estresse salino

O estudo comparativo entre genótipos contrastantes permite a determinação do grau de sensibilidade, expresso em função da redução na produção de biomassa e na qualidade da produção (MASS & HOFFMAN, 1977). Para o sorgo forrageiro, após as plantas já estabelecidas, a salinidade limiar do extrato de saturação é de 6,8  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , no entanto, os níveis de salinidade necessários para que ocorra uma redução de 50% tanto na emergência, como na produção é de 13 a 15  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , respectivamente (RHOADES et al., 1992).

Conforme Holanda & Amorim (1997), uma das maneiras de avaliar as características morfológicas para a seleção de cultivares resistentes à salinidade é baseada na resposta das folhas da cultivar em dado nível de salinidade. Baseando-se nas folhas mortas, os genótipos podem ser classificados como tolerantes, moderadamente tolerantes, moderadamente suscetíveis ou suscetíveis à salinidade.

De acordo com Shalhavet et al. (1995), citados por Holanda & Amorim (1997), resultados de experimentos conduzidos em casa de vegetação mostram que o sorgo, o trigo e o feijão caupi são mais sensíveis durante o estágio vegetativo e no início da fase reprodutiva, menos sensíveis no estágio de floração e insensíveis no

estádio de enchimento dos grãos. Nestas culturas, portanto, a seleção para tolerância à salinidade deve ser feita no estágio mais sensível.

Estudando a adaptabilidade de sete cultivares de sorgo forrageiro às condições de salinidade da micro-região salina do Rio Grande do Norte, Fernandes et al. (1992) constataram na análise da adaptação e estabilidade, que houve influência significativa de ambientes sobre a produção de massa verde e massa seca em alguns cultivares. Com o objetivo de verificar o comportamento de cultivares de sorgo forrageiro em solos afetados por sais, Fernandes et al., (1994) demonstraram que os cultivares IPA 1218 e ESAM 102 foram tolerantes à salinidade.

Estudando os efeitos das concentrações de NaCl sobre o crescimento, o desenvolvimento e os teores e a distribuição de solutos orgânicos (prolina, carboidratos solúveis, aminoácidos e betaína) e inorgânicos ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) em plantas com tolerância diferencial à salinidade (uma sensível e outra tolerante), Lacerda (2000) constatou que o estresse salino provocou a queda do potencial osmótico de folhas e raízes nos dois genótipos. No entanto a queda teve mais intensidade no genótipo sensível, o que se deveu ao maior acúmulo de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e de solutos orgânicos neste genótipo.

Avaliando o efeito do estresse salino provocado por concentrações iso-osmóticas de NaCl + KCl em diferentes combinações sobre o crescimento e o acúmulo de íons em folhas de dois genótipos de sorgo forrageiro, um sensível (CSF 18) e outro tolerante (CSF 20), Oliveira (2002) concluiu que o genótipo mais sensível foi mais afetado ao estresse salino, sendo que sua maior sensibilidade parecia estar relacionado com o maior acúmulo de íons potencialmente tóxicos, menor acúmulo de  $\text{K}^+$  e maior relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  nos tecidos foliares. Entretanto, o aumento das concentrações de KCl na solução nutritiva resultou na diminuição dos teores de  $\text{Na}^+$  e no aumento dos teores de  $\text{K}^+$  nas folhas, sem que isso tenha resultado em maior tolerância ao estresse salino.

Por outro lado, Silva et al. (2003) concluíram que a salinidade reduziu a produção de matéria seca das raízes e da parte aérea, a área foliar o tamanho e número de folhas emitidas e a taxa de crescimento relativo, sendo esses efeitos mais pronunciados no genótipo CSF 18. Esse genótipo apresentou maiores acúmulos de íons potencialmente tóxicos ( $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ) e de prolina nos tecidos fotossintetizantes, enquanto o genótipo CSF 20 apresentou maiores teores de carboidratos solúveis e maiores teores de  $\text{K}^+$ .

Nos cereais, de maneira geral, a maior sensibilidade durante o estágio de crescimento vegetativo e o início do crescimento reprodutivo parece estar mais relacionado com a supressão da formação das estruturas reprodutivas (MAAS et al.,1994) do que pelo decréscimo do número de grãos por estrutura reprodutiva (MAAS et. al.,1996). Esta afirmativa também é válida para o sorgo, que se mostrou mais sensível durante o estágio vegetativo e início do reprodutivo, e menos sensível durante a germinação e o estágio de florescimento e enchimento dos grãos (MAAS et al.,1986). Desta forma, o sorgo tem se constituído como uma alternativa viável para a exploração dos sistemas agrícolas onde as áreas são moderadamente afetadas por sais (SILVA, 2003).

Existe uma relação significativa entre a tolerância à salinidade, baseada na produção de grãos e alguns caracteres de fácil mensuração, tais como as concentrações de potássio e cloreto na folha e grau de necrose foliar no enchimento dos grãos. Todas estas características são herdáveis e facilmente medidas sob condições de campo, o que permite a seleção em populações extremamente grandes, usando uma pressão de seleção muito severa, o que melhora o processo seletivo (IGARTUA ,1995). No entanto, várias características morfofisiológicas, especialmente relacionadas ao estado hídrico da planta, foram descartadas, devido à falta de correlação com a tolerância ao estresse (SELIGMAN et al., 1993). Desse modo, vale à pena ressaltar que uma resposta fenotípica de tolerância ou de sensibilidade à salinidade não depende somente da expressão isolada de um mecanismo ou de uma característica genética, agrônômica, bioquímica, anatômica ou fisiológica, mas sim da ação e interação de um conjunto variado de genes que depende dos fatores intrínsecos e extrínsecos de cada espécie (IGARTUA et al., 1995; YEO, 1999).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Local do experimento, tipo de solo e condições ambientais**

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação de 31 de agosto a 24 de outubro de 2004. As análises bioquímicas foram realizadas nos Laboratórios do Setor de Fisiologia Vegetal do Departamento de Bioquímica e

Biologia Molecular do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, enquanto que as análises dos íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^+$  e  $\text{Cl}^-$  foram realizadas no Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias desta mesma Universidade.

O local onde o experimento foi realizado está localizado a  $3^\circ 44'$  de latitude e a  $38^\circ 44'$  W de longitude, a uma altura média de 20 metros. Segundo a classificação de Koeppen, a referida região apresenta um clima do tipo Aw'. Os dados meteorológicos fornecidos pela Estação Agrometeorológica do Centro de Ciências Agrárias de Universidade Federal do Ceará, durante a realização do experimento foram os seguintes: temperatura média do ar,  $27,3^\circ\text{C}$ ; precipitação, 10,0 mm; umidade relativa média, 72% e velocidade média do vento  $4,05 \text{ m.s}^{-1}$ .

Foram coletados aproximadamente duzentos e cinquenta quilogramas de solo franco arenoso provenientes da Horta Didática do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, no município de Fortaleza-CE. Antes da realização do experimento, realizou-se uma análise de solo, cujos resultados são apresentados na tabela 1. Dentre as principais características químicas deste solo, pode-se destacar os baixos teores de alumínio, cálcio e potássio, uma acidez média e baixos valores de condutividade elétrica do extrato de saturação e PST, que o enquadram como um solo não salino e não sódico segundo a classificação proposta por Richards (1954). O solo foi, em seguida, peneirado e colocado em vasos de aproximadamente dez litros, em cuja parte inferior introduziram-se pequenos furos para facilitar a drenagem. No fundo de cada vaso foi colocada uma camada de aproximadamente dois centímetros de brita.

TABELA 1 - Resultado da análise de solo proveniente de Horta Didática do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. Outubro de 2004

| Classificação<br>Textural | pH  | C.E<br>( $\text{dS.m}^{-1}$ ) | Complexo Sortivo ( $\text{cmol}_c/\text{kg}$ ) |                  |               |              |                               |                  |     | V   | PS<br>T |     |
|---------------------------|-----|-------------------------------|--|------------------|---------------|--------------|-------------------------------|------------------|-----|-----|---------|-----|
|                           |     |                               | $\text{Ca}^{2+}$                               | $\text{Mg}^{2+}$ | $\text{Na}^+$ | $\text{K}^+$ | $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ | $\text{Al}^{3+}$ | S   |     |         | T   |
| Areia                     | 5,6 | 0,06                          | 0,5  | 0,4              | 0,06          | 0,03         | 0,82                          | 0,05             | 1,0 | 1,8 | 55      | 3,7 |

### 3.2. Material vegetal e condução do experimento

As sementes de dois genótipos de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), CSF 18 e CSF 20, utilizadas no experimento, foram provenientes do banco de germoplasma da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), Recife – PE. De acordo com Lacerda (2000), o genótipo CSF 18 é considerado sensível à salinidade, enquanto que o genótipo CSF 20 é considerado tolerante.

As sementes, após terem sido selecionadas pelo tamanho (através do uso de peneiras) foram postas para germinar, colocando-se quatro sementes por vaso. Com o intuito de corrigir eventuais carências nutricionais do solo, foram aplicadas em fundação para cada vaso, 0,44 g de uréia, 3,9 g de superfosfato simples e 0,83 g de cloreto de potássio, seguindo recomendações de Fernandes (1993). A cada 15 dias foram aplicadas soluções de micronutrientes, sulfato de cálcio e sulfato de magnésio junto com a água de irrigação, utilizando as concentrações da solução de Hoagland (EPSTEIN, 1975).

Nove dias após a semeadura foi realizado o desbaste de plântulas, tendo sido deixadas apenas uma plântula por vaso. Dez dias após a semeadura as plantas passaram a ser irrigadas com água de diferentes concentrações de sais, correspondendo aos seguintes tratamentos: 0,5 (controle), 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 dS.m<sup>-1</sup>. Para o preparo das soluções salinas, foram utilizados os sais de NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, na proporção de 7:2:1, obedecendo-se à relação entre CEa e concentração (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> = CE x 10), extraída de Rhoades et al. (1992). A quantidade de água aplicada foi estimada com o objetivo de o solo alcançar sua capacidade de campo e a água começasse a percolar pelo fundo dos vasos, adicionando-se a fração de lixiviação de 15%, de acordo com Ayers & Westcot (1999). Nas primeiras três semanas de tratamentos foi utilizado um turno de rega de cinco dias, reduzindo-se em seguida para quatro dias e permanecendo até o final do experimento. A irrigação foi realizada de modo que parte do volume aplicado fosse drenado através do fundo dos vasos, posteriormente coletado para verificar a quantidade de 15%, de acordo com fração de lixiviação.

O experimento obedeceu a um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 5, composto por dois genótipos (um sensível e outro tolerante à salinidade) e cinco tratamentos em doses crescentes de água salina (0,5, 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 dS.m<sup>-1</sup>), com cinco repetições.

### 3.3. Análise das trocas gasosas e do potencial hídrico

Aos 40 dias do início dos tratamentos foram realizadas medições da taxa fotossintética líquida de folhas madura utilizando-se um analisador de gás no infravermelho IRGA (LCA-2, ADC, Hoddesdon, UK), em sistema aberto, com fluxo de ar de  $300 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , e das taxa de transpiração e da condutância estomática utilizando-se um porômetro de difusão (LI-600, Li-Cor., Inc., Lincoln, Nebraska, USA). As medições ocorreram sempre entre 10:00 e 12:00h, em condições de luminosidade plena, utilizando-se umidade relativa do ar, temperatura e radiação do ambiente.

As medições do potencial hídrico ( $\psi_w$ ) foram realizadas por ocasião da coleta das plantas (44 dias após o início dos tratamentos) em folhas completamente maduras, utilizando-se uma bomba de pressão do tipo Scholander. A bomba de pressão mede a pressão hidrostática negativa que existe no xilema das plantas. Neste caso é assumido que o  $\psi_w$  do xilema é igual ao potencial  $\psi_w$  médio de todo o órgão. Essa determinação foi realizada entre 4 e 6 horas da manhã, para que não houvesse interferência do processo de transpiração na pressão do xilema, sendo as folhas cortadas e imediatamente colocadas na câmara de pressão.

### 3.4. Análises de crescimento

Após quarenta e três dias do início da adição dos tratamentos, foi realizada a contagem do número de folhas (vivas e mortas) e o número de entrenós e perfilhos por planta. Com o auxílio de um paquímetro, foram feitas as medições dos diâmetros dos colmos (mais bainhas) das plantas de cada vaso. Utilizando-se uma régua mediu-se a altura dos colmos e o comprimento médio dos entrenós.

A coleta do experimento foi realizada após quarenta e quatro dias do início da adição dos tratamentos, medindo-se inicialmente a área foliar total (LI – 3100, Area Meter, Li-Cor., Inc., Lincoln, Nebraska, USA). A parte aérea das plantas foi coletada e separada em colmos, bainhas, limbos foliares e restos (tecidos mortos). Foi realizada a pesagem das partes coletadas (bainhas, limbos, colmos e restos) para posterior determinação da produção de biomassa fresca da parte aérea. As partes coletadas foram colocadas para secagem em estufa a  $60^\circ \text{ C}$ , para obtenção da

matéria seca. Com essas medidas, foram calculadas a massa específica foliar (massa seca foliar/área foliar) e a suculência foliar [(massa fresca - massa seca)/área foliar], conforme proposto por Mantovani (1999).

Após a coleta da parte aérea, os solos dos vasos foram coletados em três profundidades (0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm). Com o auxílio de uma pá, cada profundidade teve o seu conteúdo (solo + raízes) removido e lavado em peneira, com o objetivo de se remover somente as raízes e calcular o volume de solo amostrado. Cada amostra de raiz, foi devidamente identificada quanto ao seu genótipo, tratamento e repetição e posta para secar em estufa a 60°C, para futuras determinações de peso da matéria seca de raízes nas três profundidades amostradas.

Com os dados de crescimento foram calculadas as percentagens de matéria seca particionada entre os órgãos vegetativos. Utilizando-se os dados de crescimento, calculou-se, também, o índice de tolerância à salinidade, que expressa o desempenho do genótipo em um dado tratamento em relação ao desempenho do mesmo no tratamento controle ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ).

### **3.5. Determinação dos teores de íons**

Nas amostras pré-secas da parte aérea e finamente trituradas em moinho tipo Wiley foram determinados os teores de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , P (MIYAZAWA et al., 1984; MALAVOLTA et al., 1989) e de  $\text{Cl}^-$  (GAINES et al., 1984).

Os teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  foram determinados por fotometria de chama e os de P por colorimetria (MALAVOLTA et al., 1989).

Os teores de  $\text{Cl}^-$  foram determinados em extratos aquosos, feitos à partir da diluição de aproximadamente cento e cinquenta miligramas do material seco e moído, das diversas partes, com 15 mL de água destilada deionizada. O homogeneizado foi mantido em agitação durante aproximadamente uma hora e, posteriormente, filtrado em papel de filtro. Para a determinação do  $\text{Cl}^-$ , utilizou-se um volume adequado 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 460nm após 15 minutos. Os

teores de  $\text{Cl}^-$  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.

### **3.6. Determinação dos teores de carboidratos**

Para determinação do teor de carboidratos, o limbo foliar da primeira folha jovem expandida à contar do ápice foi coletado, identificado e depois rapidamente imerso em nitrogênio líquido. O material foi armazenado em “freezer” a  $-20^\circ\text{C}$ , para mais tarde ser submetido aos processos de liofilização e maceração. As amostras de pó liofilizado foram utilizadas para a preparação de extratos que foram posteriormente armazenados em “freezer” (AOAC, 1980). Amostras de 2 mg foram postas para agitar em 4 ml de água deionizada durante uma hora, com agitações constantes, à temperatura ambiente. Posteriormente, foram colocados 100 microlitros dos extratos, juntamente com 400 microlitros de água deionizada, 500 microlitros de fenol 5% e 2,5 mililitros de ácido sulfúrico concentrado. As leituras foram feitas em espectrofotômetro utilizando-se comprimento de onda de 490nm. Como amostra padrão “em branco”, utilizou-se um tubo de ensaio contendo: 500 microlitros de água deionizada; 500 microlitros de fenol e 2,5 mililitros de ácido sulfúrico. Os teores de carboidratos solúveis foram determinados por meio de uma curva de calibração, utilizando-se determinadas soluções de glicose com concentrações conhecidas como padrão, preparadas nas condições anteriores

### **3.7. Análise de solo**

Após a coleta das plantas, cada vaso teve seu perfil dividido em três camadas (0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm). Em cada uma destas profundidades foram coletadas com um trado, pequenas amostras de solo que posteriormente foram homogeneizadas, conforme o seu respectivo tratamento e genótipo. Destas amostras, foram retirados aproximadamente 500 gramas, para a realização de análises químicas, conforme Silva (1999).

### **3.8. Análises Estatísticas**

Os resultados foram submetidos à análise de variância e análise de regressão, utilizando-se o programa SAEG/UFV.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Características do solo**

Os valores de condutividade elétrica e de percentagem de saturação de sódio ao final do experimento foram mais altos do que os encontrados antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 2). Embora os valores de condutividade elétrica finais tenham sido muito superiores aos valores iniciais, os maiores resultados encontrados se encaixam dentro dos parâmetros da classificação de solos normais

proposta por Richards (1954). Por outro lado, os valores de PST encontrados nos solos irrigados com água de condutividade elétrica a partir de 4 dS.m<sup>-1</sup>, juntamente com os valores de condutividade elétrica, os enquadram como solos sódicos. A partir dos resultados encontrados, pode-se deduzir que o uso de águas salinas de composição química semelhante à dos tratamentos utilizados deve ser bem planejado, pois existe um grande risco de salinização e principalmente de sodificação do solo.

TABELA 2 - Valores médios de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e de percentagem de sódio trocável (PST) medidas no solo antes e ao final da instalação do experimento<sup>1</sup>

| CEa (dS m <sup>-1</sup> ) | CEes (dS m <sup>-1</sup> ) |        | PST (%) |        |
|---------------------------|----------------------------|--------|---------|--------|
|                           | CSF 18                     | CSF 20 | CSF 18  | CSF 20 |
|                           | Início                     |        |         |        |
|                           | 0,06                       | 0,06   | 3,0     | 3,0    |
|                           | Final do Experimento       |        |         |        |
| 0,5                       | 0,22                       | 0,23   | 4,3     | 4,3    |
| 2,0                       | 0,57                       | 0,55   | 8,3     | 7,7    |
| 4,0                       | 1,03                       | 0,97   | 12,0    | 17,0   |
| 6,0                       | 1,39                       | 1,45   | 17,0    | 16,0   |
| 8,0                       | 1,66                       | 1,74   | 18,0    | 20,6   |

<sup>1</sup> As análises ao final do experimento foram realizadas em amostras compostas de cinco sub-amostras (vasos) para cada genótipo.

A maior acumulação de sais ocorreu na camada de 20 a 30 cm de profundidade do solo (Tabela 3). Porém, nenhum dos valores encontrados nas três camadas se enquadrou nos parâmetros propostos para a classificação de solos salinos. Os baixos valores de condutividade elétrica encontrados ao final do experimento em todas as camadas podem ser explicados pelo fato de ter sido aplicada uma fração de lixiviação de 15 % (AYERS & WESTCOT 1999) e o solo utilizado ter uma textura arenosa, o que facilita a lixiviação dos sais aplicados na água de irrigação. Para o PST, os maiores valores foram encontrados na profundidade de 20 a 30 cm. Nos tratamentos de 4, 6 e 8 dS.m<sup>-1</sup> as camadas de 10-20 e de 20-30 cm do solo apresentaram valores de PST iguais ou maiores que 15

$\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , os quais o enquadram na categoria de solos sódicos proposta por Richards (1954).

TABELA 3 - Valores de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) e da percentagem de sódio trocável (PST) em diferentes profundidades no solo

| CEa<br>( $\text{dS m}^{-1}$ ) | CEes ( $\text{Ds m}^{-1}$ ) |          |          | PST (%) |          |          |
|-------------------------------|-----------------------------|----------|----------|---------|----------|----------|
|                               | 0-10 cm                     | 10-20 cm | 20-30 cm | 0-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm |
| 0,5                           | 0,18                        | 0,21     | 0,28     | 3,0     | 3,5      | 6,5      |
| 2,0                           | 0,43                        | 0,49     | 0,77     | 6,0     | 8,0      | 10,0     |
| 4,0                           | 0,77                        | 0,94     | 1,30     | 11,5    | 15,0     | 17,0     |
| 6,0                           | 1,29                        | 1,33     | 1,64     | 14,5    | 16,0     | 19,0     |
| 8,0                           | 1,36                        | 1,63     | 2,11     | 16,5    | 22,0     | 19,5     |

<sup>1</sup> As análises foram realizadas em amostras compostas de cinco sub-amostras para cada profundidade.

#### 4.2. Crescimento da parte aérea e das raízes

Conforme pode ser observado na tabela 4, houve diferença altamente significativa apenas para os efeitos dos tratamentos salinos nas seguintes variáveis: área foliar total, matéria seca da raiz e matéria seca total. A variável matéria seca da parte aérea teve também influência altamente significativas da interação tratamento x genótipo.

TABELA 4 - Valores dos quadrados médios e significância estatística da área foliar total (AFT), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca as raízes (MSR) e matéria seca total (MST) em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

| Variáveis | Quadrado Médio |          |                       |         |
|-----------|----------------|----------|-----------------------|---------|
|           | Tratamento     | Genótipo | Tratamento x Genótipo | Resíduo |
| AFT       | 115,10**       | 6,08 ns  | 24,91ns               | 10,35   |

|      |            |           |          |       |
|------|------------|-----------|----------|-------|
| MSPA | 433,03**   | 16,90 ns  | 61,09 ** | 10,91 |
| MSR  | 550,93 **  | 65,99 ns  | 7,75 ns  | 30,85 |
| MST  | 1909,69 ** | 149,73 ns | 50,54 ns | 46,11 |

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

O aumento na concentração de sais da água de irrigação reduziu linearmente a área foliar nos dois genótipos (Figura 1). As reduções atingiram, em média, 37 e 18% no maior nível de sais, respectivamente para os genótipos CSF 18 e CSF 20. A redução da área foliar é um bom indicador do grau de estresse nas plantas, visto que o crescimento foliar tem implicações sobre a capacidade produtiva das plantas. Por um lado, ela representa uma redução da área foliar total disponível para o processo de assimilação de carbono. Por outro lado, a redução na área foliar pode representar uma possível aclimação das plantas à redução do potencial hídrico que ocorre tanto em solos salinos como em áreas sujeitas à deficiência hídrica (TAIZ & ZEIGER, 2002).

Os dois genótipos apresentaram quedas nos valores de matéria seca da parte aérea com o aumento da salinidade dos tratamentos aplicados (Figura 1). Tais resultados são condizentes com os encontrados por Lacerda et al. (2003) que constataram a influência negativa dos tratamentos salinos para esta variável de crescimento em ambos os genótipos de sorgo estudados. As reduções na produção de matéria seca da parte aérea atingiram valores de 47 e 26% no nível maior de salinidade da água de irrigação, respectivamente para os genótipos CSF 18 e CSF 20.

Para a matéria seca das raízes ambos os genótipos apresentaram queda com o aumento da salinidade dos tratamentos (Figura 1). Essas reduções, no entanto, foram maiores do que aquela observada para a matéria seca da parte aérea, o que contraria resultados obtidos por outros autores (SHANNON et al., 1994). A redução no crescimento radicular atingiu, em média, 68% no nível maior de sais da água de irrigação para os dois genótipos estudados. Também, diferentemente de outros autores (SILVA, 2003) não foram observadas diferenças entre os dois genótipos estudados em relação ao crescimento radicular. Tais diferenças podem ser explicadas pelos meios diferentes de cultivo das plantas, que no caso dos autores

citados foram em solução nutritiva, o que pode ter influenciado o desenvolvimento das raízes.

De acordo com os resultados apresentados, verificou-se que a área foliar, a produção de matéria seca total, da parte aérea e do sistema radicular apresentou redução significativa quando foi aplicada água com condutividade elétrica igual ou superior a 4,0 dS/m (Figura 1), sugerindo que esses genótipos apresentam a salinidade limiar da água de irrigação próxima daquela preconizada pela FAO (AYERS & WESTCOT, 1999). Vale salientar que diferenças na salinidade limiar podem ser conseqüência de divergências no grau de tolerância dos genótipos utilizados, na qualidade da água, no método de irrigação empregado, no tipo de solo e nas condições climáticas (OSTER et al., 1984; YEO, 1999).

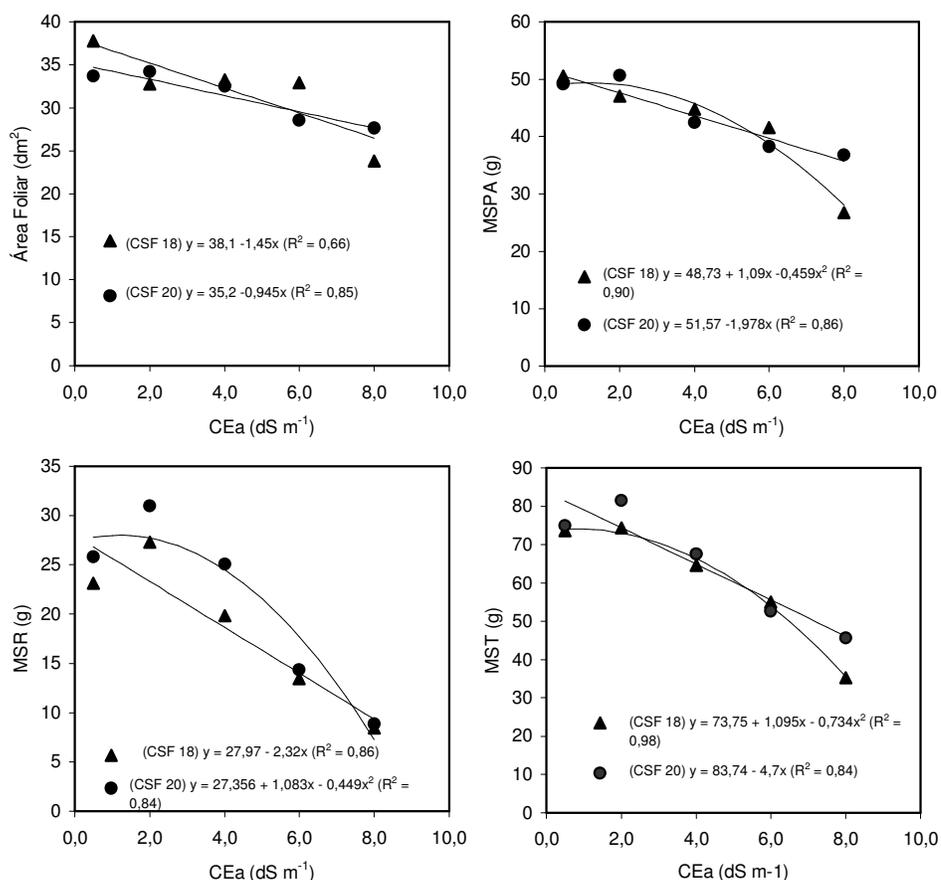


FIGURA 1 - Área foliar total (AFT), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca das raízes (MSR) e matéria seca total (MST) de plantas de dois genótipos de sorgo forrageiro em função da salinidade da água de irrigação.

Os índices de tolerância calculados com base no crescimento da parte aérea evidenciaram a maior tolerância do genótipo CSF 20 em relação ao genótipo CSF 18, notadamente quando as plantas foram expostas aos maiores níveis de salinidade da água de irrigação (Tabelas 5 e 6). Isso evidencia a maior sensibilidade do genótipo CSF 18, a qual se torna evidente em níveis elevados de sais no meio de crescimento (LACERDA, 2000). A projeção das curvas de regressão sugere que diferenças ainda mais significativas entre os genótipos poderiam ter sido obtidas se as plantas tivessem sido submetidas aos níveis de sais superiores a 8 dS m<sup>-1</sup>.

TABELA 5 - Valores dos quadrados médios e significância estatística para o índice de tolerância à salinidade calculado com base nos dados de matéria seca da parte aérea (ITMSPA), matéria seca da raiz (ITMSR) e área foliar (ITAF) e de plantas de genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa)

| Variáveis | Quadrado Médio |          |                       |         |
|-----------|----------------|----------|-----------------------|---------|
|           | Tratamento     | Genótipo | Tratamento x Genótipo | Resíduo |
| ITMSPA    | 1774,7**       | 302,4**  | 208,4**               | 13,8    |
| ITMSR     | 8167,9**       | 9,7 ns   | 41,5 ns               | 152,3   |
| ITAF      | 869,2 **       | 606,9**  | 167,2**               | 25,6    |

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

Tabela 6 - Valores médios do índice de tolerância à salinidade calculado com base nos dados de matéria seca da parte aérea (ITMSPA), matéria seca da raiz (ITMSR) e área foliar (ITAF) de plantas de genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa)

| Índice de Tolerância (%) |     |
|--------------------------|-----|
| CSF 18                   | 100 |
| CSF 20                   | 100 |

|     | MSPA   |        | MSR    |        | AF     |        |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|     | CSF 20 | CSF 18 | CSF 20 | CSF 18 | CSF 20 | CSF 18 |
| 0,5 | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    |
| 2,0 | 102,7  | 93,0   | 107,3  | 105,2  | 101,5  | 86,8   |
| 4,0 | 86,2   | 88,7   | 86,0   | 77,7   | 96,5   | 88,3   |
| 6,0 | 77,6   | 78,9   | 49,3   | 52,5   | 84,9   | 87,5   |
| 8,0 | 74,7   | 53,1   | 30,8   | 33,0   | 81,9   | 63,3   |

#### 4.3. Partição da matéria seca e distribuição de raízes nos vasos

A partição da matéria seca foi afetada tanto pelos níveis de sais da água de irrigação como pelo genótipo estudado. As percentagens de matéria seca para o limbo diferiram com valores altamente significativos entre os tratamentos e entre os genótipos (Tabela 7). A matéria seca da bainha diferiu em valores altamente significativos para os genótipos, tratamentos e a interação genótipo x tratamento. A matéria seca do colmo e a relação de matéria seca da parte aérea/ matéria seca da raiz diferiram apenas para os tratamentos.

Ambos os genótipos acumularam uma maior quantidade de matéria seca no limbo foliar em relação ao total da parte aérea (Tabela 8). Os valores da distribuição percentual da matéria seca da bainha e dos limbos foliares aumentaram à medida que a salinidade da água de irrigação aumentou nos dois genótipos, sendo que, em média, o genótipo CSF 18 acumulou mais matéria seca no limbo foliar que o genótipo CSF 20. Para a matéria seca do colmo, não houve diferença entre os genótipos, mas estes apresentaram diferença quanto aos tratamentos, sendo que os percentuais de matéria seca do colmo foram diminuindo com o aumento dos níveis de salinidade da água. Por outro lado, observou-se aumento na relação matéria seca da parte aérea/matéria seca da raiz, notadamente nos tratamentos com salinidade mais alta (6,0 e 8,0 dS m<sup>-1</sup>), em face do maior efeito da salinidade sobre o crescimento do sistema radicular.

As alterações na distribuição percentual da matéria seca provocadas pelo estresse salino são condizentes com o fato de que a salinidade, além de reduzir a produção de biomassa pode também alterar a partição de fotoassimilados entre as

diferentes partes das plantas (GREENWAY & MUNNS, 1980; SILVA et al., 2003). O aumento percentual dos limbos foliares em relação à matéria seca da parte aérea e total, em resposta ao aumento da salinidade da água, e, principalmente, o aumento na proporção limbos/colmos e limbos/raízes pode representar as diferentes sensibilidades dos órgãos vegetativos ao estresse salino ou os diferentes mecanismos de proteção que as plantas utilizam para as diferentes partes da planta. Essas diferenças na partição de fotoassimilados podem contribuir na aclimação das plantas ao estresse salino, e compensam a redução considerável na área foliar (Figura 1) destinada à assimilação de carbono. Essas alterações na proporção fontes/drenos podem, também, compensar os aumentos nos gastos metabólicos que são necessários para o ajustamento da planta ao estresse imposto (MUNNS, 2002).

O aumento na relação parte aérea/raízes não está de acordo com muitos estudos realizados em condições controladas ou em condições de campo, sendo aceito pela maioria dos autores que a parte aérea é normalmente mais sensível ao estresse salino (SHANNON, 1992; SHANNON et al., 1994; LACERDA, 2000). Em geral, em condições de campo, tem sido observado decréscimo na relação parte aérea/raízes devido à salinidade, o que pode resultar em melhor exploração da umidade do solo e nutrientes essenciais e pode favorecer o crescimento da planta. Isso parece ser particularmente importante em solos de baixa fertilidade (MARSCHNER, 1995) ou em condições de baixo potencial mátrico do solo (FERREIRA et al., 1979). Sob determinadas condições salinas, particularmente quando a água não é fator limitante, maior tamanho (matéria seca) do sistema radicular pode resultar em aumento na quantidade de íons absorvidos, inclusive de íons potencialmente tóxicos, os quais podem se acumular rapidamente na parte aérea, afetando o crescimento da planta (MOYA et al., 1999). Assim, a redução na partição de biomassa para o sistema radicular pode representar um mecanismo de tolerância ao estresse salino e contribuir, de maneira significativa, para uma menor absorção e acúmulo de íons tóxicos na parte aérea (MOYA et al., 1999).

TABELA 7 - Valores dos quadrados médios e significância estatística da distribuição percentual da matéria seca da parte aérea (colmos, bainhas e limbos foliares) e da

relação parte aérea/raiz em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

| Variáveis | Quadrado Médio |          |                       |         |
|-----------|----------------|----------|-----------------------|---------|
|           | Tratamento     | Genótipo | Tratamento x Genótipo | Resíduo |
| Colmos    | 289,97**       | 0,33 ns  | 13,51 ns              | 13,25   |
| Bainhas   | 31,90**        | 198,64** | 21,53**               | 2,82    |
| Limbos    | 144,16**       | 215,27** | 28,61 ns              | 16,91   |
| MSPA/MSR  | 4,70**         | 0,02 ns  | 0,70 ns               | 0,41    |

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

TABELA 8 - Valores da distribuição percentual da matéria seca da parte aérea (colmos, bainhas e limbos foliares) e da relação parte aérea/raiz em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

| CEa (dSm <sup>-1</sup> ) | Matéria seca da parte aérea (%) |              |              | MSPA/MSR    |
|--------------------------|---------------------------------|--------------|--------------|-------------|
|                          | Colmos                          | Bainhas      | Limbos       |             |
|                          | Genótipo CSF 18                 |              |              |             |
| 0,5                      | 31,33                           | 23,87        | 44,80        | 2,34        |
| 2,0                      | 32,42                           | 23,84        | 43,74        | 1,96        |
| 4,0                      | 23,13                           | 24,06        | 52,81        | 2,28        |
| 6,0                      | 19,80                           | 23,07        | 57,13        | 3,05        |
| 8,0                      | 16,58                           | 28,59        | 54,83        | 3,20        |
| <b>Média</b>             | <b>24,65</b>                    | <b>24,68</b> | <b>50,66</b> | <b>2,56</b> |
|                          | Genótipo CSF 20                 |              |              |             |
| 0,5                      | 31,04                           | 24,83        | 44,14        | 2,22        |
| 2,0                      | 29,94                           | 27,58        | 42,48        | 1,65        |
| 4,0                      | 21,67                           | 30,66        | 47,66        | 1,74        |
| 6,0                      | 20,71                           | 31,99        | 47,30        | 2,77        |
| 8,0                      | 20,82                           | 30,66        | 48,52        | 4,18        |
| <b>Média</b>             | <b>24,83</b>                    | <b>29,14</b> | <b>46,02</b> | <b>2,51</b> |

A distribuição do sistema radicular diferiu entre os tratamentos e entre as profundidades estudadas (Tabela 9), tendo sido verificadas interações significativas que indicam diferentes comportamentos dos genótipos estudados. De modo geral, as maiores quantidades de raízes foram encontradas nos terços superior e inferior dos vasos (Figura 2). O aumento na concentração de sais na água de irrigação reduziu a quantidade de raízes do genótipo CSF 18 nas três camadas estudadas, sendo que as maiores reduções foram observadas na camada superficial. Por outro lado, a salinidade reduziu a matéria seca das raízes do genótipo CSF 20 somente no terço inferior, sendo que as maiores reduções foram observadas na camada inferior. Vale ressaltar que foi nesta camada onde foram encontrados os maiores valores de condutividade elétrica e de percentagem de sódio trocável para os cinco tratamentos, indicando que nesta profundidade pode ter ocorrido um maior efeito de toxidez de sódio para com o genótipo considerado tolerante (LACERDA et al., 2003).

A distribuição da matéria seca das raízes foi notadamente afetada pela salinidade da água de irrigação (Figura 2). Nos níveis mais baixos de salinidade, se observou uma distribuição proporcionalmente maior de raízes nas camadas de 0 a 10 e de 20 a 30 cm para o genótipo CSF 18 e de 20 a 30 cm para o genótipo CSF 20. O aumento da salinidade resultou em maior proporção das raízes na camada inferior (20 a 30 cm) no genótipo CSF 18 e em uma distribuição mais ou menos uniforme no caso do genótipo CSF 20. Isso mostra que a salinidade altera a morfologia o sistema radicular no solo, o que pode ter conseqüências para a tolerância das plantas ao acúmulo de sais e pode explicar possíveis discrepâncias em relação aos estudos realizados em meio hidropônico.

TABELA 9 - Valores dos quadrados médios e significância estatística da distribuição da matéria seca das raízes em diferentes profundidades nos vasos cultivados com plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

| Quadrados Médios |     |       |      |   |       |   |       |   |     |      |      |     |
|------------------|-----|-------|------|---|-------|---|-------|---|-----|------|------|-----|
| Trat             | Gen | Prof. | Trat | x | Trat  | x | Gen   | x | Gen | x    | prof | Res |
|                  |     |       | Gen  |   | Prof. |   | Prof. |   | x   | trat |      |     |

183,6\*\* 22,0 ns 617,7\* 2,58 ns 41,8\*\* 38,7\*\* 31,6\*\* 7,5

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

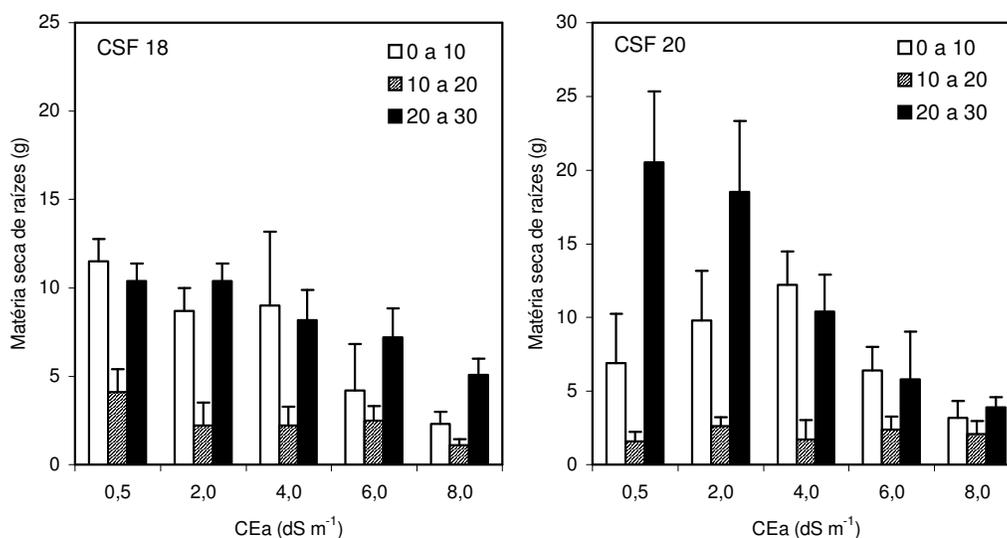


FIGURA 2 - Distribuição de raízes nos vasos cultivados com plantas de sorgo irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

#### 4.4. Características morfológicas

A altura do colmo sofreu influência altamente significativa apenas por parte do tratamento aplicado (Tabela 10). O número de perfilhos e o número de folhas foram influenciados apenas pelos genótipos testados. Houve diferenças significativas entre os genótipos e entre os tratamentos para as variáveis número de entrenós e diâmetro do colmo.

O aumento na concentração de sais na água de irrigação reduziu o número de entrenós, altura da planta e o diâmetro do colmo, sendo que esta diferença foi mais acentuada no genótipo CSF 18 (Tabela 11), evidenciando sua maior susceptibilidade ao estresse salino quando comparada com o genótipo CSF 20, conforme demonstrado em outros estudos (LACERDA et al., 2003; SILVA et al., 2003). Apesar de o número de folhas e o número de perfilhos não terem sido

afetados pela salinidade, pode-se constatar que o genótipo CSF 18 apresentou um maior número de perfilhos e o genótipo CSF 20 apresentou um maior número de folhas, sendo estas características peculiares de cada genótipo.

TABELA 10 - Valores dos quadrados médios de número de perfilhos (NP), número de folhas (NF), número de entrenós (NE), altura (AC) e diâmetro do colmo (DC) em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais.

| Variáveis | Quadrado Médio |          |                          |         |
|-----------|----------------|----------|--------------------------|---------|
|           | Tratamento     | Genótipo | Tratamento x<br>Genótipo | Resíduo |
| NP        | 0,537 ns       | 25,60**  | 0,537 ns                 | 0,216   |
| NF        | 0,375 ns       | 10,00**  | 0,250 ns                 | 0,500   |
| NE        | 7,912**        | 19,60**  | 1,6625 ns                | 1,333   |
| AC        | 1434,2**       | 165,6*   | 8,41 ns                  | 35,44   |
| DC        | 0,05212750*    | 0,0792*  | 0,0174 ns                | 0,0169  |

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

TABELA 11 - Valores médios de número de perfilhos (NP), número de folhas (NF), número de entrenós (NE), altura do colmo (AC) e diâmetro do colmo (DC) em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais.

| CEa (dS m <sup>-1</sup> ) | Características Morfológicas |             |            |             |            |
|---------------------------|------------------------------|-------------|------------|-------------|------------|
|                           | NP                           | NF          | NE         | AC (cm)     | DC (cm)    |
| Genótipo CSF 18           |                              |             |            |             |            |
| 0,5                       | 2,0                          | 12,7        | 9,3        | 62,1        | 2,4        |
| 2,0                       | 1,3                          | 11,5        | 8,8        | 58,5        | 2,2        |
| 4,0                       | 2,0                          | 11,4        | 8,0        | 43,1        | 2,2        |
| 6,0                       | 1,6                          | 12,2        | 7,6        | 37,3        | 2,2        |
| 8,0                       | 1,2                          | 11,4        | 5,8        | 29,6        | 2,0        |
| <b>Média</b>              | <b>1,6</b>                   | <b>11,8</b> | <b>7,9</b> | <b>46,1</b> | <b>2,2</b> |
| Genótipo CSF 20           |                              |             |            |             |            |

|              |            |             |            |             |            |
|--------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| 0,5          | 0,2        | 14,3        | 10,8       | 64,6        | 2,3        |
| 2,0          | 0,2        | 15,0        | 9,6        | 58,0        | 2,3        |
| 4,0          | 0,0        | 13,8        | 8,6        | 43,6        | 2,2        |
| 6,0          | 0,2        | 14,2        | 8,6        | 39,1        | 2,3        |
| 8,0          | 0,0        | 14,6        | 7,8        | 34,7        | 2,2        |
| <b>Média</b> | <b>0,1</b> | <b>14,4</b> | <b>9,1</b> | <b>48,0</b> | <b>2,3</b> |

O grau de suculência sofreu influências altamente significativas por parte dos genótipos e dos tratamentos, enquanto que a massa específica foliar sofreu influência apenas por parte dos genótipos testados (Tabela 12). Para o grau de suculência, houve uma diminuição nos dois genótipos testados à medida que a salinidade dos tratamentos aumentou (Figura 3), o que está de acordo com os resultados obtidos por Trindade (2002) em plantas de sorgo. Os outros autores também 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). Para Larcher (2000), a intensidade de salinidade como fator de estresse sobre o protoplasma não é definida pela quantidade absoluta de sal, mas sim por sua concentração. Se o volume celular aumenta proporcionalmente à absorção de sal (conforme a célula absorve água), aumentando a sua suculência, a concentração de sais pode ser mantida constante por extensos períodos, o que não foi verificado nos genótipos de sorgo estudados. Isso evidencia que o mecanismo de retenção de íons nos colmos e bainhas de plantas de sorgo evita o acúmulo excessivo nos tecidos foliares, o que acarreta um certo grau de desidratação foliar.

TABELA 12 - Valores dos quadrados médios e significância estatística do grau de suculência e da massa específica foliar em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

| Variáveis  | Quadrado Médio |          |                          |         |
|------------|----------------|----------|--------------------------|---------|
|            | Tratamento     | Genótipo | Tratamento<br>x Genótipo | Resíduo |
| Suculência | 0,106 **       | 0,601 ** | 0,0305 ns                | 0,0245  |
| Massa      | 0,0024 ns      | 0,071 ** | 0,0012 ns                | 0,0019  |

---

 Específica
 

---

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

Os valores de massa específica da folha (Tabela 13) foram maiores para o genótipo considerado tolerante, porém não foram afetados pela salinidade em nenhum dos genótipos, resultado semelhante ao obtido por Trindade (2002). Esse resultado é um indicativo que não foram verificados nem aumento da espessura do mesofilo nem na espessura das paredes celulares, induzido pelo estresse salino, como verificado em outras espécies (COSTA et al., 2003; SILVA et al., 2003).

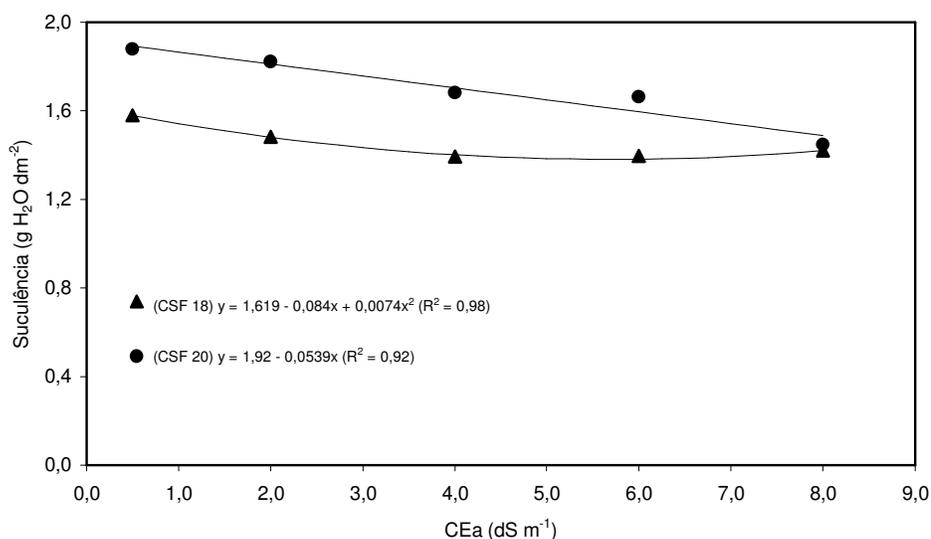


FIGURA 3 - Suculência foliar de plantas de dois genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

TABELA 13 - Valores médios da massa específica foliar em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

| CEa<br>(dS m <sup>-1</sup> ) | Massa Específica (g MS dm <sup>-2</sup> ) |        |
|------------------------------|---|--------|
|                              | CSF 18                                    | CSF 20 |
|                              |   |        |

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| 0,5   | 0,512 | 0,613 |
| 2,0   | 0,553 | 0,643 |
| 4,0   | 0,564 | 0,632 |
| 6,0   | 0,563 | 0,615 |
| 8,0   | 0,510 | 0,622 |
| Média | 0,540 | 0,625 |

#### 4.5. Trocas gasosas e estado hídrico das folhas

Com relação às trocas gasosas e ao potencial hídrico, foram observadas diferenças significativas apenas para os tratamentos aplicados (Tabela 14). As taxas de fotossíntese e transpiração apresentaram reduções significativas (5%) em função do aumento da salinidade da água de irrigação, enquanto que as variáveis de condutância estomática e potencial hídrico apresentaram reduções altamente significativas (1%) para os níveis de salinidade aplicados.

TABELA 14 - Valores dos quadrados médios e significância estatística da fotossíntese, transpiração, condutância estomática e potencial hídrico em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

| Variáveis              | Quadrado Médio |          |                       |         |
|------------------------|----------------|----------|-----------------------|---------|
|                        | Tratamento     | Genótipo | Tratamento x Genótipo | Resíduo |
| Fotossíntese           | 23,16*         | 4,16 ns  | 4,19 ns               | 7,82    |
| Transpiração           | 7,04*          | 3,25 ns  | 2,66 ns               | 1,75    |
| Condutância Estomática | 0,02**         | 0,01 ns  | 0,01 ns               | 0,04    |
| Potencial Hídrico      | 20,60**        | 12,21 ns | 1,43 ns               | 5,08    |

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

As trocas gasosas e o potencial hídrico das folhas decresceram à medida que aumentaram os níveis de salinidade dos tratamentos (Figura 4). Isso indica a existência de limitações estomáticas para o processo de assimilação de carbono,

não podendo, entretanto, descartar a possibilidade de efeitos não estomáticos devido á toxidez de íons e à redução do potencial hídrico nos níveis mais elevados de sais. De acordo com Larcher (2000), quando os efeitos osmóticos e iônicos da salinidade excedem o nível de tolerância funcional da planta, ocorrem distúrbios funcionais e injúrias, sendo que a fotossíntese não é limitada devido somente ao fechamento estomático, mas, também, pelo efeito do sal sobre os cloroplastos, em particular sobre o transporte eletrônico e sobre os processos secundários.

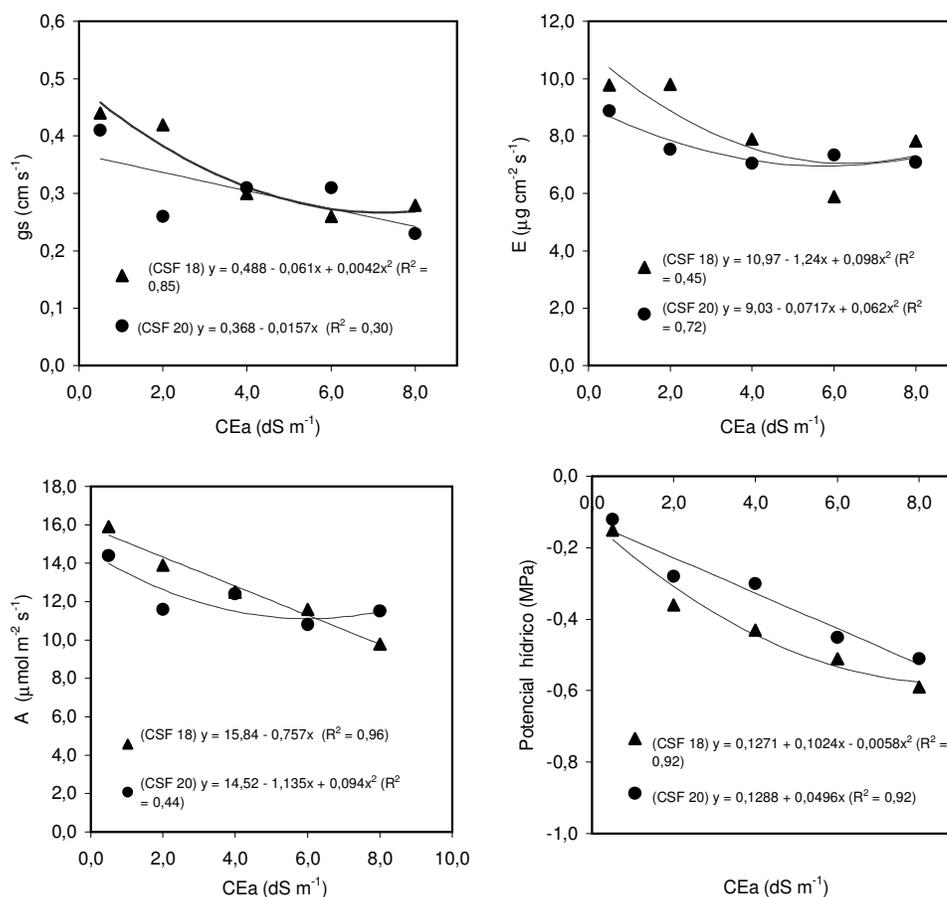


FIGURA 4 - Condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ), fotossíntese líquida ( $A$ ) e potencial hídrico de folhas de plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais ( $CEa$ ).

De maneira semelhante ao estresse hídrico, as plantas apresentaram uma diminuição das taxas de transpiração e fotossíntese, que foi inversamente proporcional ao aumento dos teores de sais na água de irrigação e diretamente

proporcional à diminuição dos valores de condutância estomática e de potencial hídrico foliar. De certa forma, como foi observado anteriormente por Silva et al. (2003), em adição ao decréscimo na taxa fotossintética (Figura 4) podemos constatar que a diminuição na área foliar (Figura 1), causada pelos crescentes níveis de salinidade dos tratamentos, diminuiu consideravelmente a área destinada ao processo fotossintético, tornando menor a capacidade produtiva de ambos os genótipos.

#### 4.6. Teores de íons na parte aérea

Os teores de  $\text{Na}^+$  no limbo e na bainha diferiram apenas entre os tratamentos salinos, mas para os colmos ocorreu influência por parte dos genótipos e dos tratamentos. Os teores de  $\text{Cl}^-$  no limbo foliar e na bainha apresentaram influência devido aos tratamentos, aos genótipos e à interação tratamento x genótipo (Tabela 15). Os teores de  $\text{Cl}^-$  no colmo apresentou diferença apenas entre os tratamentos. Os teores de potássio na bainha e no colmo foram altamente significativos para os genótipos e para os tratamentos, enquanto o teor de fósforo no limbo foliar foi significativo apenas para os genótipos testados.

Tabela 15 - Valores de quadrados médios para as variáveis de cloretos no limbo foliar (CIL), na bainha (CIB) e no colmo (CIC); sódio no limbo foliar (NaL), na bainha (NaB) e no colmo (NaC); potássio no limbo (KL), na bainha (KB) e no colmo (KC).

| Variáveis | Quadrado Médio |            |                       |         |
|-----------|----------------|------------|-----------------------|---------|
|           | Tratamento     | Genótipo   | Tratamento x Genótipo | Resíduo |
| CIL       | 8168,29**      | 27560,16** | 2649,85**             | 1156,08 |
| CIB       | 45812,82**     | 132712,7** | 6715,29**             | 1178,29 |
| CIC       | 230598,7**     | 3143,9 ns  | 6670,81ns             | 7691,85 |
| NaL       | 629,58**       | 2,583 ns   | 34,24 ns              | 14,99   |
| NaB       | 14573,84**     | 412,08 ns  | 381,65 ns             | 214,58  |
| NaC       | 357011,4**     | 17076**    | 1805,59 ns            | 2259,03 |
| KL        | 1111,08ns      | 3562,98 ns | 47,63 ns              | 574,68  |

|    |            |            |            |         |
|----|------------|------------|------------|---------|
| KB | 14819,14** | 13227,6**  | 3499,30 ns | 1478,68 |
| KC | 20973**    | 155347,1** | 1858,29 ns | 4702,12 |
| PL | 0,186 ns   | 1,37**     | 0,107ns    | 0,139   |

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

Os teores de sódio nos tecidos da parte aérea aumentaram com a aplicação dos tratamentos, sendo que nos limbos e nas bainhas não foram verificadas diferenças entre os genótipos utilizados (Figura 5). Para os teores de sódio no colmo, houve um maior acúmulo desse íon por parte do genótipo CSF 20, o que não está de acordo com observações de outros autores trabalhando com esse mesmo genótipo (SILVA et al., 2003). Os teores de cloreto no limbo foliar e na bainha foram maiores também no genótipo considerado tolerante, diferindo dos resultados observados em outros estudos que mostraram maiores acúmulos dos íons sódio e cloreto no genótipo CSF 18 (LACERDA et al., 2003; SILVA et al, 2003). Essas respostas controversas podem estar associadas ao meio onde as plantas foram cultivadas, visto que os autores citados trabalharam com meio hidropônico. No presente estudo, verificou-se diferença tanto na acumulação de sais em diferentes camadas dos vasos bem como diferenças na distribuição de raízes, o que pode ter afetado a quantidade desses íons absorvidos pelas plantas.

Silva et al. (2003) encontrou menor acúmulo de  $\text{Cl}^-$  na bainha e nos limbos, evidenciando uma maior capacidade das plantas de sorgo em excluir o cloreto do fluxo transpiratório e, assim acumular quantidades menores desse íon nos tecidos foliares, principalmente nos tecidos fotossintetizantes. O íon cloreto nos colmos aumentou com a crescente salinidade dos tratamentos. Os maiores acúmulos de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nos colmos e nas bainhas pode sugerir a existência de uma barreira seletiva entre as raízes e a parte aérea, bem como a compartimentalização e o seqüestro destes íons nestas estruturas. As diferenças observadas no crescimento vegetativo entre genótipos podem ter sido determinadas pelo decréscimo no transporte de sais para as folhas (BOUSIER & LAUCHLI, 1989).

Dos dois genótipos, o CSF 20 apresentou uma maior acumulação de potássio no limbo foliar, o que está de acordo com observações de outros autores com os mesmos genótipos (LACERDA et al., 2001; SILVA et al., 2003). No entanto, os teores deste elemento foram pouco afetados pelos tratamentos aplicados, o que

diverge de muitas informações da literatura (TALEISNIK & GRUNBERG, 1994; MARSCHNER, 1995; AZEVEDO NETO & TABOSA, 2000). Essas discrepâncias podem estar associadas ao tipo de sal utilizado nos tratamentos. Os teores de potássio encontrados na bainha e no colmo apresentaram diferença entre os tratamentos e entre os genótipos. O genótipo CSF 20 apresentou um maior acúmulo de potássio na bainha e um menor acúmulo no colmo. O  $K^+$  é o principal nutriente relacionado com funções osmóticas de plantas, podendo atingir concentrações relativamente altas no citoplasma sem afetar as reações metabólicas. Sob condições de estresse salino, o melhor desempenho de certo genótipo, sob condições de estresse salino, pode estar relacionado com sua melhor nutrição potássica (COLMER et al., 1996; GUERRIER, 1996).

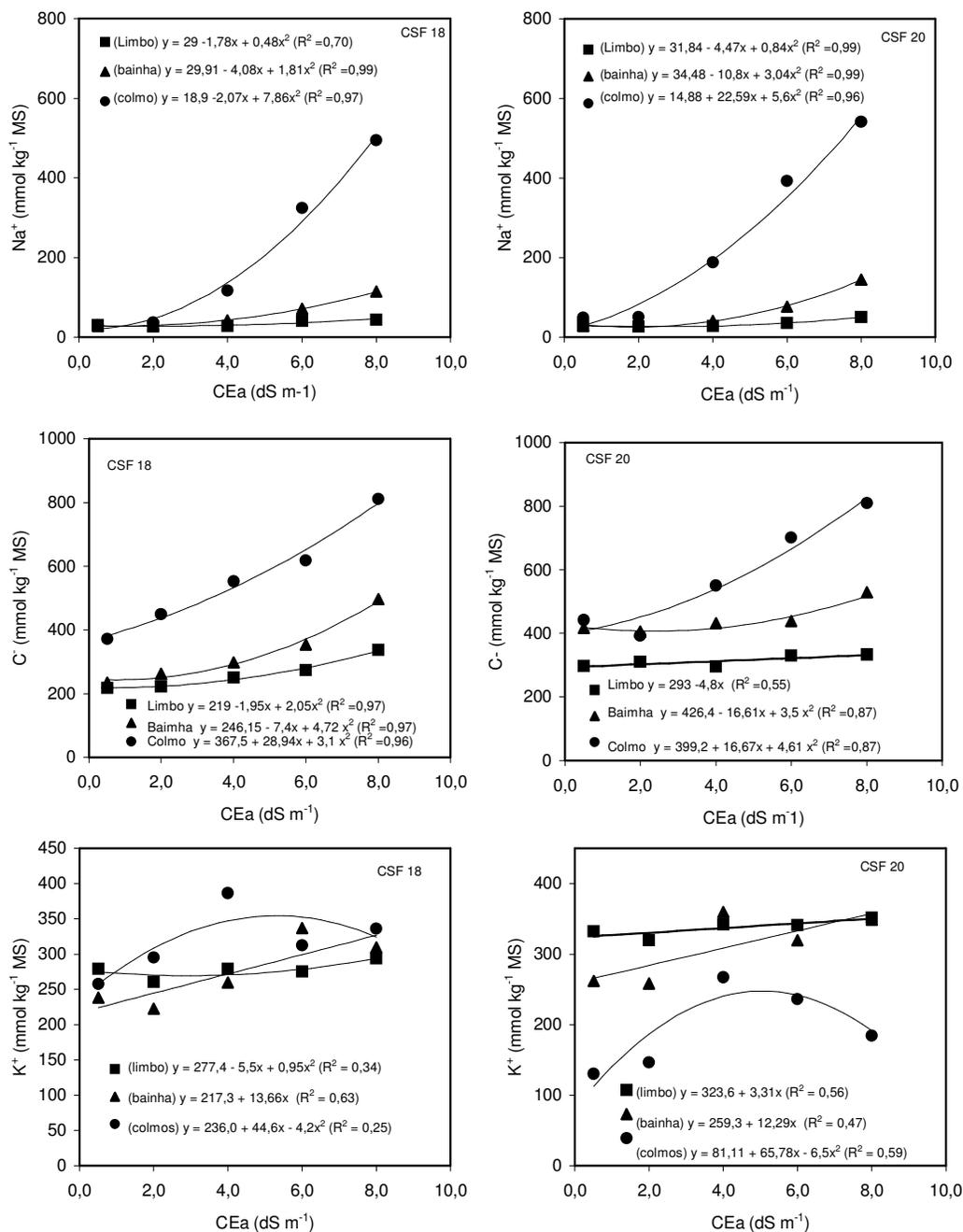


FIGURA 5 - Teores de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

Os teores de fósforo quase não variaram entre os tratamentos, mas foram maiores para o genótipo CSF 20 (Figura 6). A interação entre salinidade e nutrição de fósforo em plantas é bastante complexa e altamente dependente da espécie

vegetal ou cultivar, do estágio de desenvolvimento, da composição e concentração de sais e da própria concentração de P no meio de cultivo (GRATAN & GRIEVE, 1999). Em algumas espécies tem sido verificado acúmulo de P nas folhas, o que evidencia a necessidade de cautela no caso de adubação fosfatada em meio salino. É possível que o nível ótimo do nutriente para a produção vegetal, na ausência de sais, possa ser tóxico para algumas plantas quando cultivadas em meio salino (NIEMAN & CLARK, 1976; GRATTAN & MAAS, 1984). No entanto, de acordo com outros autores, 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) e podem não ocorrer em plantas cultivadas no campo. Os dados apresentados na figura 6 confirmam essa observação, visto que não se encontrou nenhuma tendência de acúmulo de P em folhas de plantas de sorgo dos dois genótipos estudados.

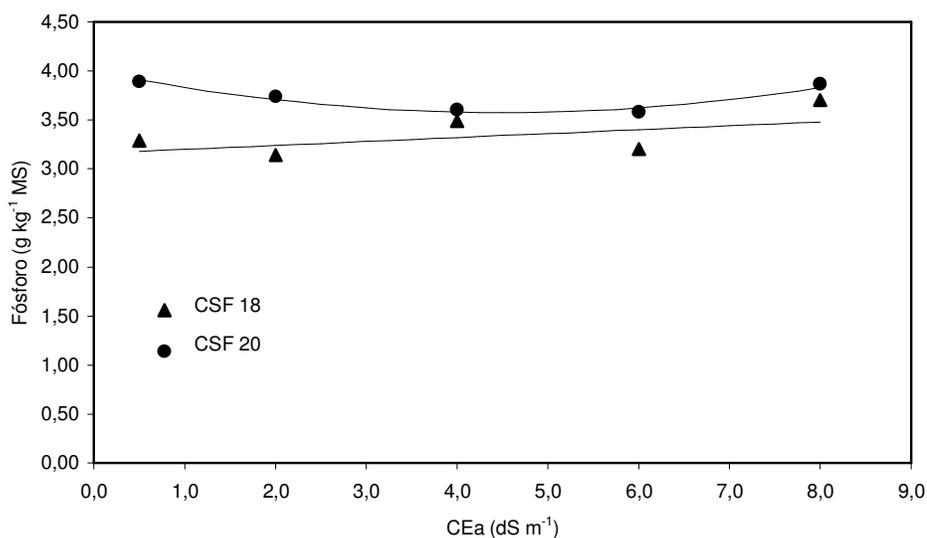


FIGURA 6 - Teores de P em folhas de dois genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

#### 4.7. Relações iônicas e distribuição percentual de íons na parte aérea

Para as relações cloreto no colmo/cloreto no limbo foliar, cloreto na bainha/cloreto no limbo, ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos e entre os genótipos utilizados (Tabela 16). As relações sódio no colmo/sódio no limbo, potássio no colmo/potássio no limbo e a relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  na folha apresentaram diferença significativa para os tratamentos e para os genótipos utilizados, enquanto que as relações sódio na bainha/sódio no limbo e potássio na bainha/potássio no limbo diferiram apenas para os tratamentos.

TABELA 16 - Valores de quadrados médios para as variáveis de relações de: cloretos no colmo/ cloretos no limbo foliar (Clc/Clf); cloretos na bainha/ cloretos no limbo foliar (Clb/clf); sódio no colmo/ sódio no limbo foliar (NaC/NaF); sódio na bainha/ sódio no limbo foliar (Nab/Naf); potássio no colmo/ potássio no limbo foliar (Kc/Kf); potássio na bainha/ potássio no limbo foliar (Kb/Klf); sódio no limbo foliar/ potássio no limbo foliar (Na/K)

| Variáveis | Quadrado Médio |          |                       |         |
|-----------|----------------|----------|-----------------------|---------|
|           | Tratamento     | Genótipo | Tratamento x Genótipo | Resíduo |
| Clc/clf   | 1,029**        | 0,9*     | 0,17ns                | 0,19    |
| Clb/clf   | 0,124*         | 0,337**  | 0,019 ns              | 0,044   |
| NaC/NaF   | 61,27**        | 14,64**  | 4,78*                 | 1,537   |
| Nab/Naf   | 4,27**         | 0,01ns   | 0,089 ns              | 0,176   |
| Kc/Kf     | 0,202*         | 3,23**   | 0,017ns               | 0,176   |
| Kb/Klf    | 0,109*         | 0,037ns  | 0,04ns                | 0,012   |
| Na/K      | 0,004**        | 0,005**  | 0,0003 ns             | 0,00023 |

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

Os resultados apresentados na figura 7 mostram um aumento de cerca de 12 vezes na relação entre os teores de  $\text{Na}^+$  nos colmos e nos limbos foliares, sendo que os maiores valores dessa relação foram observados no genótipo CSF 20. Isso mostra a grande capacidade de retenção de  $\text{Na}^+$  nos colmos, com a bainha exercendo um papel também importante nesse mecanismo. Por outro lado, a capacidade de retenção de  $\text{Cl}^-$  foi bem menor que a de sódio, sendo maior nos

colmos do que nas bainhas. Esses resultados são bons indicativos da capacidade de retenção de íons potencialmente tóxicos, especialmente de  $\text{Na}^+$ , sugerindo que esta espécie exporta pouco  $\text{Na}^+$  do caule para os limbos foliares, evitando, assim, o excesso de íons potencialmente tóxicos nos tecidos fotossintetizantes (LESSANI & MARSCHNER, 1978; SALIM & PITMAN, 1983; AZEVEDO NETO & TABOSA, 2000).

Diferentemente do  $\text{Na}^+$  e do  $\text{Cl}^-$ , não se observou acúmulo de  $\text{K}^+$  nos caules e bainhas, com as relações apresentando valores inferiores a 1,0 (Figura 7). Isso sugere a existência de mecanismos específicos de absorção de íons nas células dos caules, os quais favorecem a retenção de íons potencialmente tóxicos e o transporte do  $\text{K}^+$  para os tecidos foliares. A relação entre os teores de  $\text{K}^+$  nos colmos e nos limbos foliares foram bem menores no genótipo CSF 20. Isso evidencia que o genótipo CSF 20 apresenta maior capacidade de distribuição de  $\text{K}^+$  para as folhas, o que pode ser considerada uma característica importante para a tolerância à salinidade.

A relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  na folha aumentou com o aumento da salinidade da água de irrigação (Figura 8), sendo que os valores podem ser considerados baixos se comparados com os obtidos por outros autores (OLIVEIRA, 2002). Os maiores valores na relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  foram observados no genótipo sensível, excetuando-se os níveis mais altos de salinidade, em função de sua menor capacidade de acumular  $\text{K}^+$  nas folhas, visto que os teores de  $\text{Na}^+$  não diferiram entre os genótipos. Essa característica foi determinante para maior sensibilidade desse genótipo ao estresse salino, o que tem sido sugerido por outros autores (TALEISNIK & GRUNBERG, 1994; LACERDA et al., 2001; COSTA et al., 2003). Na realidade, muitos autores têm correlacionado a tolerância à salinidade com a manutenção de uma adequada nutrição potássica (TALEISNIK & GRUNBERG, 1994), podendo a relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ser utilizada como critério de seleção de materiais sensíveis e tolerantes ao estresse salino.

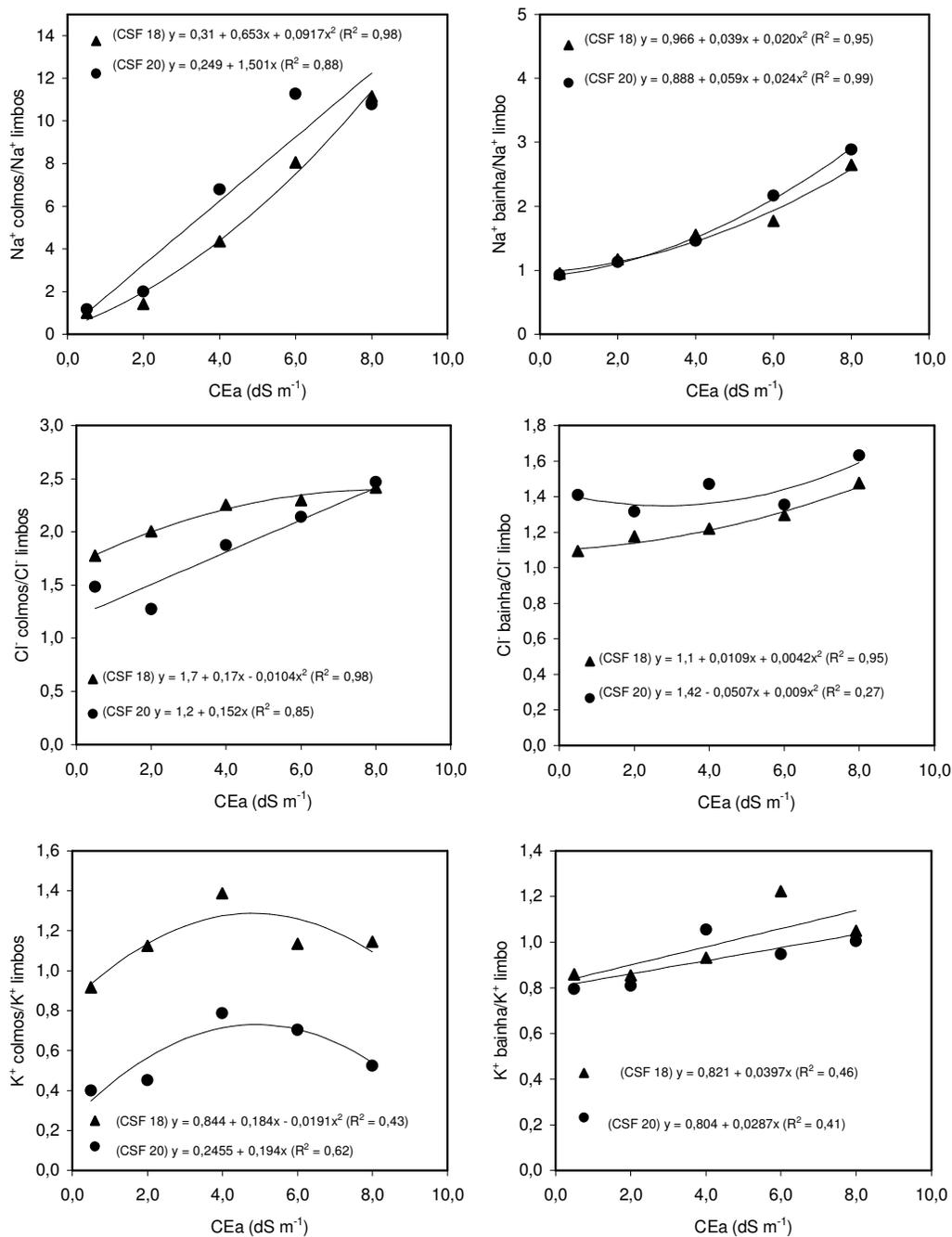


FIGURA 7 - Relação entre os teores de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nos caules e os teores desses íons nos limbos foliares e entre os teores nas bainhas e nos limbos foliares em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

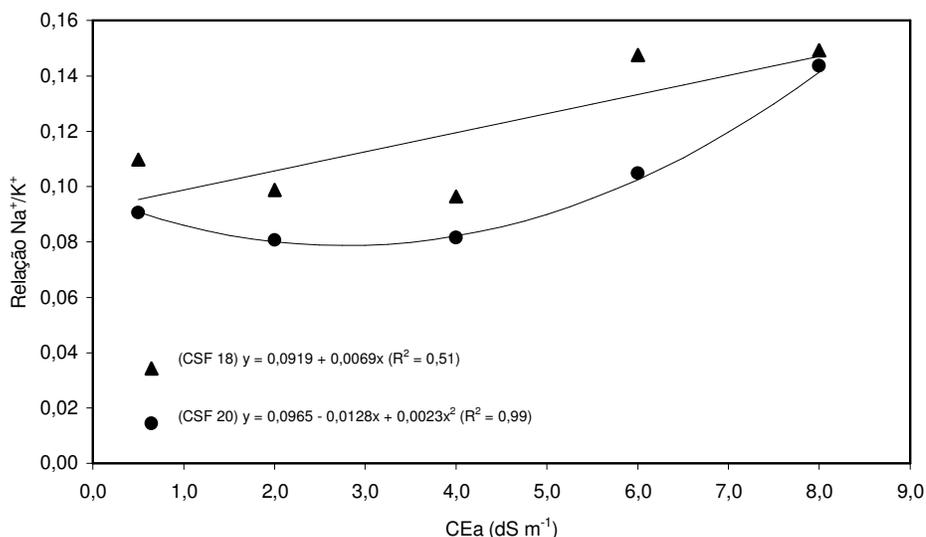


FIGURA 8 - Relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  nos limbos foliares em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

É preciso ficar claro que embora o excesso de sais afete os teores de íons na planta, esse efeito não ocorre de maneira uniforme em todas as partes da planta (AZEVEDO NETO & TABOSA, 2000). Os resultados das tabelas 17 e 18 mostram diferenças na distribuição percentual de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{K}^+$  na parte aérea, sendo a mesma influenciada tanto pelo genótipo como tratamento. O  $\text{Na}^+$  teve comportamento idêntico para os dois genótipos com maior acúmulo em função da salinidade nos colmos. Já para o  $\text{Cl}^-$ , o aumento maior foi na bainha, com o genótipo CSF 18 também aumentando no limbo. O maior acúmulo de  $\text{K}^+$  ocorreu nos limbos foliares, com o genótipo CSF 20 apresentando maior capacidade de acumulação de  $\text{K}^+$  nos tecidos foliares (tabela 18). Também pode ser observado que a percentagem de  $\text{Na}^+$  nos limbos decresceu com o incremento da salinidade da água de irrigação ao passo que a percentagem de  $\text{Na}^+$  nos colmos aumentou. Essas respostas sugerem a existência de mecanismos seletivos de retenção de íons e dão suporte à hipótese de que as plantas buscam um ajuste em relação às concentrações de  $\text{Na}^+$  e de  $\text{K}^+$ , podendo o primeiro contribuir principalmente para o ajustamento osmótico dos tecidos não fotossintetizantes. Pode também ser sugerido que a redução na aquisição de alguns elementos minerais essenciais poderia não necessariamente resultar em prejuízo para as plantas, visto que algumas funções menos específicas

desse nutriente poderiam ser realizadas por elementos benéficos obtidos em excesso devido sua maior disponibilidade no solo. Isso significa que a planta pode conviver com uma redução no teor de  $K^+$ , mantendo, no entanto, uma relação  $Na^+/K^+$  em valores adequados, especialmente nos tecidos fotossintetizantes.

TABELA 17 -Valores de quadrados médios para as variáveis dos percentuais: cloretos no limbo foliar (CIPF), na bainha (CIPB) e no colmo (CIPC); sódio no limbo foliar (NaPF), na bainha (NaPB) e no colmo (NaPC); potássio no limbo foliar (KPF), na bainha (KPB) e no colmo (KPC)

| Variáveis | Quadrado Médio |          |                       |         |
|-----------|----------------|----------|-----------------------|---------|
|           | Tratamento     | Genótipo | Tratamento x Genótipo | Resíduo |
| CIPF      | 21,69 ns       | 5,52 ns  | 43,45 ns              | 22,38   |
| CIPB      | 76,51**        | 505,03** | 34,22*                | 9,17    |
| CIPC      | 148,57**       | 616,19** | 135,55**              | 30,94   |
| NaPF      | 774,20**       | 30,83**  | 6,68 ns               | 1401    |
| NaPB      | 91,33**        | 6,31ns   | 11,25 ns              | 18,78   |
| NaPC      | 1201,24**      | 65,05**  | 2,42 ns               | 39,53   |
| KPF       | 26,75 ns       | 724,22** | 6,68 ns               | 14,01   |
| KPB       | 117,26**       | 386,32** | 15,96 ns              | 15,06   |
| KPC       | 226,53**       | 2168,4** | 87,92*                | 30,23   |

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

TABELA 18 - Distribuição percentual de Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e K<sup>+</sup> nos limbos foliares, bainhas e colmos de plantas de dois genótipos de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

| Ea (dS<br>m <sup>-1</sup> ) | % de Na <sup>+</sup> |        |       | % de Cl <sup>-</sup> |        |       | % de K <sup>+</sup> |        |       |
|-----------------------------|----------------------|--------|-------|----------------------|--------|-------|---------------------|--------|-------|
|                             | Limbo                | Bainha | Colmo | limbo                | bainha | colmo | Limbo               | bainha | colmo |
| CSF 18                      |                      |        |       |                      |        |       |                     |        |       |
| 0,5                         | 35,2                 | 27,2   | 37,6  | 26,7                 | 23,9   | 49,4  | 37,0                | 26,4   | 36,6  |
| 2,0                         | 27,5                 | 27,5   | 45,0  | 23,7                 | 23,2   | 53,1  | 33,4                | 24,3   | 42,3  |
| 4,0                         | 19,1                 | 22,6   | 58,3  | 29,3                 | 25,9   | 44,8  | 37,1                | 26,0   | 36,9  |
| 6,0                         | 15,3                 | 17,5   | 67,2  | 32,1                 | 27,5   | 40,4  | 41,1                | 33,2   | 25,7  |
| 8,0                         | 12,9                 | 25,7   | 61,4  | 31,3                 | 35,5   | 33,2  | 43,0                | 35,1   | 21,9  |
| Média                       | 22,0                 | 24,1   | 53,9  | 28,6                 | 27,2   | 44,2  | 38,3                | 29,0   | 32,7  |
| CSF 20                      |                      |        |       |                      |        |       |                     |        |       |
| 0,5                         | 34,2                 | 25,9   | 39,9  | 27,3                 | 31,5   | 41,2  | 48,8                | 31,6   | 19,6  |
| 2,0                         | 27,8                 | 25,1   | 47,1  | 31,3                 | 33,5   | 35,2  | 48,7                | 31,9   | 19,4  |
| 4,0                         | 17,7                 | 19,7   | 62,6  | 31,6                 | 36,0   | 32,4  | 44,6                | 36,4   | 19,0  |
| 6,0                         | 10,6                 | 20,7   | 68,7  | 29,0                 | 35,0   | 36,0  | 44,5                | 37,6   | 17,9  |
| 8,0                         | 10,8                 | 25,2   | 64,0  | 27,4                 | 35,6   | 37,0  | 47,7                | 38,5   | 13,8  |
| Média                       | 20,2                 | 23,3   | 56,5  | 29,3                 | 34,3   | 36,4  | 46,9                | 35,2   | 17,9  |

#### 4.8. Teores de carboidratos

De acordo com a análise estatística, ocorreu diferença significativa apenas entre os genótipos (Tabela 19), não ocorrendo diferença significativa entre os teores de carboidratos para os diferentes níveis de salinidade. Os maiores teores de carboidratos foram encontrados em plantas do genótipo CSF 20 (Figura 9), porém não diferiu estatisticamente para a salinidade crescente dos tratamentos. Os resultados apresentados diferem dos apresentados por Lacerda et al (2003), que estudando o comportamento dos genótipos CSF 18 e CSF 20, observou aumento dos teores de carboidratos proporcional ao aumento da salinidade do meio de cultivo. Silva et al (2003) também constataram que em relação ao genótipo CSF 18,

o genótipo CSF 20 apresentou maiores teores de carboidratos solúveis nas folhas de plantas controle e plantas estressadas.

TABELA 19 - Valores de quadrados médios para e níveis de significância para os teores de carboidratos em folhas de plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais

| Variáveis    | Quadrado Médio |          |                          |         |
|--------------|----------------|----------|--------------------------|---------|
|              | Tratamento     | Genótipo | Tratamento x<br>Genótipo | Resíduo |
| Carboidratos | 5285,3 ns      | 67678,3* | 12710,3 ns               | 14511,9 |

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

Os açúcares solúveis podem contribuir com mais de 50% do potencial osmótico de glicófitas crescendo em ambientes naturais e são considerados os principais componentes orgânicos do potencial osmótico em muitas destas plantas submetidas a estresse salino (GREENWAY & MUNNS, 1980). Por exemplo, em plantas de sorgo submetidas a estresse com NaCl, observaram-se elevados teores de sacarose nas folhas, tendo as concentrações deste soluto sido diretamente proporcionais à concentração de cátions monovalentes totais nos tecidos destes órgãos (WEIMBERG et al., 1984). No presente estudo, no entanto, não ocorreu um maior acúmulo de carboidratos, e esses solutos não atuaram como fator que contribui para o processo de ajustamento osmótico que as plantas utilizam para tolerar os efeitos da salinidade. Esses resultados não são condizentes com (LARCHER, 2000), que afirma que em muitas monocotiledôneas, especialmente as gramíneas, as quais contêm menos sal que as dicotiledôneas halófitas, a acumulação de carboidratos solúveis exerce uma função importante, a qual é responsável em parte pela manutenção do baixo potencial osmótico no protoplasto.

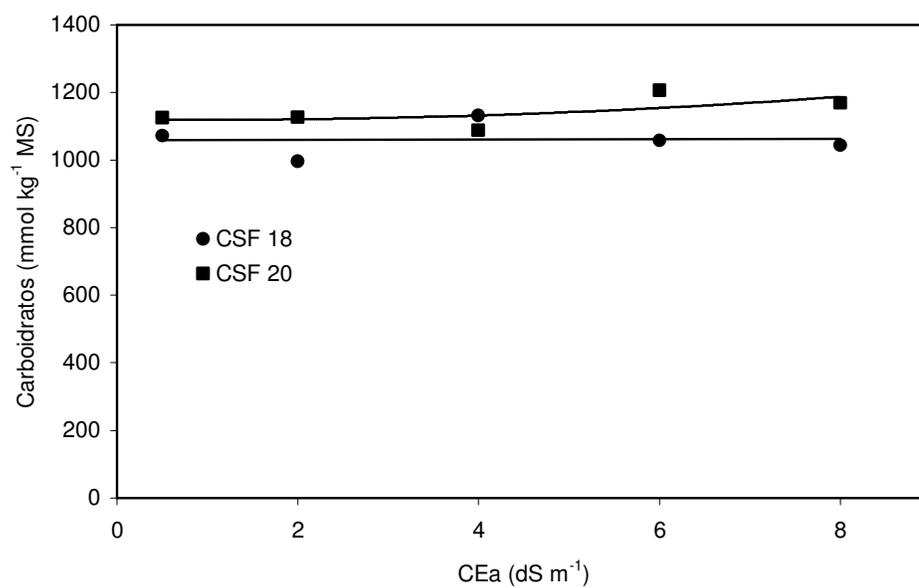


FIGURA 9 - Teores de carboidratos em folhas de plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados observados ao final do experimento sugerem que:

1 – As diferenças genótípicas em relação à tolerância à salinidade não foram tão evidentes como as observadas em outros estudos. De modo geral, as respostas morfológicas e o crescimento vegetativo foram relativamente mais afetadas no genótipo CSF 18, notadamente quando as plantas foram expostas aos maiores níveis de salinidade da água de irrigação;

2 – Houve maior aumento percentual na massa dos limbos foliares em relação aos colmos e em relação às raízes, em resposta ao aumento da salinidade da água, pode contribuir na aclimação das plantas ao estresse salino, aumentando a proporção entre fontes e drenos;

3 - A distribuição do sistema radicular no solo se mostrou uma característica morfológica com potencial importância na aclimação das plantas ao acúmulo de sais no solo;

4 - Dentre as características fisiológicas, somente os teores foliares de potássio e a retenção de íons potencialmente tóxicos nas bainhas e colmos se mostraram relacionados com a tolerância diferencial ao estresse salino;

5 - As plantas de sorgo irrigadas com águas salinas apresentaram acúmulo de sais, especialmente nos colmos, porém os valores observados foram bem inferiores aos de outras espécies forrageiras, especialmente das halófitas;

6 – As plantas de sorgo mostraram um eficiente mecanismo de retenção de  $\text{Na}^+$  nos colmos, prevenindo seu acúmulo nos tecidos foliares;

7 – A retenção diferencial de íons sugere a existência de mecanismos específicos de absorção de íons nas células dos colmos e bainhas, os quais favorecem a retenção de íons potencialmente tóxicos e o transporte do  $K^+$  para os tecidos foliares;

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OFFICAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 13 ed., Washington, D. C., 1980. 1015p.

ANDRADE, S.M.G. **Efeito do Ca na germinação, composição mineral e crescimento do arroz (*Oryza Sativa L.*) cultivado em NaCl**. 1989, 87 p. Fortaleza, Ce/UFC, 1989, 87p, Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição e Plantas, Universidade Federal do Ceará) - 1989.

ASHRAF, M., T. MCNEILLY & A. D. BRADSHAW – Selection and heritability of tolerance to sodium chloride in four forage especies. **Crop Science**., 232-239, 1987.

AZEVEDO NETO, AD, TABOSA, JN (2000) Estresse salino em plântulas de milho: Parte II. Distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 4:165-171.

AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de H.R. Gheyi, J.F. de Medeiros e F.A.V. Damasceno. Campina Grande, UFPB, 1999. 153p

BERNSTEIN, L. – Effects of salinity and sodicity on plant growth. **Ann. Revista Phytopatholy** 13: 295 – 312, 1975.

BEZERRA, F. C. – **Influência de ciclos de hidratação/desidratação e ácido giberélico na germinação e vigor de *Sorghum bicolor* (L) Moench semeado em substrato salino**. Fortaleza, Ce/UFC, 1980, 44p, Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição e Plantas, Universidade Federal do Ceará).

BOUSIER, P. LAUCHLI, A. Mechanisms of chloride partioning in the leaves of salt stressed *Sorghun bicolor* L. **Physiol. Plant.**, v. 77, p. 537-544, 1989.

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

COSTA, P.H.A.; SILVA, J.V.; BEZERRA, M.A.; ENÉAS-FILHO, J.; PRISCO, J.T.; GOMES-FILHO, E., Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidos à salinidade. **Revista Brasileira de Botânica**, 26:289-297, 2003.

CRAMER, C.R., LAUCHLI & EPSTEIN. Effects of NaCl and  $\text{CaCl}_2$  on ion activities in complex nutrient solutions and root growth of cotton. **Plant Physiology** 81: 792 – 797, 1986.

CRAMER, C.R., LAUCHLI & EPSTEIN. Displacement of  $\text{Ca}^{2+}$  by  $\text{Na}^+$  from the plasmalemma of root cells. A primary response to salt stress? **Plant Physiology** 79: 207 – 211, 1985.

DORENBOOS, J.; KASSAM, A.H., **Yield response to water**. FAO. Irrigation and Drainage Paper, nº 33. 193p. 1979.

EPSTEIN, E. & RAINS. – Advances in Salt Tolerance. **Plant and Soil**. 99: 17-29, 1987.

FERNANDES, V. L. B. (Coord.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará. 248 p, 1993.

FERNANDES, M. B.; CASTRO, J. R.; AQUINO, B.F.; FERNANDES, V.L.B.; ALVES, J.S. & GÓIS, F.C. Adaptabilidade de cultivares de sorgo granífero em solos salinos na microrregião salineira de estado do Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 6: 217-222, 1992.

FERNANDES, M. B.; CASTRO, J. R.; AQUINO, B.F.; FERNANDES, V.L.B.; ALVES, J.S. & GÓIS, F.C. Avaliação de cultivares de sorgo forrageiro em solos afetados por

sais no estado do Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 29: 255-261, 1994.

FERREIRA, L. G.; SOUZA, J.G. DE; PRISCO, J.T., Effects of water déficit on proline accumulation and growth of two cotton genotypes of different drought resistances. **Pflanzenphysiology**, 93 p: 189 – 199. 1979.

FRIEDMAN, R., A. ALTMAN & N. LEVIN –The effect of salt stress on polyamine biosynthesis and content in mug bean plants and in halophytes. **Physiology Plantarum**, 76: 295-302, 1989.

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

GHEYI, H.J. **Problemas de salinidade na agricultura irrigada**. In: OLIVEIRA, T.S., ASSIS Jr., R.N., ROMERO, R.E. & SILVA, J.R.C., Eds. Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido. Fortaleza, DCS/UFC: 329 -346, 2000.

GLENN, E.; TANNER, R.; MIYAMOTO, S.; FITZSIMMONS, K. & BOYER, J. Water use, productivity and forage quality of the halophyte *Atriplex nummularia* grown on saline waste water in a desert environment. **Journal Arid Environments**, 38: 45-62, 1998.

GRATTAN, S.R., GRIEVE, C.M. Salinity-mineral nutrition relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, 78: 127-157, 1999.

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

GREENWAY, H. MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Plant Physiology**, v31, p. 149-190, 1980.

GRUPO PRÓ SORGO. Sorgo – Brasil. Área plantada e produção – Safra 2003/2004. *in*: [http://www.apps.agr.br/Files/D\\_Estat/ev\\_area\\_prod\\_dorgobr.html](http://www.apps.agr.br/Files/D_Estat/ev_area_prod_dorgobr.html). acesso em 25/04/2005. 2005.

GUERRIER, G. Fluxes of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Cl}^-$ , and osmotic adjustment in *Lycopersicon pimpinellifolium* and *L. esculentum* during short- and long-term exposures to NaCl. **Physiology Plant**, v. 97, p. 583-591, 1996.

HANSEN, E.H. & D.N. MUNNS - Effects of  $\text{CaSO}_4$  and NaCl on growth and fixation of *Leucaena*. **Plant and Soil**. 107: 95-99, 1988.

HARIVANDI, M.A., J.D. BUTLER & P.N. SOLTANPOUR – Effects of soluble salts on ion accumulation in *Peccinellia* spp.. **Journal Plant Nitrogen**, 6: 156-266, 1983.

HOLANDA, J. S. & AMORIM, J. R. A. Qualidade da água para a irrigação. In: GHEYI, H. R., QUEIROZ, J. E., MEDEIROS, J. F. (eds.) Simpósio “**manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**”. Campina Grande, UFPB, pp. 137-169. 1997.

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

KENT, L. M. & LAUCHLI – Germination and seedling growth of cotton: Salinity calcium interations. **Plant, Cell and Enviroment**, 8: 155-199, 1985.

KRAMER, D. Cytological aspects of salt tolerance in higher plants. In: **Salinity Tolerance in Plants: Estrategies for crop improvement**. C Staples e G. H. Toeniessen, New york, EEUU, p3-15, 1984.

LACERDA, C. F. **Efeitos da salinidade no desenvolvimento e composição mineral de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e utilização do  $\text{Ca}^+$  como meio para minorar tais efeitos**. Fortaleza, Ce/UFC, 1995, 87p, Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição e Plantas, Universidade Federal do Ceará) - 1995.

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

LACERDA, C.F., CAMBRAIA, J., CANO, M.A.O., RUIZ, H.A. Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum genotypes, under NaCl stress. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 13, 270-284. 2001.

LACERDA, C.F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M.A.O.; RUIZ, H.A. & PRISCO, J.T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, 49:107-120, 2003a.

LACERDA, C.F.; OLIVEIRA, H.P.M.; OLIVEIRA T.S.; FILHO. E.G. Crescimento e acúmulo de ions em folhas de sorgo forrageiro submetido a soluções iso-osmóticas de sais (NaCl + KCl). **Ciência Agronômica Botânica**, 2003b.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução: Prado, C.H.B.A. e Franco. A.C. São Carlos, RiMa, 2000. 533p.

LESSANI, H., MARSCHNER, H. Relation between salt tolerance and long-distance transport of sodium and chloride in various crop species. **Aust Journal of Plant Physiology**, v. 5, p. 27-37, 1978.

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J.. Crop salt tolerance – current assesment. **Journal Irrigation and Drainage Division**, ASCE. 103 (IR2): 1115 – 134. 1977.

MAAS, E, V., LESCH, S,M,, FRANCOIS, L,E,; GRIEVE, C.M.. Tiller development in salt-stressed wheat. **Crop Science**.. 34.: 1594 – 1603.1994

MAAS, E, V., LESCH, S,M,, FRANCOIS, L,E,; GRIEVE, C.M.. Contribution of individual culms to yield. Of salt-stressed wheat. **Crop Science**,36:142 - 149. 1996

MAAS, E.V.; POSS J.A.; HOFFMAN, G.J.. Salinity sensitivity os sorghun at three growth stages. **Irrigation Science**, 7:1-11. 1986

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

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

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, 36: 1953-1958, 1984.

MOYA, J. L., PRIMO-MILLO, E., TALON, M. Morphological factors determining salt tolerance in citrus seedlings: the shoot to root ratio modulates passive root uptake of chloride ions and their accumulation in leaves. **Plant, Cell and Environment**, v. 22, 1425-1433, 1999.

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

NAVARRO, J.M., BOTELLA, M.A., CERDA, A., MARTINEZ, V., (2001) Phosphorus uptake and translocation in salt-stressed melon plants. **Journal Plant Physiology**, 158: 375-381. 2001.

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

O'LEARY, J.W. **The role of halophytes in irrigated agriculture**. In STAPLES, R.C. & TOENNIESSEN, G. H. eds. Salinity Tolerance in Plants. New York, Willey, 1984. pp 285-299.

OLIVEIRA, J. A. **Influência do estágio de maturação do sorgo forrageiro, Sorghum bicolor (L) Moench, sobre o rendimento e qualidade das forragens e respectivas silagens**. Fortaleza, Ce/UFC, 1983, 50p, Dissertação (Mestrado em Zootecnia, Universidade Federal do Ceará) - 1983.

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) - 2002.

OSTER, J. D.; HOFFMAN, G. J. & ROBINSON, F. E. Management alternatives: crops, water, and soil. **California Agriculture**, 36: 29-32, 1984.

PESCE, D. M. C.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S.; RODRIGUEZ, N. M. & BORGES, I. Análise de vinte genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), de porte médio e alto, pertencentes ao ensaio nacional. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 29: 978-987, 2000.

PESSOA, L. C.C. **Análise do desempenho e do impacto ambiental de dessalinizadores por osmose reversa instalados no interior do Ceará**.

Fortaleza, E/UFC, 2000, 159p, Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição e Plantas, Universidade Federal do Ceará) - 2000.

PITOMBEIRA, J.B. **Notas de aula – Grandes culturas (Cultura do Sorgo)**. 44p. UFC, Fortaleza, CE, UFC, 2001.

PITOMBEIRA, J. B.; CASTRO, A. B.; POMPEU, R. C. F. F. & NEIVA, J. N. M. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo forrageiro em cinco ambientes do estado do Ceará. **Ciência Agrônômica**, 33: 20-24, 2002.

PRISCO, J.T. & J.M. O'LEARY. The effects of humidity on cytokinin on growth water relations of salt stressed bean plants. **Plant and Soil**, 49: 199-206, 1973.

PRISCO, J.T. & E. PAHLICH. Avanços recentes na fisiologia do estresse hídrico e salino. In: **Anais da 2ª Reunião Brasileira de Fisiologia Vegetal**. Universidade de São Paulo, 1989.

RHOADES, J.P.; KANDIAH, A. & MASHALI, A.M. **The use saline waters for crop production**. Roma: FAO, 1992. 133p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48).

RICHARDS, L.A.. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. US Salinity Laboratory Staff. US Dept. Agric. Handbook n° 60. USA. 160p.. 1954

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 <sup>31</sup>P nuclear magnetic resonance. **Plant Physiology**, v. 75, p. 947-950, 1984.

SALIM, M., PITMAN, M.G. Effects of salinity on ion uptake and growth of mung bean plants (*Vigna radiata* L.). **Journal os Plant Physiology**, v 10, p. 395-407, 1983.

SALISBURY, F. B. & C.W. ROSS. **Plant Physiology**, 3<sup>rd</sup> ed. Wadsworth Publishing Company. Califórnia, EEUu, 540p., 1985.

SECKLER, D.; AMARASINGHE, U; MOLDEM, D.; SILVA, R. & BAKER, R. World water demand and supply, 1990 to 2025: Scenarios and Issues. **Research Report 19**, International Water Management Institute, 1998. 41p

SHANNON, M. C. The effects of salinity on cellular and biochemical process associated with salt tolerance in tropical plants. In: DAVENPORT, T. L., HARRINGTON, H. M. (eds.) **Proc. Plant Stress in the Tropical Environment**. Universidade da Florida, 56-63, 1992.

SHANNON, M. C., GRIEVE, C. M., FRANCOIS, L. E. Whole-plant response to salinity. In: WILKINSON, R. E. ed. **Plant-environmental interactions**. New York, Marcel-Decker, p. 199-244, 1994.

SHARMA, D. P. & RAO, K. V. G. K. Strategy for long term use of saline drainage water for irrigation in semi-arid regions. **Soil & Tillage Research** 48: 287-295, 1998.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

SILVA, J. S. **Caracteres fisiológicos e bioquímicos de dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos à salinidade**. Fortaleza, Ce/UFC, 2003, 109p, Dissertação (Mestrado em Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará) - 2003.

SILVA, J.S., LACERDA, C.F; NETO, A.D.A; COSTA, P.H.A; PRISCO, J.T.; FILHO, J.E.; FILHO, E.G.. Crescimento e osmoregulação de dois genótipos de sorgo submetidos ao estresse salino. **Ciência Agronomica**, 2003.

SHARMA, D. P. & RAO, K. V. G. K. Strategy for long term use of saline drainage water for irrigation in semi-arid regions. **Soil & Tillage Research**, 48: 287-295, 1998

SOUZA, F. **Irrigação Desenvolvimento e Tecnologia**. Fortaleza, Imprensa Universitária/UFC, 2000. 94p.

STROGONOV, B.P. Physiological basis of salt tolerance of plants. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations, 1964. 279p.

TABOSA, J. N.; LIMA, G. S.; LIRA, M. A.; TAVARES FILHO, J. J. & BRITO, A. R. M. B. Programa de melhoramento de sorgo e milho em Pernambuco. In: QUEIROZ, M. A., GOEDERT, C. O., RAMOS, S. R. R. (eds.) **Simpósio “Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro”**. Petrolina – PE, EMPRAPA Semi-Árido/EMBRAPA Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. 29p

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

TALEISNIK, E., GRUNBERG, K. Ion balance in tomato cultivars differing in salt tolerance. I. Sodium and potassium accumulation and fluxes under moderate salinity. **Physiology Plant**, v. 92, p. 528-534, 1994.

TRINDADE, A. R., **Influência do acúmulo e distribuição de íons na parte aérea sobre as respostas de plantas de sorgo e de feijão-de-corda ao estresse salino**. Fortaleza, CE/UFC, 2002, 42p, Monografia (Curso de Agronomia, Universidade Federal do Ceará) - 2002.

WASEL, Y. Biology of Halophytes. Academic Press. New York. EEUU, 395 p. 1972.

WEINBERG, R., LERNER, H.R., POLJAKOFF-MAYBER, A. Changes in growth and water soluble concentrations in *Sorghum bicolor* stressed with sodium and potassium salts. **Physiology Plant**, v. 34, p. 615-626, 1983.

WYN JONES, R.G.; GORHAM, J.; McDONNEL, E.. Organic and inorganic solute contents as selection criteria for salt tolerance in *Tritiaceae* In: Salinity tolerance in Plants. Staples, R. C.; Toeniessen, G.H., eds. New York, Willey. pp. 67-76. 1984

WISCOSIN CORN AGRONOMY. **Sorghun Notes**, 2001. Disponível na URL <http://cornagronomy.wisc.edu>. Acesso em 30/04/2005.

WRIGHT, S. **Alguns dados da física e da química das águas dos açudes nordestinos**. Boletim Técnico/DNOCS, Fortaleza, 39 (1): 21-31, 1981.

YEO, A. R. Predicting the interaction between the effects of salinity and climate change on crop plants. **Sci. Hort.**, 78: 159-174. 1999.

ZEKRI, M. Effects of NaCl on growth and physiology of sour orange and Cleopatra mandarin seedlings. **Scientia Horticulture**, 47: 305-315, 1991.

ANEXO A  
DADOS EXPERIMENTAIS

TABELA 1A - Valores de condutividade elétrica (CEes) e da percentagem de sódio trocável (PST) em diferentes profundidades no solo

| Camada (m) | Genótipo | Tratamento | CEes (dS m <sup>-1</sup> ) | PST (%) |
|------------|----------|------------|----------------------------|---------|
| 0,10       | 1        | 1,00       | 0,17                       | 3,00    |
| 0,10       | 1        | 2,00       | 0,44                       | 7,00    |
| 0,10       | 1        | 3,00       | 0,79                       | 10,00   |
| 0,10       | 1        | 4,00       | 1,25                       | 14,00   |
| 0,10       | 1        | 5,00       | 1,33                       | 15,00   |
| 0,10       | 2        | 1,00       | 0,19                       | 3,00    |
| 0,10       | 2        | 2,00       | 0,42                       | 5,00    |
| 0,10       | 2        | 3,00       | 0,75                       | 13,00   |
| 0,10       | 2        | 4,00       | 1,33                       | 15,00   |
| 0,10       | 2        | 5,00       | 1,38                       | 18,00   |
| 0,20       | 1        | 1,00       | 0,24                       | 3,00    |
| 0,20       | 1        | 2,00       | 0,44                       | 9,00    |
| 0,20       | 1        | 3,00       | 0,91                       | 10,00   |
| 0,20       | 1        | 4,00       | 1,36                       | 18,00   |
| 0,20       | 1        | 5,00       | 1,62                       | 21,00   |
| 0,20       | 2        | 1,00       | 0,18                       | 4,00    |
| 0,20       | 2        | 2,00       | 0,53                       | 7,00    |
| 0,20       | 2        | 3,00       | 0,96                       | 20,00   |
| 0,20       | 2        | 4,00       | 1,30                       | 14,00   |
| 0,20       | 2        | 5,00       | 1,64                       | 23,00   |
| 0,30       | 1        | 1,00       | 0,24                       | 7,00    |
| 0,30       | 1        | 2,00       | 0,83                       | 9,00    |
| 0,30       | 1        | 3,00       | 1,39                       | 16,00   |
| 0,30       | 1        | 4,00       | 1,55                       | 19,00   |
| 0,30       | 1        | 5,00       | 2,02                       | 18,00   |
| 0,30       | 2        | 1,00       | 0,31                       | 6,00    |
| 0,30       | 2        | 2,00       | 0,70                       | 11,00   |
| 0,30       | 2        | 3,00       | 1,20                       | 18,00   |
| 0,30       | 2        | 4,00       | 1,72                       | 19,00   |
| 0,30       | 2        | 5,00       | 2,20                       | 21,00   |

ANEXO 2 - Valores da área foliar total (AFT), matéria seca da parte aérea (MSPA),  
matéria seca as raízes (MSR) e matéria seca total (MST) em plantas de sorgo  
forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

| Genótipo | Tratamento | Repetição | ALF   | MSPA  | MSR   | MST   |
|----------|------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 1        | 1,00       | 1,00      | 44,10 | 54,05 | 28,63 | 82,68 |
| 1        | 1,00       | 2,00      | 38,07 | 50,49 | 14,40 | 64,89 |
| 1        | 1,00       | 3,00      | 34,88 | 46,36 | 25,88 | 72,24 |
| 1        | 1,00       | 4,00      | 34,08 | 51,20 | 23,76 | 74,96 |
| 1        | 2,00       | 1,00      | 37,32 | 52,31 | 19,39 | 71,70 |
| 1        | 2,00       | 2,00      | 35,64 | 44,07 | 35,48 | 79,55 |
| 1        | 2,00       | 3,00      | 25,75 | 42,76 | 16,55 | 59,31 |
| 1        | 2,00       | 4,00      | 32,52 | 49,05 | 37,71 | 86,76 |
| 1        | 3,00       | 1,00      | 32,53 | 43,07 | 19,55 | 62,62 |
| 1        | 3,00       | 2,00      | 36,88 | 47,97 | 22,17 | 70,14 |
| 1        | 3,00       | 3,00      | 29,55 | 45,86 | 21,59 | 67,45 |
| 1        | 3,00       | 4,00      | 34,10 | 42,28 | 16,09 | 58,37 |
| 1        | 4,00       | 1,00      | 35,04 | 38,50 | 9,81  | 48,31 |
| 1        | 4,00       | 2,00      | 33,83 | 39,67 | 14,97 | 54,64 |
| 1        | 4,00       | 3,00      | 27,83 | 45,87 | 14,93 | 60,80 |
| 1        | 4,00       | 4,00      | 34,94 | 35,62 | 14,00 | 56,39 |
| 1        | 5,00       | 1,00      | 22,80 | 27,71 | 9,94  | 37,65 |
| 1        | 5,00       | 2,00      | 25,62 | 26,76 | 8,10  | 34,86 |
| 1        | 5,00       | 3,00      | 24,37 | 27,98 | 7,92  | 35,90 |
| 1        | 5,00       | 4,00      | 22,45 | 24,77 | 7,76  | 32,53 |
| 2        | 1,00       | 1,00      | 35,96 | 51,37 | 33,10 | 84,47 |
| 2        | 1,00       | 2,00      | 32,18 | 47,32 | 30,75 | 78,07 |
| 2        | 1,00       | 3,00      | 33,86 | 50,56 | 12,63 | 63,19 |
| 2        | 1,00       | 4,00      | 32,70 | 47,61 | 26,70 | 74,31 |
| 2        | 2,00       | 1,00      | 35,92 | 49,17 | 25,18 | 74,35 |
| 2        | 2,00       | 2,00      | 31,04 | 57,91 | 33,74 | 91,65 |
| 2        | 2,00       | 3,00      | 32,59 | 45,91 | 31,18 | 77,09 |
| 2        | 2,00       | 4,00      | 37,38 | 49,46 | 33,78 | 83,24 |
| 2        | 3,00       | 1,00      | 35,68 | 44,40 | 30,87 | 75,27 |

|   |      |      |       |       |       |       |
|---|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 3,00 | 2,00 | 34,83 | 42,03 | 28,18 | 70,21 |
| 2 | 3,00 | 3,00 | 29,30 | 45,20 | 21,60 | 66,80 |
| 2 | 3,00 | 4,00 | 30,33 | 38,12 | 19,53 | 57,65 |
| 2 | 4,00 | 1,00 | 29,43 | 37,05 | 15,53 | 52,58 |
| 2 | 4,00 | 2,00 | 26,32 | 42,95 | 13,39 | 56,34 |
| 2 | 4,00 | 3,00 | 30,13 | 38,21 | 10,86 | 49,07 |
| 2 | 4,00 | 4,00 | 28,45 | 34,77 | 17,64 | 52,41 |
| 2 | 5,00 | 1,00 | 30,95 | 37,66 | 7,88  | 45,54 |
| 2 | 5,00 | 2,00 | 25,05 | 33,12 | 8,90  | 42,02 |
| 2 | 5,00 | 3,00 | 25,11 | 39,54 | 9,40  | 48,94 |
| 2 | 5,00 | 4,00 | 29,47 | 36,77 | 9,17  | 45,94 |

ANEXO 4 - Valores da distribuição percentual da matéria seca da parte aérea (colmos, bainhas e limbos foliares) e da relação parte aérea/raiz em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

| Genótipo | Tratamento | Repetição | PF    | PC    | PB    | PAR  |
|----------|------------|-----------|-------|-------|-------|------|
| 1        | 1,00       | 1,00      | 42,28 | 34,62 | 23,11 | 1,89 |
| 1        | 1,00       | 2,00      | 44,76 | 31,37 | 23,87 | 3,51 |
| 1        | 1,00       | 3,00      | 43,49 | 32,20 | 24,31 | 1,79 |
| 1        | 1,00       | 4,00      | 48,69 | 27,11 | 24,20 | 2,15 |
| 1        | 2,00       | 1,00      | 51,94 | 26,19 | 21,87 | 2,70 |
| 1        | 2,00       | 2,00      | 45,50 | 28,27 | 26,23 | 1,24 |
| 1        | 2,00       | 3,00      | 35,71 | 41,56 | 22,73 | 2,58 |
| 1        | 2,00       | 4,00      | 41,79 | 33,66 | 24,55 | 1,30 |
| 1        | 3,00       | 1,00      | 47,06 | 29,09 | 23,84 | 2,20 |
| 1        | 3,00       | 2,00      | 59,12 | 18,68 | 22,20 | 2,16 |
| 1        | 3,00       | 3,00      | 53,03 | 22,90 | 24,07 | 2,12 |
| 1        | 3,00       | 4,00      | 52,03 | 21,85 | 26,11 | 2,63 |
| 1        | 4,00       | 1,00      | 61,06 | 16,68 | 22,26 | 3,92 |
| 1        | 4,00       | 2,00      | 61,99 | 15,58 | 22,44 | 2,65 |
| 1        | 4,00       | 3,00      | 52,78 | 24,44 | 22,78 | 3,07 |
| 1        | 4,00       | 4,00      | 52,70 | 22,52 | 24,79 | 2,54 |
| 1        | 5,00       | 1,00      | 50,49 | 21,11 | 28,40 | 2,79 |
| 1        | 5,00       | 2,00      | 51,38 | 18,91 | 29,71 | 3,30 |
| 1        | 5,00       | 3,00      | 54,86 | 14,83 | 30,31 | 3,53 |
| 1        | 5,00       | 4,00      | 62,58 | 11,47 | 25,96 | 3,19 |
| 2        | 1,00       | 1,00      | 44,31 | 30,21 | 25,48 | 1,55 |
| 2        | 1,00       | 2,00      | 45,65 | 29,25 | 25,11 | 1,54 |
| 2        | 1,00       | 3,00      | 39,93 | 34,41 | 25,65 | 4,00 |
| 2        | 1,00       | 4,00      | 46,67 | 30,27 | 23,06 | 1,78 |
| 2        | 2,00       | 1,00      | 39,25 | 32,72 | 28,03 | 1,95 |
| 2        | 2,00       | 2,00      | 45,78 | 27,59 | 26,63 | 1,72 |
| 2        | 2,00       | 3,00      | 40,62 | 31,00 | 28,38 | 1,47 |
| 2        | 2,00       | 4,00      | 44,28 | 28,43 | 27,29 | 1,46 |

|   |      |      |       |       |       |      |
|---|------|------|-------|-------|-------|------|
| 2 | 3,00 | 1,00 | 46,31 | 25,02 | 28,67 | 1,44 |
| 2 | 3,00 | 2,00 | 46,68 | 20,37 | 32,95 | 1,49 |
| 2 | 3,00 | 3,00 | 51,24 | 20,84 | 27,92 | 2,09 |
| 2 | 3,00 | 4,00 | 46,43 | 20,46 | 33,11 | 1,95 |
| 2 | 4,00 | 1,00 | 47,72 | 19,81 | 32,47 | 2,39 |
| 2 | 4,00 | 2,00 | 47,24 | 20,30 | 32,46 | 3,21 |
| 2 | 4,00 | 3,00 | 47,03 | 21,51 | 31,46 | 3,52 |
| 2 | 4,00 | 4,00 | 47,22 | 21,20 | 31,58 | 1,97 |
| 2 | 5,00 | 1,00 | 50,93 | 20,66 | 28,41 | 4,78 |
| 2 | 5,00 | 2,00 | 46,74 | 23,01 | 30,25 | 3,72 |
| 2 | 5,00 | 3,00 | 51,59 | 18,79 | 29,62 | 4,21 |
| 2 | 5,00 | 4,00 | 44,82 | 20,83 | 34,35 | 4,01 |

ANEXO 5 - Distribuição de matéria seca das raízes nos vasos cultivados com plantas de sorgo irrigadas com águas com crescentes níveis de sais nas profundidades 1(10cm), 2 (20cm) e 3(30cm).

| Profundidade | Genótipo | Tratamento | Repetição | MSR   |
|--------------|----------|------------|-----------|-------|
| 1            | 1        | 1          | 1         | 11,58 |
| 1            | 1        | 1          | 2         | 6,97  |
| 1            | 1        | 1          | 3         | 12,81 |
| 1            | 1        | 1          | 4         | 10,25 |
| 1            | 1        | 2          | 1         | 8,87  |
| 1            | 1        | 2          | 2         | 23,86 |
| 1            | 1        | 2          | 3         | 9,63  |
| 1            | 1        | 2          | 4         | 16,48 |
| 1            | 1        | 3          | 1         | 8,94  |
| 1            | 1        | 3          | 2         | 12,46 |
| 1            | 1        | 3          | 3         | 8,43  |
| 1            | 1        | 3          | 4         | 6,11  |
| 1            | 1        | 4          | 1         | 2,96  |
| 1            | 1        | 4          | 2         | 4,68  |
| 1            | 1        | 4          | 3         | 4,56  |
| 1            | 1        | 4          | 4         | 3,54  |
| 1            | 1        | 5          | 1         | 2,62  |
| 1            | 1        | 5          | 2         | 1,78  |
| 1            | 1        | 5          | 3         | 2,37  |
| 1            | 1        | 5          | 4         | 1,52  |
| 1            | 2        | 1          | 1         | 6,70  |
| 1            | 2        | 1          | 2         | 8,96  |
| 1            | 2        | 1          | 3         | 7,38  |
| 1            | 2        | 1          | 4         | 10,40 |
| 1            | 2        | 2          | 1         | 8,64  |
| 1            | 2        | 2          | 2         | 10,50 |
| 1            | 2        | 2          | 3         | 7,36  |
| 1            | 2        | 2          | 4         | 12,58 |

|   |   |   |   |       |
|---|---|---|---|-------|
| 1 | 2 | 3 | 1 | 13,86 |
| 1 | 2 | 3 | 2 | 12,35 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 11,85 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 9,67  |
| 1 | 2 | 4 | 1 | 7,94  |
| 1 | 2 | 4 | 2 | 5,64  |
| 1 | 2 | 4 | 3 | 3,72  |
| 1 | 2 | 4 | 4 | 5,64  |
| 1 | 2 | 5 | 1 | 1,77  |
| 1 | 2 | 5 | 2 | 4,26  |
| 1 | 2 | 5 | 3 | 2,93  |
| 1 | 2 | 5 | 4 | 2,65  |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 5,55  |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2,98  |
| 2 | 1 | 1 | 3 | 3,00  |
| 2 | 1 | 1 | 4 | 3,86  |
| 2 | 1 | 2 | 1 | 2,16  |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2,22  |
| 2 | 1 | 2 | 3 | 0,85  |
| 2 | 1 | 2 | 4 | 3,52  |
| 2 | 1 | 3 | 1 | 1,32  |
| 2 | 1 | 3 | 2 | 1,41  |
| 2 | 1 | 3 | 3 | 3,05  |
| 2 | 1 | 3 | 4 | 2,71  |

ANEXO 5 (Continuação)- Distribuição de matéria seca das raízes nos vasos cultivados com plantas de sorgo irrigadas com águas com crescentes níveis de sais nas profundidades 1(10cm), 2 (20cm) e 3(30cm).

|   |   |   |   |      |
|---|---|---|---|------|
| 2 | 1 | 4 | 1 | 1,30 |
| 2 | 1 | 4 | 2 | 2,18 |
| 2 | 1 | 4 | 3 | 3,17 |
| 2 | 1 | 4 | 4 | 1,87 |
| 2 | 1 | 5 | 1 | 0,92 |
| 2 | 1 | 5 | 2 | 1,00 |
| 2 | 1 | 5 | 3 | 1,64 |
| 2 | 1 | 5 | 4 | 1,17 |
| 2 | 2 | 1 | 1 | 1,46 |
| 2 | 2 | 1 | 2 | 1,04 |
| 2 | 2 | 1 | 3 | 0,89 |
| 2 | 2 | 1 | 4 | 0,97 |
| 2 | 2 | 2 | 1 | 1,13 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 4,32 |
| 2 | 2 | 2 | 3 | 2,29 |
| 2 | 2 | 2 | 4 | 2,81 |
| 2 | 2 | 3 | 1 | 2,97 |
| 2 | 2 | 3 | 2 | 2,21 |
| 2 | 2 | 3 | 3 | 1,42 |
| 2 | 2 | 3 | 4 | 0,74 |
| 2 | 2 | 4 | 1 | 3,28 |
| 2 | 2 | 4 | 2 | 1,66 |
| 2 | 2 | 4 | 3 | 1,21 |
| 2 | 2 | 4 | 4 | 3,70 |
| 2 | 2 | 5 | 1 | 1,85 |

|   |   |   |   |       |
|---|---|---|---|-------|
| 2 | 2 | 5 | 2 | 1,20  |
| 2 | 2 | 5 | 3 | 3,46  |
| 2 | 2 | 5 | 4 | 1,70  |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 11,50 |
| 3 | 1 | 1 | 2 | 4,45  |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 10,07 |
| 3 | 1 | 1 | 4 | 9,65  |
| 3 | 1 | 2 | 1 | 8,36  |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 9,40  |
| 3 | 1 | 2 | 3 | 6,07  |
| 3 | 1 | 2 | 4 | 17,71 |
| 3 | 1 | 3 | 1 | 9,29  |
| 3 | 1 | 3 | 2 | 8,30  |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 10,11 |
| 3 | 1 | 3 | 4 | 7,27  |
| 3 | 1 | 4 | 1 | 5,55  |
| 3 | 1 | 4 | 2 | 8,11  |
| 3 | 1 | 4 | 3 | 7,20  |
| 3 | 1 | 4 | 4 | 8,59  |
| 3 | 1 | 5 | 1 | 6,40  |
| 3 | 1 | 5 | 2 | 5,32  |
| 3 | 1 | 5 | 3 | 3,91  |
| 3 | 1 | 5 | 4 | 5,07  |
| 3 | 2 | 1 | 1 | 24,94 |
| 3 | 2 | 1 | 2 | 20,75 |
| 3 | 2 | 1 | 3 | 4,36  |
| 3 | 2 | 1 | 4 | 15,33 |
| 3 | 2 | 2 | 1 | 15,41 |

ANEXO 5 (Continuação)- Distribuição de matéria seca das raízes nos vasos cultivados com plantas de sorgo irrigadas com águas com crescentes níveis de sais nas profundidades 1(10cm), 2 (20cm) e 3(30cm).

|   |   |   |   |       |
|---|---|---|---|-------|
| 3 | 2 | 2 | 2 | 18,92 |
| 3 | 2 | 2 | 3 | 21,53 |
| 3 | 2 | 2 | 4 | 18,39 |
| 3 | 2 | 3 | 1 | 14,04 |
| 3 | 2 | 3 | 3 | 8,33  |
| 3 | 2 | 3 | 4 | 9,12  |
| 3 | 2 | 4 | 1 | 4,31  |
| 3 | 2 | 4 | 2 | 6,09  |
| 3 | 2 | 4 | 3 | 5,93  |
| 3 | 2 | 4 | 4 | 8,30  |
| 3 | 2 | 5 | 1 | 4,26  |
| 3 | 2 | 5 | 2 | 3,44  |
| 3 | 2 | 5 | 3 | 3,01  |
| 3 | 2 | 5 | 4 | 4,82  |

ANEXO 6 - Valores do número de perfilhos (NP), número de folhas (NF), número de entrenós (NE), altura (AC) e diâmetro do colmo (DC) em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais para o genótipo CSF 18.

| Tratamento | Repetição | NP | NE   | AC (cm) | DC (cm) |
|------------|-----------|----|------|---------|---------|
| 0,5        | 1         | 2  | 75,2 | 2,5     | 13      |
| 0,5        | 2         | 0  | 48,7 | 2,23    | 14      |
| 0,5        | 3         | 2  | 55,2 | 2,29    | 13      |
| 0,5        | 4         | 2  | 55,8 | 2,39    | 12      |
| 2,0        | 1         | 2  | 55,3 | 2,14    | 12      |
| 2,0        | 2         | 2  | 59,4 | 2,29    | 11      |
| 2,0        | 3         | 0  | 58,7 | 2,21    | 10      |
| 2,0        | 4         | 1  | 60,6 | 2,05    | 13      |
| 4,0        | 1         | 2  | 45,8 | 2,32    | 12      |
| 4,0        | 2         | 2  | 39,4 | 2,16    | 12      |
| 4,0        | 3         | 3  | 39,9 | 2,29    | 11      |
| 4,0        | 4         | 2  | 42,6 | 2,3     | 11      |
| 6,0        | 1         | 0  | 46,6 | 2,2     | 13      |
| 6,0        | 2         | 2  | 32,6 | 2,23    | 12      |
| 6,0        | 3         | 2  | 42,6 | 2,26    | 12      |

|     |   |   |      |      |    |
|-----|---|---|------|------|----|
| 6,0 | 4 | 2 | 26,5 | 2,22 | 12 |
| 8,0 | 1 | 1 | 33,9 | 2,17 | 11 |
| 8,0 | 2 | 1 | 23,1 | 1,62 | 12 |
| 8,0 | 3 | 1 | 27,3 | 2,17 | 12 |
| 8,0 | 4 | 2 | 27,6 | 1,73 | 10 |

ANEXO 7 - Valores do número de perfilhos (NP), número de folhas (NF), número de entrenós (NE), altura (AC) e diâmetro do colmo (DC) em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais para o genótipo CSF 20.

| Tratamento | Repetição | NP | NE | AC (cm) | DC (cm) | NF |
|------------|-----------|----|----|---------|---------|----|
| 0,5        | 1         | 0  | 9  | 57,6    | 2,4     | 15 |
| 0,5        | 2         | 0  | 11 | 69,2    | 2,42    | 14 |
| 0,5        | 3         | 0  | 13 | 73,4    | 2,38    | 13 |
| 0,5        | 4         | 0  | 11 | 63,1    | 2,26    | 14 |
| 2,0        | 1         | 0  | 9  | 62,4    | 2,15    | 14 |
| 2,0        | 2         | 1  | 11 | 49,6    | 2,2     | 15 |
| 2,0        | 3         | 0  | 10 | 57,2    | 2,48    | 16 |
| 2,0        | 4         | 0  | 10 | 61      | 2,2     | 15 |
| 4,0        | 1         | 0  | 9  | 55,4    | 2,34    | 13 |
| 4,0        | 2         | 0  | 8  | 42,3    | 2,28    | 15 |
| 4,0        | 3         | 0  | 10 | 44,8    | 2,22    | 14 |

|     |   |   |    |      |      |    |
|-----|---|---|----|------|------|----|
| 4,0 | 4 | 0 | 8  | 37,7 | 2,23 | 14 |
| 6,0 | 1 | 0 | 8  | 43,2 | 2,34 | 14 |
| 6,0 | 2 | 1 | 9  | 36,6 | 2,32 | 15 |
| 6,0 | 3 | 0 | 9  | 42,4 | 2,19 | 14 |
| 6,0 | 4 | 0 | 10 | 37,3 | 2,3  | 14 |
| 8,0 | 1 | 0 | 7  | 33,8 | 2,12 | 15 |
| 8,0 | 2 | 0 | 9  | 32,8 | 2,26 | 15 |
| 8,0 | 3 | 0 | 6  | 38,3 | 2,24 | 14 |
| 8,0 | 4 | 0 | 8  | 31,8 | 2,26 | 15 |

ANEXO 8 - Valores do grau de suculência (GS) e da massa específica (ME) foliar em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

| Genótipo | Tratamento | Repetição | GS    | OS    |
|----------|------------|-----------|-------|-------|
| 1        | 1          | 1         | 1,677 | 0,459 |
| 1        | 1          | 2         | 1,406 | 0,497 |
| 1        | 1          | 3         | 1,615 | 0,509 |
| 1        | 1          | 4         | 1,623 | 0,580 |
| 1        | 2          | 1         | 1,439 | 0,566 |
| 1        | 2          | 2         | 1,574 | 0,521 |
| 1        | 2          | 3         | 1,429 | 0,586 |
| 1        | 2          | 4         | 1,492 | 0,541 |
| 1        | 3          | 1         | 1,447 | 0,538 |
| 1        | 3          | 2         | 1,424 | 0,573 |

|   |   |   |       |       |
|---|---|---|-------|-------|
| 1 | 3 | 3 | 1,203 | 0,699 |
| 1 | 3 | 4 | 1,494 | 0,448 |
| 1 | 4 | 1 | 1,339 | 0,559 |
| 1 | 4 | 2 | 1,409 | 0,572 |
| 1 | 4 | 3 | 1,396 | 0,492 |
| 1 | 4 | 4 | 1,437 | 0,628 |
| 1 | 5 | 1 | 1,395 | 0,515 |
| 1 | 5 | 2 | 1,429 | 0,494 |
| 1 | 5 | 3 | 1,465 | 0,516 |
| 1 | 5 | 4 | 1,388 | 0,514 |
| 2 | 1 | 1 | 1,932 | 0,600 |
| 2 | 1 | 2 | 1,814 | 0,614 |
| 2 | 1 | 3 | 1,941 | 0,598 |
| 2 | 1 | 4 | 1,830 | 0,641 |
| 2 | 2 | 1 | 1,867 | 0,602 |
| 2 | 2 | 2 | 1,944 | 0,682 |
| 2 | 2 | 3 | 1,695 | 0,651 |
| 2 | 2 | 4 | 1,784 | 0,638 |
| 2 | 3 | 1 | 1,705 | 0,628 |
| 2 | 3 | 2 | 1,823 | 0,637 |
| 2 | 3 | 3 | 1,684 | 0,618 |
| 2 | 3 | 4 | 1,520 | 0,645 |
| 2 | 4 | 1 | 1,679 | 0,625 |
| 2 | 4 | 2 | 1,687 | 0,609 |
| 2 | 4 | 3 | 1,592 | 0,620 |
| 2 | 4 | 4 | 1,693 | 0,606 |
| 2 | 5 | 1 | 1,637 | 0,637 |
| 2 | 5 | 2 | 1,692 | 0,611 |
| 2 | 5 | 3 | 0,825 | 0,649 |
| 2 | 5 | 4 | 1,641 | 0,592 |

ANEXO 9 - Valores de fotossíntese, e potencial hídrico em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

| Genótipo | Tratamento | Repetição | FOT   | PH   |
|----------|------------|-----------|-------|------|
| 1        | 1          | 1         | 17,60 | 2,00 |
| 1        | 1          | 2         | 16,10 | 2,00 |
| 1        | 1          | 3         | 16,80 | 0,60 |
| 1        | 1          | 4         | 15,20 | 1,20 |
| 1        | 2          | 1         | 13,10 | 5,00 |
| 1        | 2          | 2         | 14,10 | 5,00 |
| 1        | 2          | 3         | 13,90 | 3,60 |
| 1        | 2          | 4         | 12,00 | 3,60 |

|   |   |   |       |       |
|---|---|---|-------|-------|
| 1 | 3 | 1 | 13,80 | 7,00  |
| 1 | 3 | 2 | 13,30 | 4,60  |
| 1 | 3 | 3 | 12,00 | 4,00  |
| 1 | 3 | 4 | 12,00 | 1,60  |
| 1 | 4 | 1 | 9,60  | 4,80  |
| 1 | 4 | 2 | 10,80 | 3,00  |
| 1 | 4 | 3 | 11,90 | 3,40  |
| 1 | 4 | 4 | 14,10 | 9,00  |
| 1 | 5 | 1 | 13,00 | 7,00  |
| 1 | 5 | 2 | 9,50  | 4,80  |
| 1 | 5 | 3 | 9,00  | 8,40  |
| 1 | 5 | 4 | 10,40 | 3,40  |
| 2 | 1 | 1 | 14,30 | 1,40  |
| 2 | 1 | 2 | 14,20 | 0,80  |
| 2 | 1 | 3 | 15,70 | 0,60  |
| 2 | 1 | 4 | 13,50 | 2,00  |
| 2 | 2 | 1 | 12,20 | 1,00  |
| 2 | 2 | 2 | 9,70  | 4,00  |
| 2 | 2 | 3 | 11,90 | 5,00  |
| 2 | 2 | 4 | 12,40 | 1,20  |
| 2 | 3 | 1 | 20,00 | 1,50  |
| 2 | 3 | 2 | 13,60 | 2,00  |
| 2 | 3 | 3 | 13,00 | 3,00  |
| 2 | 3 | 4 | 3,10  | 1,20  |
| 2 | 4 | 1 | 14,80 | 2,80  |
| 2 | 4 | 2 | 10,70 | 2,80  |
| 2 | 4 | 3 | 12,00 | 10,00 |
| 2 | 4 | 4 | 5,70  | 2,40  |
| 2 | 5 | 1 | 9,80  | 2,20  |
| 2 | 5 | 2 | 14,00 | 3,00  |
| 2 | 5 | 3 | 12,10 | 10,40 |
| 2 | 5 | 4 | 12,60 | 4,60  |

TABELA 10 - Valores de transpiração (TR) e condutância estomática (CE) em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais (CEa).

| Tratamento | Repetição | CE   | TR    |
|------------|-----------|------|-------|
| 1          | 1         | 0,38 | 8,18  |
| 1          | 2         | 0,58 | 11,08 |
| 1          | 3         | 0,47 | 10,08 |

|   |   |      |       |
|---|---|------|-------|
| 2 | 1 | 0,42 | 10,02 |
| 2 | 2 | 0,42 | 9,55  |
| 2 | 3 | 0,43 | 9,85  |
| 3 | 1 | 0,37 | 8,44  |
| 3 | 2 | 0,36 | 8,74  |
| 3 | 3 | 0,28 | 6,50  |
| 4 | 1 | 0,22 | 5,48  |
| 4 | 2 | 0,28 | 6,50  |
| 4 | 3 | 0,20 | 5,69  |
| 5 | 1 | 0,34 | 8,31  |
| 5 | 2 | 0,37 | 8,82  |
| 5 | 3 | 0,25 | 6,33  |
| 1 | 1 | 0,33 | 7,79  |
| 1 | 2 | 0,41 | 9,65  |
| 1 | 3 | 0,40 | 9,21  |
| 2 | 1 | 0,42 | 9,75  |
| 2 | 2 | 0,31 | 7,54  |
| 2 | 3 | 0,20 | 5,34  |
| 3 | 1 | 0,26 | 6,09  |
| 3 | 2 | 0,27 | 6,43  |
| 3 | 3 | 0,37 | 8,63  |
| 4 | 1 | 0,28 | 6,30  |
| 4 | 2 | 0,35 | 8,15  |
| 4 | 3 | 0,31 | 7,56  |
| 5 | 1 | 0,38 | 9,13  |
| 5 | 2 | 0,25 | 5,98  |
| 5 | 3 | 0,26 | 6,13  |

ANEXO 11 - Valores de quadrados médios para as variáveis de cloretos no limbo foliar (CIL), na bainha (CIB) e no colmo (CIC); sódio no limbo foliar (NaL), na bainha (NaB) e no colmo (NaC); potássio no limbo (KL), na bainha (KB) e no colmo (KC),

| Genótipo | Tratamento | Repetição | KPF  | KPC  | KPB  | NaPF | NaPC | NaPB | CIPF | CIPC | CIPB |
|----------|------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1        | 1          | 1         | 36,8 | 38,2 | 25,1 | 33,4 | 37,1 | 29,5 | 31,7 | 44,5 | 23,8 |

|   |   |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 1 | 2 | 37,7 | 37,5 | 24,8 | 31,8 | 39,4 | 28,7 | 27,0 | 49,2 | 23,7 |
| 1 | 1 | 3 | 37,4 | 33,6 | 28,9 | 39,5 | 38,1 | 22,4 | 25,5 | 50,1 | 24,4 |
| 1 | 1 | 4 | 36,1 | 37,2 | 26,7 | 36,0 | 35,8 | 28,1 | 22,6 | 53,7 | 23,8 |
| 1 | 2 | 1 | 39,4 | 35,8 | 24,8 | 32,5 | 38,5 | 29,0 | 32,8 | 43,9 | 23,3 |
| 1 | 2 | 2 | 31,1 | 44,1 | 24,7 | 28,1 | 41,8 | 30,1 | 22,3 | 50,6 | 27,1 |
| 1 | 2 | 3 | 31,4 | 46,6 | 21,9 | 22,8 | 54,6 | 22,6 | 18,3 | 60,4 | 21,3 |
| 1 | 2 | 4 | 31,5 | 42,6 | 25,9 | 26,4 | 45,3 | 28,2 | 21,0 | 57,6 | 21,4 |
| 1 | 3 | 1 | 28,0 | 48,8 | 23,2 | 18,6 | 59,1 | 22,3 | 18,2 | 61,5 | 20,3 |
| 1 | 3 | 2 | 45,4 | 27,9 | 26,7 | 18,7 | 62,4 | 18,9 | 30,3 | 37,3 | 32,4 |
| 1 | 3 | 3 | 39,1 | 35,3 | 25,6 | 22,9 | 53,6 | 23,5 | 35,7 | 40,8 | 23,6 |
| 1 | 3 | 4 | 36,1 | 35,4 | 28,5 | 16,5 | 57,9 | 25,6 | 32,8 | 39,8 | 27,4 |
| 1 | 4 | 1 | 44,4 | 29,5 | 26,0 | 18,5 | 70,4 | 11,1 | 32,7 | 43,3 | 24,0 |
| 1 | 4 | 2 | 48,6 | 18,9 | 32,5 | 16,9 | 61,1 | 22,0 | 38,4 | 31,3 | 30,3 |
| 1 | 4 | 3 | 36,4 | 26,0 | 37,6 | 12,3 | 69,3 | 18,4 | 29,6 | 43,6 | 26,8 |
| 1 | 4 | 4 | 35,1 | 28,2 | 36,7 | 13,2 | 68,2 | 18,6 | 27,5 | 43,6 | 28,9 |
| 1 | 5 | 1 | 37,0 | 26,9 | 36,2 | 9,6  | 75,0 | 15,4 | 28,2 | 38,3 | 33,5 |
| 1 | 5 | 2 | 40,4 | 25,2 | 34,4 | 10,3 | 59,6 | 30,2 | 26,6 | 37,4 | 35,9 |
| 1 | 5 | 3 | 43,5 | 17,9 | 38,6 | 12,1 | 61,4 | 26,5 | 31,0 | 31,3 | 37,7 |
| 1 | 5 | 4 | 51,4 | 17,5 | 31,1 | 19,8 | 49,5 | 30,8 | 39,4 | 25,7 | 34,9 |
| 2 | 1 | 1 | 43,5 | 22,9 | 33,6 | 33,4 | 37,9 | 28,7 | 27,2 | 38,9 | 33,9 |
| 2 | 1 | 2 | 51,4 | 13,7 | 34,9 | 29,4 | 50,7 | 19,9 | 25,7 | 45,1 | 29,2 |
| 2 | 1 | 3 | 46,7 | 22,0 | 31,3 | 34,2 | 36,3 | 29,5 | 26,0 | 42,3 | 31,6 |
| 2 | 1 | 4 | 53,5 | 19,8 | 26,8 | 39,9 | 34,7 | 25,5 | 30,4 | 38,4 | 31,2 |
| 2 | 2 | 1 | 43,0 | 28,9 | 28,1 | 27,8 | 46,1 | 26,1 | 29,5 | 37,9 | 32,6 |
| 2 | 2 | 2 | 58,2 | 9,8  | 32,0 | 34,4 | 40,6 | 25,0 | 36,2 | 30,1 | 33,7 |
| 2 | 2 | 3 | 48,0 | 18,8 | 33,1 | 20,0 | 57,0 | 23,0 | 29,3 | 37,6 | 33,1 |
| 2 | 2 | 4 | 45,5 | 19,9 | 34,5 | 29,1 | 44,7 | 26,3 | 30,1 | 35,2 | 34,7 |
| 2 | 3 | 1 | 39,2 | 17,4 | 43,4 | 13,9 | 65,5 | 20,6 | 28,9 | 33,5 | 37,5 |
| 2 | 3 | 2 | 49,2 | 11,5 | 39,3 | 14,8 | 69,5 | 15,7 | 29,1 | 31,9 | 39,0 |
| 2 | 3 | 3 | 50,2 | 22,6 | 27,2 | 19,0 | 62,8 | 18,2 | 38,0 | 32,0 | 29,9 |
| 2 | 3 | 4 | 39,8 | 24,4 | 35,9 | 23,1 | 52,8 | 24,1 | 30,5 | 31,9 | 37,6 |
| 2 | 4 | 1 | 48,6 | 10,9 | 40,5 | 9,1  | 68,5 | 22,4 | 26,0 | 32,8 | 41,2 |
| 2 | 4 | 2 | 40,3 | 18,6 | 41,2 | 12,0 | 67,0 | 21,1 | 32,2 | 33,4 | 34,3 |
| 2 | 4 | 3 | 39,1 | 24,7 | 36,2 | 10,9 | 63,0 | 26,1 | 27,9 | 38,3 | 33,8 |
| 2 | 4 | 4 | 50,1 | 17,4 | 32,5 | 10,6 | 76,4 | 13,0 | 29,8 | 39,6 | 30,7 |
| 2 | 5 | 1 | 44,0 | 15,2 | 40,9 | 10,2 | 62,5 | 27,3 | 24,2 | 38,1 | 37,7 |
| 2 | 5 | 2 | 46,7 | 17,8 | 35,6 | 9,7  | 68,5 | 21,8 | 26,4 | 40,2 | 33,4 |
| 2 | 5 | 3 | 53,5 | 12,1 | 34,3 | 12,8 | 66,4 | 20,9 | 32,6 | 33,6 | 33,7 |
| 2 | 5 | 4 | 46,7 | 10,3 | 43,0 | 10,7 | 58,5 | 30,8 | 26,5 | 35,9 | 37,6 |

ANEXO 12 - Valores das relações: cloretos no colmo/ cloretos no limbo foliar (Clc/Clf); cloretos na bainha/ cloretos no limbo foliar (Clb/clf); sódio no colmo/ sódio no limbo foliar (NaC/NaF); sódio na bainha/ sódio no limbo foliar (Nab/Naf); potássio

no colmo/ potássio no limbo foliar (Kc/Kf); potássio na bainha/ potássio no limbo foliar (Kb/Klf); sódio no limbo foliar/ potássio no limbo foliar (Na/K)

| Genótipo | Tratamento | Repetição | Clccll | clbccll | NacNal | NabNal | Kccl  | KbKl  | Nakl  |
|----------|------------|-----------|--------|---------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 1        | 1          | 1         | 1,188  | 0,950   | 0,938  | 1,116  | 0,878 | 0,863 | 0,115 |
| 1        | 1          | 2         | 1,675  | 1,062   | 1,140  | 1,092  | 0,917 | 0,797 | 0,084 |
| 1        | 1          | 3         | 1,776  | 1,146   | 0,869  | 0,676  | 0,810 | 0,923 | 0,147 |
| 1        | 1          | 4         | 2,463  | 1,223   | 1,030  | 0,906  | 1,066 | 0,857 | 0,092 |
| 1        | 2          | 1         | 1,593  | 1,011   | 1,412  | 1,272  | 1,081 | 0,896 | 0,107 |
| 1        | 2          | 2         | 2,457  | 1,417   | 1,613  | 1,251  | 1,537 | 0,927 | 0,098 |
| 1        | 2          | 3         | 1,830  | 1,177   | 1,326  | 1,003  | 0,822 | 0,706 | 0,099 |
| 1        | 2          | 4         | 2,146  | 1,092   | 1,344  | 1,147  | 1,059 | 0,885 | 0,092 |
| 1        | 3          | 1         | 3,512  | 1,418   | 3,299  | 1,517  | 1,810 | 1,048 | 0,099 |
| 1        | 3          | 2         | 2,195  | 1,603   | 5,945  | 1,511  | 1,097 | 0,881 | 0,095 |
| 1        | 3          | 3         | 1,696  | 0,933   | 3,476  | 1,445  | 1,340 | 0,923 | 0,096 |
| 1        | 3          | 4         | 1,609  | 0,926   | 4,668  | 1,728  | 1,300 | 0,878 | 0,095 |
| 1        | 4          | 1         | 3,175  | 1,316   | 9,144  | 1,085  | 1,596 | 1,054 | 0,148 |
| 1        | 4          | 2         | 2,014  | 1,355   | 8,935  | 2,229  | 0,961 | 1,148 | 0,127 |
| 1        | 4          | 3         | 1,946  | 1,282   | 7,412  | 2,113  | 0,945 | 1,463 | 0,155 |
| 1        | 4          | 4         | 2,050  | 1,231   | 6,701  | 1,664  | 1,038 | 1,229 | 0,160 |
| 1        | 5          | 1         | 2,014  | 1,311   | 11,573 | 1,765  | 1,081 | 1,081 | 0,181 |
| 1        | 5          | 2         | 2,681  | 1,637   | 11,045 | 3,560  | 1,188 | 1,034 | 0,133 |
| 1        | 5          | 3         | 2,479  | 1,465   | 12,479 | 2,632  | 1,012 | 1,066 | 0,149 |
| 1        | 5          | 4         | 2,482  | 1,491   | 9,553  | 2,626  | 1,299 | 1,020 | 0,134 |
| 2        | 1          | 1         | 1,491  | 1,538   | 1,179  | 1,058  | 0,548 | 0,953 | 0,099 |
| 2        | 1          | 2         | 1,776  | 1,341   | 1,745  | 0,799  | 0,271 | 0,801 | 0,094 |
| 2        | 1          | 3         | 1,341  | 1,344   | 0,875  | 0,954  | 0,388 | 0,742 | 0,091 |
| 2        | 1          | 4         | 1,323  | 1,412   | 0,913  | 0,880  | 0,389 | 0,690 | 0,078 |
| 2        | 2          | 1         | 1,203  | 1,210   | 1,551  | 1,027  | 0,630 | 0,716 | 0,092 |
| 2        | 2          | 2         | 1,107  | 1,284   | 1,573  | 1,003  | 0,223 | 0,758 | 0,085 |
| 2        | 2          | 3         | 1,325  | 1,274   | 2,946  | 1,298  | 0,406 | 0,779 | 0,076 |
| 2        | 2          | 4         | 1,459  | 1,501   | 1,915  | 1,173  | 0,547 | 0,985 | 0,070 |
| 2        | 3          | 1         | 1,677  | 1,638   | 6,830  | 1,877  | 0,643 | 1,398 | 0,079 |
| 2        | 3          | 2         | 2,193  | 1,656   | 9,405  | 1,312  | 0,468 | 0,985 | 0,076 |
| 2        | 3          | 3         | 1,758  | 1,226   | 6,897  | 1,494  | 0,941 | 0,843 | 0,079 |
| 2        | 3          | 4         | 1,872  | 1,360   | 4,084  | 1,151  | 1,095 | 0,997 | 0,092 |
| 2        | 4          | 1         | 2,269  | 1,736   | 13,582 | 2,709  | 0,401 | 0,912 | 0,084 |
| 2        | 4          | 2         | 1,801  | 1,156   | 9,714  | 1,914  | 0,801 | 1,110 | 0,124 |
| 2        | 4          | 3         | 2,191  | 1,320   | 9,193  | 2,601  | 1,009 | 1,010 | 0,121 |
| 2        | 4          | 4         | 2,315  | 1,205   | 12,567 | 1,438  | 0,605 | 0,758 | 0,091 |
| 2        | 5          | 1         | 2,992  | 2,149   | 11,675 | 3,709  | 0,656 | 1,283 | 0,149 |
| 2        | 5          | 2         | 2,246  | 1,419   | 10,357 | 2,502  | 0,562 | 0,854 | 0,126 |
| 2        | 5          | 3         | 2,288  | 1,457   | 11,561 | 2,307  | 0,503 | 0,905 | 0,147 |
| 2        | 5          | 4         | 2,353  | 1,498   | 9,550  | 3,049  | 0,383 | 0,972 | 0,152 |

ANEXO 13 -Valores dos percentuais: cloretos no limbo foliar (CIPF), na bainha (CIPB) e no colmo (CIPC); sódio no limbo foliar (NaPF), na bainha (NaPB) e no colmo (NaPC); potássio no limbo foliar (KPF), na bainha (KPB) e no colmo (KPC)

| Genótipo | Tratamento | Repetição | KPF  | KPC  | KPB  | NaPF | NaPC | NaPB | CIPF | CIPC | CIPB |
|----------|------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1        | 1          | 1         | 36,8 | 38,2 | 25,1 | 33,4 | 37,1 | 29,5 | 31,7 | 44,5 | 23,8 |
| 1        | 1          | 2         | 37,7 | 37,5 | 24,8 | 31,8 | 39,4 | 28,7 | 27,0 | 49,2 | 23,7 |
| 1        | 1          | 3         | 37,4 | 33,6 | 28,9 | 39,5 | 38,1 | 22,4 | 25,5 | 50,1 | 24,4 |
| 1        | 1          | 4         | 36,1 | 37,2 | 26,7 | 36,0 | 35,8 | 28,1 | 22,6 | 53,7 | 23,8 |
| 1        | 2          | 1         | 39,4 | 35,8 | 24,8 | 32,5 | 38,5 | 29,0 | 32,8 | 43,9 | 23,3 |
| 1        | 2          | 2         | 31,1 | 44,1 | 24,7 | 28,1 | 41,8 | 30,1 | 22,3 | 50,6 | 27,1 |
| 1        | 2          | 3         | 31,4 | 46,6 | 21,9 | 22,8 | 54,6 | 22,6 | 18,3 | 60,4 | 21,3 |
| 1        | 2          | 4         | 31,5 | 42,6 | 25,9 | 26,4 | 45,3 | 28,2 | 21,0 | 57,6 | 21,4 |
| 1        | 3          | 1         | 28,0 | 48,8 | 23,2 | 18,6 | 59,1 | 22,3 | 18,2 | 61,5 | 20,3 |
| 1        | 3          | 2         | 45,4 | 27,9 | 26,7 | 18,7 | 62,4 | 18,9 | 30,3 | 37,3 | 32,4 |
| 1        | 3          | 3         | 39,1 | 35,3 | 25,6 | 22,9 | 53,6 | 23,5 | 35,7 | 40,8 | 23,6 |
| 1        | 3          | 4         | 36,1 | 35,4 | 28,5 | 16,5 | 57,9 | 25,6 | 32,8 | 39,8 | 27,4 |
| 1        | 4          | 1         | 44,4 | 29,5 | 26,0 | 18,5 | 70,4 | 11,1 | 32,7 | 43,3 | 24,0 |
| 1        | 4          | 2         | 48,6 | 18,9 | 32,5 | 16,9 | 61,1 | 22,0 | 38,4 | 31,3 | 30,3 |
| 1        | 4          | 3         | 36,4 | 26,0 | 37,6 | 12,3 | 69,3 | 18,4 | 29,6 | 43,6 | 26,8 |
| 1        | 4          | 4         | 35,1 | 28,2 | 36,7 | 13,2 | 68,2 | 18,6 | 27,5 | 43,6 | 28,9 |
| 1        | 5          | 1         | 37,0 | 26,9 | 36,2 | 9,6  | 75,0 | 15,4 | 28,2 | 38,3 | 33,5 |
| 1        | 5          | 2         | 40,4 | 25,2 | 34,4 | 10,3 | 59,6 | 30,2 | 26,6 | 37,4 | 35,9 |
| 1        | 5          | 3         | 43,5 | 17,9 | 38,6 | 12,1 | 61,4 | 26,5 | 31,0 | 31,3 | 37,7 |
| 1        | 5          | 4         | 51,4 | 17,5 | 31,1 | 19,8 | 49,5 | 30,8 | 39,4 | 25,7 | 34,9 |
| 2        | 1          | 1         | 43,5 | 22,9 | 33,6 | 33,4 | 37,9 | 28,7 | 27,2 | 38,9 | 33,9 |
| 2        | 1          | 2         | 51,4 | 13,7 | 34,9 | 29,4 | 50,7 | 19,9 | 25,7 | 45,1 | 29,2 |
| 2        | 1          | 3         | 46,7 | 22,0 | 31,3 | 34,2 | 36,3 | 29,5 | 26,0 | 42,3 | 31,6 |
| 2        | 1          | 4         | 53,5 | 19,8 | 26,8 | 39,9 | 34,7 | 25,5 | 30,4 | 38,4 | 31,2 |
| 2        | 2          | 1         | 43,0 | 28,9 | 28,1 | 27,8 | 46,1 | 26,1 | 29,5 | 37,9 | 32,6 |
| 2        | 2          | 2         | 58,2 | 9,8  | 32,0 | 34,4 | 40,6 | 25,0 | 36,2 | 30,1 | 33,7 |
| 2        | 2          | 3         | 48,0 | 18,8 | 33,1 | 20,0 | 57,0 | 23,0 | 29,3 | 37,6 | 33,1 |
| 2        | 2          | 4         | 45,5 | 19,9 | 34,5 | 29,1 | 44,7 | 26,3 | 30,1 | 35,2 | 34,7 |
| 2        | 3          | 1         | 39,2 | 17,4 | 43,4 | 13,9 | 65,5 | 20,6 | 28,9 | 33,5 | 37,5 |
| 2        | 3          | 2         | 49,2 | 11,5 | 39,3 | 14,8 | 69,5 | 15,7 | 29,1 | 31,9 | 39,0 |
| 2        | 3          | 3         | 50,2 | 22,6 | 27,2 | 19,0 | 62,8 | 18,2 | 38,0 | 32,0 | 29,9 |
| 2        | 3          | 4         | 39,8 | 24,4 | 35,9 | 23,1 | 52,8 | 24,1 | 30,5 | 31,9 | 37,6 |
| 2        | 4          | 1         | 48,6 | 10,9 | 40,5 | 9,1  | 68,5 | 22,4 | 26,0 | 32,8 | 41,2 |
| 2        | 4          | 2         | 40,3 | 18,6 | 41,2 | 12,0 | 67,0 | 21,1 | 32,2 | 33,4 | 34,3 |
| 2        | 4          | 3         | 39,1 | 24,7 | 36,2 | 10,9 | 63,0 | 26,1 | 27,9 | 38,3 | 33,8 |
| 2        | 4          | 4         | 50,1 | 17,4 | 32,5 | 10,6 | 76,4 | 13,0 | 29,8 | 39,6 | 30,7 |
| 2        | 5          | 1         | 44,0 | 15,2 | 40,9 | 10,2 | 62,5 | 27,3 | 24,2 | 38,1 | 37,7 |
| 2        | 5          | 2         | 46,7 | 17,8 | 35,6 | 9,7  | 68,5 | 21,8 | 26,4 | 40,2 | 33,4 |
| 2        | 5          | 3         | 53,5 | 12,1 | 34,3 | 12,8 | 66,4 | 20,9 | 32,6 | 33,6 | 33,7 |
| 2        | 5          | 4         | 46,7 | 10,3 | 43,0 | 10,7 | 58,5 | 30,8 | 26,5 | 35,9 | 37,6 |

ANEXO 14 - Valores dos teores de carboidratos em folhas de plantas de sorgo  
forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais

| Genótipo | Tratamento | Repetição | Carboidratos |
|----------|------------|-----------|--------------|
| 1        | 1          | 1         | 1105,37      |
| 1        | 1          | 2         | 1039,78      |
| 1        | 1          | 3         | 1036,12      |
| 1        | 1          | 4         | 1103,15      |
| 1        | 2          | 1         | 1074,81      |
| 1        | 2          | 2         | 1050,81      |
| 1        | 2          | 3         | 825,28       |
| 1        | 2          | 4         | 1035,11      |
| 1        | 3          | 1         | 1177,26      |
| 1        | 3          | 2         | 948,54       |
| 1        | 3          | 3         | 1136,22      |
| 1        | 3          | 4         | 1267,06      |
| 1        | 4          | 1         | 1114,21      |
| 1        | 4          | 2         | 1044,06      |
| 1        | 4          | 3         | 1071,96      |
| 1        | 4          | 4         | 1000,31      |
| 1        | 5          | 1         | 960,09       |
| 1        | 5          | 2         | 1047,86      |
| 1        | 5          | 3         | 1099,95      |
| 1        | 5          | 4         | 1068,01      |
| 2        | 1          | 1         | 1032,03      |
| 2        | 1          | 2         | 1123,55      |
| 2        | 1          | 3         | 1075,56      |
| 2        | 1          | 4         | 1268,66      |
| 2        | 2          | 1         | 1212,21      |
| 2        | 2          | 2         | 1178,74      |
| 2        | 2          | 3         | 1238,59      |
| 2        | 2          | 4         | 874,69       |
| 2        | 3          | 1         | 962,03       |
| 2        | 3          | 2         | 825,78       |
| 2        | 3          | 3         | 1295,21      |
| 2        | 3          | 4         | 1265,87      |
| 2        | 4          | 1         | 1234,30      |
| 2        | 4          | 2         | 1260,54      |
| 2        | 4          | 3         | 1218,68      |
| 2        | 4          | 4         | 1110,95      |
| 2        | 5          | 1         | 1102,05      |
| 2        | 5          | 2         | 1221,57      |
| 2        | 5          | 3         | 1069,78      |
| 2        | 5          | 4         | 1280,48      |

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)