

Universidade Federal do Ceará
Centro de Ciências Agrárias
Departamento de Ciências do Solo
Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas

Acúmulo de sais no solo, produtividade e teores de íons no milho
irrigado com águas salinas de forma contínua ou alternada

FELIPE DE SOUSA BARBOSA

AGOSTO - 2010
FORTALEZA - CEARÁ
BRASIL

Acúmulo de sais no solo, produtividade e teores de íons no milho irrigado
com águas salinas de forma contínua ou alternada

FELIPE DE SOUSA BARBOSA

AGOSTO - 2010
FORTALEZA - CEARÁ
BRASIL

Acúmulo de sais no solo, produtividade e teores de íons no milho irrigado com águas salinas de forma contínua ou alternada

FELIPE DE SOUSA BARBOSA

Dissertação submetida à
Coordenação do Curso de Pós-Graduação
em Agronomia, Área de Concentração em
Solos e Nutrição de Plantas, da Universidade
Federal do Ceará - UFC, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre.

AGOSTO - 2010
FORTALEZA - CEARÁ
BRASIL

B197a Barbosa, Felipe de Sousa
 Acúmulo de sais no solo, produtividade e teores de íons no milho irrigado com águas salinas de forma contínua ou alternada / Felipe de Sousa Barbosa. -- Fortaleza, 2010.
 49 f. ; il., enc.

 Orientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda
 Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Depto. de Ciências do Solo, Fortaleza, 2010.

 1. Milho - Solos. 2. Solos - Salinidade. I. Barbosa, Felipe de Sousa (Orient.). II. Universidade Federal do Ceará – Pós-Graduação em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas. III. Título

CDD 631.4

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

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita em conformidade com as normas da ética científica.

Felipe de Sousa Barbosa

Projeto aprovado em: __/__/__

Prof. Claudivan Feitosa de Lacerda - Doutor
(Orientador)

Prof. Hans Raj Gheyi- Doutor
(Membro)

Francisco Valderez Augusto Guimarães - Doutor
(Membro)

Aos meus Pais,
Enock Carlos Barbosa e
Maria da Paz de Sousa Barbosa.

A minha irmã,
Janaina de Sousa Barbosa

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, saúde, oportunidades, forças e discernimento durante toda a minha vida, sempre me conduzindo pelos caminhos corretos.

Aos meus pais, Enock e Maria da Paz pelo amor, atenção, dedicação, ensinamentos e investimentos. A minha irmã, Janaina, por todos os momentos compartilhados, toda amizade, atenção e principalmente por almejar tanto quanto eu meu sucesso profissional.

A Yara Lage pelo amor, carinho, pela amizade, companheirismo durante todos os momentos.

A Universidade Federal do Ceará, pela formação e oportunidade de realização deste trabalho.

A Fundação Cearense de Apoio à Pesquisa – FUNCAP, pela concessão de bolsa de estudo durante o curso de pós - graduação.

Ao professor Claudivan Feitosa de Lacerda pela orientação.

Aos amigos Haynna Abud, Tiago Dias e Maria Alyne pela sincera amizade, sonhos compartilhados, harmoniosa convivência, e por cada momento de alegria e dificuldade que passamos juntos.

Aos amigos Tomil Ricardo, Neyara, Gabriel, Ricardo, Leandro, Diego, Magnum e Wener por toda amizade, apoio e companheirismo.

Aos amigos do Curso graduação e Pós-graduação em Agronomia, pelos momentos compartilhados de estudo e de descontração durante toda a formação.

Aos professores desta Universidade pelos ensinamentos e esclarecimentos.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram neste percurso com a conquista deste sonho, independente da função ou grau de parentesco.

Muito obrigado!

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média de temperatura (T), umidade relativa (UR), velocidade do vento (V), insolação, precipitação (PPT) e evapotranspiração do tanque Classe A (ECA) obtidos durante os períodos de cultivo nas estações secas de 2008-2009 e 2009-2010.....	14
Tabela 2. Características físicas e químicas do solo da área experimental.	14
Tabela 3. Quadrado médio e significância estatística para a produtividade (PROD), produção de matéria seca dos limbos foliares (MSFO), colmos + bainhas (MSCO), pendões (MSPEN), material morto (MSMM), matéria seca da parte aérea (MSPA) e peso de 1000 grãos (P1000) de plantas de milho, submetidas a regime de irrigação com diferentes tratamentos salinos aos 90 DAP nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.....	23
Tabela 4. Comparação de médias para a produtividade (PROD), produção de matéria seca dos limbos foliares (MSFO), colmos + bainhas (MSCO), pendões (MSPEN), material morto (MSMM), matéria seca da parte aérea (MSPA) e peso de 1000 grãos (P1000) de plantas de milho, submetidas a regime de irrigação com diferentes tratamentos salinos aos 90 DAP nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.	23
Tabela 5. Quadrado médio e significância estatística para a distribuição percentual de matéria seca das partes índice de colheita (IC), limbos foliares (FO), colmos + bainhas (CO), pendões (PEN) e material morto (MM) de plantas de milho, submetidas a regime de irrigação com diferentes tratamentos salinos aos 90 DAP nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.....	25
Tabela 6. Comparação de médias para a distribuição percentual de matéria seca das partes índice de colheita (IC), limbos foliares (FO), colmos + bainhas (CO), pendões (PEN) e material morto (MM) de plantas de milho, submetidas a regime de irrigação com diferentes tratamentos salinos aos 90 DAP nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.....	25
Tabela 7. Quadrados médios para índices de tolerância à salinidade considerando a produção de grãos (ITGr), matéria seca vegetativa (ITVEG) e matéria seca total (ITTot) em plantas de milho nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.	26
Tabela 8. Comparação de médias para índices de tolerância à salinidade considerando a produção de grãos (ITGr), matéria seca vegetativa (ITVEG) e matéria seca total (ITTot) em plantas de milho nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.	27
Tabela 9. Quadrados médios das alturas da plantas e diâmetros dos colmos de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades e de modo cíclico aos 90 DAP nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.	28

Tabela 10. Comparação de médias da altura das plantas e diâmetro dos colmos de plantas de milho submetidas a regime de irrigação com diferentes tratamentos salinos aos 90 DAP nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.	28
Tabela 11. Quadrados médios para eficiência no uso de água para produção de matéria seca total (EUAs) e para produção de grãos (EUAgr) de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades e de modo cíclico aos 90 DAP nos experimentos 2008-2009 e 2009-2010.....	29
Tabela 12. Lâminas totais aplicadas (mm) de cada tipo de água por seu respectivo tratamento, durante os períodos de cultivo 2008-2009 e 2009-2010 de plantas de milho.	29
Tabela 13 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para área foliar de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades e de modo contínuo ou cíclico aos 18, 36, 54, 72 e 90 DAP, no período 2009-2010.	30
Tabela 14 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para razão de área foliar (RAF) de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades e de modo contínuo ou cíclico aos 18, 36, 54, 72 e 90 DAP, no período 2009-2010.	31
Tabela 15 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para área foliar específica (AFE) de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades e de modo contínuo ou cíclico aos 18, 36, 54, 72 e 90 DAP, no período 2009-2010.	32
Tabela 16 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para taxa de crescimento absoluto (TCA) de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades de modo contínuo ou cíclico aos 36, 54, 72 e 90 DAP, no período 2009-2010.	33
Tabela 17 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para taxas de crescimento relativo (TCR) de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades e de modo contínuo ou cíclico aos 36, 54, 72 e 90 DAP, no período 2009-2010.	33
Tabela 18 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para taxa de assimilação líquida (TAL) de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades e de modo contínuo ou cíclico aos 36, 54, 72 e 90 DAP, no período 2009-2010.	34
Tabela 19 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para os teores de sódio nos limbos, bainhas e colmos de plantas de milho cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, no período 2009-2010.	35
Tabela 20 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para os teores de potássio nos limbos, bainhas e colmos de plantas de milho cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, no período 2009-2010.	37

Tabela 21 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para os teores de cálcio nos limbos, bainhas e colmos de plantas de milho cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, no período 2009-2010.	38
Tabela 22 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para os teores de cloreto nos limbos, bainhas e colmos de plantas de milho cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, no período 2009-2010.	39
Tabela 23. Quadro da análise de variância apresentando os quadrados médios (QM) para as variáveis da ralação entre: sódio no colmo/sódio no limbo foliar (Nac/Naf); sódio na bainha/sódio no limbo foliar (Nab/Naf); sódio no limbo foliar/potássio no limbo foliar (Naf/Kf); potássio no colmo/potássio no limbo foliar (Kc/Kf); potássio na bainha/potássio no limbo foliar (Kb/Kf); cálcio no colmo/cálcio no limbo foliar (Cac/Caf); cálcio na bainha/cálcio no limbo foliar (Cab/Caf); sódio no limbo foliar/cálcio no limbo foliar (Naf/Caf); cloreto no colmo/cloreto no limbo foliar (Clc/Clf); cloreto na bainha/cloreto no limbo foliar (Clb/Clf).....	40
Tabela 24. Relações entre os teores de Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺ e Cl ⁻ nos colmos e seus teores nos limbos foliares, entre os teores nas bainhas e nos limbos foliares e relações entre sódio e potássio e sódio e cálcio nos limbos foliares em plantas de milho irrigadas com diferentes tratamentos salinos.	41
Tabela 25. Quadro da análise de variância apresentando os quadrados médios (QM) para as variáveis dos percentuais de sódio, potássio, cálcio e cloreto nos colmos, bainhas e limbos foliares.	42
Tabela 26. Distribuição percentual e comparação de médias de sódio, potássio, cálcio e cloreto nos colmos, bainhas e limbos foliares de plantas de milho irrigadas com diferentes tratamentos salinos.	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Condutividade elétrica do extrato solo/água (CE1:1) de amostras coletadas nas profundidades 0 a 30, 30 a 60 e 60 a 90 cm nos respectivos tratamentos, ao final dos cultivos do milho nos ensaios 2008-2009 e 2009-2010.	21
--	----

RESUMO

A irrigação com águas que contêm sais em excesso pode, dependendo do teor e dos tipos destes, alterar de forma negativa o desenvolvimento das culturas. Um dos efeitos da salinidade é de natureza osmótica, podendo afetar diretamente o rendimento das culturas. Outro efeito da irrigação com água salina sobre a cultura do milho é a elevação das concentrações de sódio e cloro nos cloroplastos das plantas, o que pode acarretar em diminuição da taxa fotossintética. O uso de técnicas corretas de manejo visa viabilizar a utilização de águas com teor de sais elevados. O objetivo desse trabalho é avaliar o uso de água de alta salinidade na irrigação, de forma contínua ou alternada com água de baixa salinidade, sobre o acúmulo de sais no solo e sobre o crescimento vegetativo, a produtividade, e o acúmulo de íons em plantas de milho. O trabalho foi conduzido em um campo experimental da UFC. O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados. Irrigou-se com três fontes de água com condutividades elétricas 0,8, 2,5 e 5,0 dS m⁻¹, combinadas em sete tratamentos. A estratégia do uso cíclico de águas de baixa e alta salinidade reduz o acúmulo de sais no solo, notadamente na zona radicular da planta, resultando no menor acúmulo de íons potencialmente tóxicos (Na e Cl) na parte aérea das plantas de milho. O uso de água de alta salinidade (CE 5,0 dS m⁻¹) durante todo o ciclo do genótipo de milho analisado, reduziu a produtividade significativamente no ensaio 2008-2009. A irrigação com águas de CE de até 5,0 dS m⁻¹ não afetam a altura das plantas e diâmetro dos colmos. A salinidade na forma como foi imposta, não reduz o crescimento das plantas. O uso cíclico de águas salinas permite a substituição parcial de água de baixa salinidade na irrigação, reduzindo, também os impactos sobre o solo e sobre a cultura.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; estresse salino; tolerância à salinidade; produção; cloreto de sódio; cloreto de cálcio; cloreto de magnésio.

ABSTRACT

Irrigation with water containing excess salts may, depending on the content and of these types, alter negatively the development of crops. One effect of salinity is osmotic in nature, directly affecting crop yields. Another effect of irrigation with saline water on the corn crop is the elevation of sodium and chlorine in the chloroplasts of plants, which can result in decreased photosynthetic rate. The use of correct techniques of management aims to enable the use of water with high salt content. The aim of this study is to evaluate the use of water of high salinity in irrigation, in a continuous or alternating with water of low salinity on the accumulation of salts in the soil and the vegetative growth, productivity, and accumulation of ions in plants corn. The study was conducted in an experimental field of the UFC. The experimental design was a randomized complete block. Irrigated with three water sources with electrical conductivities of 0.8, 2.5 and 5.0 dS m⁻¹, combined into seven treatments. The strategy of the cyclic use of low water and high salinity reduces the accumulation of salts in the soil, notably in the plant root zone, resulting in less accumulation of potentially toxic ions (Na and Cl) in shoots of corn plants. The use of water of high salinity (EC 5.0 dS m⁻¹) during the entire cycle of corn genotype analyzed, significantly reduced the productivity in the 2008-2009 test. Irrigation water with EC up to 5.0 dS m⁻¹ doesn't affect plant height and stem diameter. The salinity in the way it was imposed, doesn't reduce plant growth. The cyclic use of saline water allows the partial substitution of low salinity water for irrigation, which also reduces the impacts on soil and on culture.

Keywords: *Zea mays* L.; salt stress, salt tolerance, production, sodium chloride, calcium chloride, magnesium chloride.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Qualidade da água para irrigação	4
2.2. Salinidade do solo.....	6
2.3. Efeitos da salinidade na planta	7
2.4. Efeitos da salinidade na cultura do milho	9
2.5. Uso cíclico de água salina na irrigação.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Local do experimento e condições edafoclimáticas	13
3.2. Material vegetal.....	14
3.3. Tratamento e delineamento experimental	15
3.4. Manejo da irrigação	15
3.5. Produção de matéria seca, produtividade e eficiência no uso da água	16
3.6. Análise de crescimento	17
3.7. Teores de minerais nos tecidos.....	18
3.8. Análises de solo.....	19
3.9. Análises estatísticas	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1. Acúmulo de sais no solo, produção e partição de matéria seca, produtividade e eficiência no uso da água nos dois ciclos de produção	20
4.2. Acompanhamento do desenvolvimento da cultura no ciclo 2.....	30
4.3. Teores de íons na planta.....	34
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

A região semi-árida do Nordeste brasileiro, além da escassez de recursos hídricos para atender às necessidades da população (consumo, indústria, irrigação, etc.), também se defronta com o alto teor de sais em grande parte das fontes de águas (Holanda & Amorim, 1997). Dentre outros fatores, isso se deve a alta taxa de evaporação e baixa precipitação, associados às características do material de origem dos solos (Cordeiro, 2001).

A salinidade do solo é um dos importantes fatores que afetam o rendimento das culturas. Em se tratando de regiões áridas e semi-áridas irrigadas, constitui um sério problema limitando a produção agrícola e reduzindo a produtividade das culturas a níveis antieconômicos (Queiroz et al., 1997).

Assim como outras propriedades físicas e químicas do solo, a salinidade é uma propriedade bastante variável no espaço e no tempo devido à natureza dinâmica dos efeitos e interações de diversos fatores edáficos (permeabilidade do solo, nível do lençol freático, etc.), climáticos (quantidade e distribuição das chuvas, umidade relativa, temperatura, etc.) e ação do homem (irrigação, práticas culturais, etc.) (Queiroz et al., 1997).

Os sais que contribuem para o problema de salinidade são solúveis e transportados facilmente na água de irrigação. A agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água. O aspecto da qualidade tem sido desprezado devido ao fato de que, em geral, as fontes de água de boa qualidade, devido ao uso intensivo, têm diminuído significativamente. Dessa forma, tem-se que recorrer às águas de qualidade inferior (Ayers & Westcot, 1999).

Na região Nordeste, as fontes de água disponíveis, sobretudo as subterrâneas, deixam muito a desejar no quesito qualidade. Em estudo realizado por Silva et al. (2007), até 2003, havia cerca de 23.000 poços perfurados no Ceará. Em torno de 63% destes estavam em embasamento cristalino, 29% em litologia sedimentar e o restante em aluviões e formações cársticas. Ainda segundo o autor, as águas de poços do cristalino possuem maior conteúdo salino que as de litologia sedimentar.

Quanto às águas superficiais, a evaporação é o um processo que pode contribuir para a salinização. A diferença de salinidade nos diferentes açudes decorre da maior ou menor diluição com a água de chuva que o reservatório recebe. A evaporação é também responsável pela salinização das águas subterrâneas armazenadas nas zonas aluvionares, tendo em vista que os sais acumulados nas pequenas depressões no período de estiagem são carreados no período chuvoso para as áreas de recarga. Os sais nos reservatórios são oriundos, principalmente, das rochas e seus produtos de alterações (Silva et al., 2007).

A utilização de fontes de águas salinas para irrigação pode, dependendo do teor total e dos tipos de sais, alterar de forma negativa as propriedades físicas e químicas do solo e, dependendo da sua forma de aplicação, pode comprometer o rendimento das culturas. Dentre as alternativas para o uso de águas salinas na agricultura irrigada, incluem-se técnicas de manejo como a drenagem e lixiviação dos sais, o uso de culturas mais tolerantes a salinidade, ou ainda, a rotação de culturas, irrigação com misturas de águas de diferentes concentrações salinas, ou o uso de águas salinas apenas nos estádios de crescimento e desenvolvimento em que a cultura apresenta maior grau de tolerância ao estresse (Ayers & Westcot, 1999). Uma outra alternativa que pode reduzir a concentração de sais e aumentar a disponibilidade de água para irrigação é a mistura de águas de diferentes qualidades ou o uso alternado de fontes de água com diferentes concentrações de sais (Malash et al., 2005; Flowers et al., 2005). Essa estratégia reduz os impactos da salinidade sobre o solo e sobre a planta, além de aumentar a eficiência do uso de água de boa qualidade.

Dentre as espécies não-halófitas, o milho, é reconhecido por ser moderadamente sensível ao estresse salino (Ayers & Westcot, 1999), dessa forma sofre redução progressiva do crescimento, que se reflete na perda de produção, com o aumento da concentração de sais no meio radicular (Azevedo Neto & Tabosa, 2000a). No entanto, devido a seu grande potencial produtivo e importância para o agronegócio nacional, necessita de mais estudos que viabilizem e incrementem sua produção em condições de solo e água salinos.

Partindo desses pressupostos, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o uso de água de alta salinidade na irrigação, de forma contínua ou alternada com água de baixa salinidade, sobre o acúmulo de sais no solo e sobre o crescimento vegetativo, a produtividade, e o acúmulo de íons em plantas de milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Qualidade da água para irrigação

Pode-se definir a qualidade da água por suas características físicas, químicas ou biológicas, sendo que na sua avaliação para irrigação os parâmetros a serem analisados devem ser os físico-químicos (D'Almeida, 2002).

A qualidade da água de irrigação pode variar significativamente segundo o tipo e a quantidade de sais dissolvidos. Os sais encontram-se em quantidades relativamente pequenas, porém significativas, e têm sua origem na intemperização das rochas e solos, incluindo a dissolução lenta do calcário, do gesso e de outros materiais (Ayers & Westcot, 1999).

As águas que se destinam à irrigação devem ser avaliadas principalmente sob três aspectos, considerados fundamentais na determinação da qualidade agronômica das mesmas, sendo eles: salinidade, sodicidade e toxicidade de íons. Para Bernardo (1995), concentração de sais solúveis na água de irrigação ou salinidade é um fator limitante ao desenvolvimento da maioria culturas.

O efeito da salinidade é de natureza osmótica, podendo afetar diretamente o rendimento das culturas. O rendimento diminui quando o teor de sais na solução do solo é tal que não permite que as culturas retirem água suficiente da zona radicular. Se a extração de água se reduz muito, as plantas diminuem seu crescimento e chegam a apresentar sintomas semelhantes aos provocados por estiagem, tais como murchamento ou coloração verde-azulado escuro e, algumas vezes, folhas cerosas e com maior espessura (Ayers & Westcot, 1999).

A sodicidade, determinada pela razão de adsorção de sódio (RAS) da água de irrigação, se refere ao efeito do sódio contido na água de irrigação, que tende a elevar a porcentagem de sódio trocável no solo (PST), afetando a sua capacidade de infiltração. Como consequência, a água permanece sobre o solo por um longo tempo, ou infiltra-se muito devagar e a planta não recebe a quantidade de água necessária para obter bons rendimentos (Ayers & Westcot, 1999).

A toxicidade refere-se ao efeito de alguns íons sobre as plantas, sendo os de maior importância o cloreto, o sódio e o boro, que quando encontrados em concentrações elevadas podem causar danos às culturas, reduzindo sua produção (Holanda & Amorim, 1997). A sensibilidade das plantas pode agravar a magnitude destes danos. Culturas perenes são as mais sensíveis, enquanto que as anuais são mais tolerantes e, por isso, não são afetadas por concentrações baixas desses elementos. Por outro lado, se as concentrações forem altas, todas as culturas sofrerão danos e chegarão à morte. Os problemas de toxicidade geralmente agravam os problemas de salinidade e infiltração (Ayers & Westcot, 1999). Já Bernardo (1995) cita, além destes parâmetros básicos de avaliação, a concentração de bicarbonatos e o aspecto sanitário da água como atributos que devem ser considerados.

A concentração total de sais na água para irrigação normalmente é expressa em relação à sua condutividade elétrica (CEa), podendo ser determinada com rapidez e alta precisão. É uma propriedade iônica que indica a capacidade de condução de corrente elétrica na água, tem proporcionalidade direta com a concentração de sais dissolvidos, crescendo com a temperatura e variando com o tipo de sal dissolvido para uma mesma concentração (Santos, 2000). Poucas águas de uso generalizado em irrigação excedem cerca de 2 dS m^{-1} de condutividade elétrica (Rhoades et al., 1992). Para Pizarro (1978) uma água de irrigação de boa qualidade deve apresentar uma CE de, aproximadamente, $0,75 \text{ dS m}^{-1}$.

Na classificação mais utilizada, os níveis de salinidade recebem as denominações C_1 , C_2 , C_3 e C_4 , onde a C_1 representa a classe de água de baixa salinidade e a C_4 a classe de alta salinidade. Quanto ao risco de sodicidade, a classificação é feita baseando-se nos valores limites de RAS. Também é dividida em quatro classes que são: S_1 , S_2 , S_3 e S_4 , sendo a S_1 a água de baixa sodicidade e a S_4 a água com altas concentrações de sódio (Richards, 1954).

No semi-árido nordestino a concentração salina das águas, principalmente dos pequenos e médios reservatórios, aumenta durante o período seco, quando o volume da água é significativamente reduzido. 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 fluxo do retorno da água de drenagem (Holanda & Amorim, 1997).

A adequação da água de irrigação, de acordo com Holanda & Amorim (1997), não depende somente do teor total, mas também dos tipos de sais. À medida que a concentração de sais aumenta, os problemas do solo e das culturas se agravam.

2.2. Salinidade do solo

Em solos salinos e sódicos os sais encontrados mais frequentemente são formados por cátions de cálcio, magnésio, sódio e dos ânions cloreto e sulfato, com menos frequência encontram-se outros íons como potássio, carbonato e bicarbonato (Queiroz et al., 1997).

A formação dos solos salinos e sódicos ocorre principalmente em climas áridos e semi-áridos, onde a ausência de lixiviação, juntamente com a excessiva evaporação da água, possibilita o acúmulo de sais no solo. A situação pode ser muito agravada com a irrigação, já que a água utilizada sempre carrega sais para o solo. Apesar dos solos afetados por sais serem comuns em regiões áridas e semi-áridas, os problemas de sais não são restritos a essas regiões. Os solos salinos e sódicos podem se desenvolver também em regiões úmidas e sub-úmidas sob condições apropriadas, como a falta de drenagem, que levaria a cristalização de sais na superfície do solo, os quais aparecem como resultante da ascensão capilar durante o processo de evaporação (Queiroz et al., 1997).

As três principais fontes naturais de sais do solo são o intemperismo mineral, a precipitação atmosférica e os sais fósseis (remanescentes de ambientes marinhos e lacustres). Os sais também podem ser adicionados ao solo através de atividades humanas, incluindo o uso de águas de irrigação e salmouras altamente salinas, ou resíduos industriais (Bohn et al., 1985).

Diversas medidas de laboratório são usadas para avaliar a salinidade do solo, sendo as mais importantes o pH, a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) e a porcentagem de sódio trocável (PST) (Raij, 1991). Para avaliar o perigo de sodificação do solo pelo uso da água de irrigação utiliza-se outro índice chamado relação de adsorção de sódio (RAS).

Existem várias classificações para os solos afetados por sais, sendo as mais importantes a russa, a francesa, FAO e a americana. A classificação russa combina os princípios da pedogênese, geoquímica dos sais e fisiologia vegetal. Contudo a

classificação mais simples e mais prática tem sido a americana. Ela é baseada na concentração de sais solúveis (expressa pela CEes) extraídos da pasta saturada do solo e na porcentagem de sódio trocável do solo (PST). A CEes indica os efeitos da salinidade sobre as plantas, enquanto que a PST indica os efeitos do sódio sobre as propriedades do solo (Richards, 1954).

A linha divisória entre solos salinos e solos não-salinos tem estabelecido o valor de CE de 4 dS m^{-1} para extratos de pasta saturada de solo. Entretanto, podemos encontrar plantas sensíveis a sais, que podem ser afetadas em solos cujo extrato de saturação apresenta CEes entre 2 e 4 dS m^{-1} . O Comitê de Terminologia da Sociedade Americana de Ciência do Solo tem recomendado baixar o limite entre solos salinos e não-salinos para 2 dS m^{-1} (Bohn, et al., 1985).

2.3. Efeitos da salinidade na planta

A acumulação excessiva de sais solúveis na zona radicular dos cultivos é um fator limitante da produção na agricultura irrigada (Cordeiro, 2001). Os sais afetam diretamente o crescimento da planta pela alteração do seu estado nutricional, pela acumulação de certos íons no tecido vegetal em concentrações tóxicas, e pelo aumento da pressão osmótica na solução do solo, que limita a disponibilidade de água (Fageria, 1989).

Quando as plantas se desenvolvem sob condições de salinidade, um dos sintomas mais característicos é a inibição do crescimento acarretada pelos sais, o qual se manifesta pelo aparecimento de manchas nas folhas, plantas definhadas e uma grande variação no crescimento, o que resulta em uma baixa produção por unidade de área (Cordeiro, 2001).

Em ambiente salino, as plantas podem aumentar sua concentração osmótica interna para não perder água, o que é chamado de ajustamento osmótico. No entanto, apesar do ajustamento osmótico, o crescimento da planta é reduzido, pois a energia necessária para o crescimento é redirecionada para o ajustamento. A salinidade também pode inibir o crescimento das plantas devido ao efeito do desequilíbrio nutricional. Altas concentrações de determinados sais podem inibir a absorção de outros elementos essenciais, aumentando assim a concentração de íons potencialmente tóxicos como o sódio, em espécies suscetíveis (Fageria, 1989).

Talvez o mais importante mecanismo para regular o estresse osmótico seja a absorção seletiva de íons. Plantas tolerantes possuem capacidade de adquirir nutrientes essenciais da solução salina em que a concentração de íons não essenciais é muito maior que a de íons essenciais (Fageria, 1989).

As plantas podem também reter íons nas raízes e nos caules, limitando a salinidade da seiva xilemática e reduzindo a quantidade deles que chega às folhas (Trindade et al., 2006). Embora muitos desses mecanismos sejam especialmente eficientes nas halófitas, eles também têm sido observados em glicófitas; nestas espécies, o mecanismo de exclusão de íons dos tecidos fotossintetizantes parece ser o mais eficiente (Lacerda et al., 2003).

Em trabalho realizado com sorgo, Aquino et al. (2007), observaram a grande capacidade de retenção de Na^+ nos colmos das plantas, com a bainha exercendo papel importante nesse mecanismo. Nas bainhas, observaram relações crescentes entre os teores deste íon em seus tecidos com a salinidade. Por outro lado, a capacidade de retenção de Cl^- foi bem menor que a de Na^+ , sendo maior nos colmos do que nas bainhas. Esses resultados são bons indicativos da capacidade de retenção de íons potencialmente tóxicos, especialmente de Na^+ , sugerindo que essa espécie exporta pouco Na^+ do colmo para os limbos foliares, evitando, assim, o excesso desse íon nos tecidos fotossintetizantes (Azevedo Neto & Tabosa, 2000b).

A tolerância das espécies ou cultivares ao estresse salino não depende somente da concentração de sais, mas de outros fatores como o estágio de crescimento e cultivar, fertilidade, teor de umidade e aeração do solo e fatores climáticos como a temperatura, umidade e radiação solar (Fageria, 1989; Blaylock, 1994).

O estresse salino representa um dos mais sérios fatores que limitam o crescimento e a produção das culturas, induzindo a modificações morfológicas, estruturais e metabólicas nas plantas superiores (Izzo et al., 1991). As diferenças nos graus de tolerância das espécies ou cultivares dependem, portanto, da eficiência dos mecanismos morfológicos e fisiológicos, que aumentam a capacidade das plantas de enfrentar o aumento da concentração de sais no solo (Lacerda et al., 2003).

2.4. Efeitos da salinidade na cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é usado diretamente como alimento humano e como ração para animais. É uma cultura importante devido ao seu alto potencial produtivo quando comparado a outros cereais e por sua ampla adaptabilidade ambiental. É cultivado com sucesso desde 55°N a 40°S, do nível do mar a 4000m de altitude (Fageria, 1989).

É considerada uma cultura de clima quente e adaptada ao semi-árido, requer umidade e calor elevados desde a época do plantio até o fim do período de floração (Amorim et al., 2005).

A cultura do milho no Brasil é base de sustentação para a pequena propriedade, constituindo um dos principais insumos no complexo agro-industrial brasileiro, sem falar no mérito dos inúmeros benefícios de sua utilização na rotação de culturas e no sistema de plantio direto (Pereira, 2005).

No Nordeste brasileiro, o milho é submetido a diferentes condições ambientais, tornando necessário o desenvolvimento de tecnologias que proporcionem maiores rendimentos. A produtividade de grãos de milho na região oscila de 800 kg.ha⁻¹ nos sistemas de produção tradicionais, onde se constatam plantios consorciados com o feijão e o algodão, até mais de 6.500 kg.ha⁻¹ em plantios tecnificados. A utilização de híbridos de milho de melhor adaptação poderá trazer mudanças substanciais aos diferentes sistemas de produção praticados nas mais variadas condições ambientais do Nordeste brasileiro (Pereira, 2005).

Dentre as espécies não-halófitas, o milho, é reconhecido por ser moderadamente sensível ao estresse salino (Ayers & Westcot, 1999), dessa forma sofre redução progressiva do crescimento, que se reflete na perda de produção, com o aumento da concentração de sais no meio radicular (Azevedo Neto & Tabosa, 2000a). No entanto, devido a seu grande potencial produtivo e importância para o agronegócio nacional, necessita de mais estudos que viabilizem e incrementem sua produção em condições de solo e água salinos.

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 injúria ou até mesmo 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 conseqüentemente, déficit hídrico (Aquino, 2005).

A deficiência hídrica afeta o crescimento das plantas reduzindo a disponibilidade de CO₂ para a fotossíntese e o processo de alongação celular, que por conseqüência causa redução no crescimento foliar ocasionando diminuição nos sítios de utilização dos produtos fotossintetizados afetando a taxa de fotossíntese. Interfere na síntese de proteínas e RNA com aumento de aminoácidos livres (Pitombeira, 2006).

No milho o déficit hídrico acarreta redução no vigor vegetativo e altura das plantas, produção de grãos de pólen e defasagem entre o aparecimento das inflorescências masculinas e femininas (Pitombeira, 2006).

Garcia et al. (2007) estudando os efeitos da irrigação com água salina sobre a cultura do milho, observaram elevação das concentrações de sódio e cloro nos cloroplastos das plantas decorrentes do aumento da salinidade, o que acarretou em diminuição da taxa fotossintética na ordem de 60%. Isso devido aos efeitos do sal sobre as atividades dos cloroplastos, quando excedeu o nível de tolerância das plantas. Os níveis mais elevados de salinidade também provocaram reduções na produção da cultura, que segundo o autor, foi resultado do efeito simultâneo dos estresses hídrico, osmótico, toxidez e nutricional impostos a cultura durante a sua fase de crescimento. Houve redução ainda na transpiração e condutância estomática nas folhas das plantas de milho, devido ao fechamento dos estômatos, conseqüência do aumento da concentração de sais na solução do solo.

Esses últimos resultados são semelhantes aos de Katerji et al. (2000) e Azevedo Neto et al. (2004) que observaram que o aumento da salinidade do solo diminuiu a produtividade, a evapotranspiração, o potencial hídrico das folhas no *pré-dawn* e a condutância estomática em diversas culturas, inclusive o milho, irrigados com água salina. O estresse salino reduziu também as massas secas da parte aérea e raízes de todos os genótipos de milho estudados. Houve também aumento dos teores de sódio e redução de potássio nas folhas dos genótipos estudados com o aumento do estresse salino (Azevedo Neto et al., 2004).

Além da redução das massas secas de raízes e parte aérea, Oliveira et al. (2007) verificaram que houve redução do diâmetro do colmo quando a salinidade da água de

irrigação foi superior a $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ e quando a salinidade chegou a $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, houve redução da altura das plantas, assim como redução do número de folhas e área foliar.

Ferreira et al. (2007) concluíram que o aumento na salinidade média do solo ao longo do ciclo da cultura interferiu negativamente no consumo de água das plantas de milho. Verificaram também um declínio da evapotranspiração da cultura superior a 37 mm por incremento unitário da condutividade elétrica da solução do solo, o qual está associado à redução progressiva do componente osmótico do potencial total da água no solo.

O estresse salino pode interferir nos teores de macronutrientes nas folhas, podendo reduzir os teores de nutrientes essenciais e elevar os de elementos potencialmente tóxicos em plantas de milho. O aumento dos níveis de salinidade do solo decorrente da irrigação com água salina pode afetar negativamente os teores de cálcio, magnésio e potássio e elevar os teores de sódio nas folhas de milho ao longo do ciclo da cultura refletindo em desequilíbrio nutricional consequência do estresse salino progressivo (Garcial et al., 2007).

2.5 Uso cíclico de água salina na irrigação

Há partes do mundo, como as regiões áridas e semi áridas, que têm reservas limitadas de água de boa qualidade, e por isso é desejável elaborar estratégias para se irrigar com águas que contêm altas concentrações de sal. O manejo correto da água de irrigação, a seleção adequada das culturas, sempre levando em consideração as chuvas e o clima, a adoção de uma fração de lixiviação para controle da salinidade do solo e drenagem são parte dessas estratégias (Flowers et al., 2005).

A produção de culturas irrigadas com água salina pode ser substancialmente aumentada, se uma fonte adicional de água de boa qualidade for usada em momentos críticos durante o período de cultivo. Uma outra alternativa seria usar a água de boa qualidade numa mistura com água salina (Flowers et al., 2005).

Para Murtaza et al. (2006) o uso alternado de água de boa qualidade com água salina na irrigação, não reduz os efeitos nocivos desta última sobre a produção de matéria seca, eles recomendam a utilização de gesso e adubo para tal fim. Todavia, os efeitos dos íons tóxicos como o sódio e cloreto, são minimizados com o uso alternado da água.

Malash et al. (2005), utilizando duas fontes de água na irrigação do tomateiro, água com condutividade elétrica de $0,55 \text{ dS m}^{-1}$ e água de drenagem (CE 4,2-4,8 dS m^{-1}), verificaram que independente do tipo de método de irrigação, seja por gotejamento ou sulco, o uso das águas de forma misturada proporcionou maiores crescimento e produtividade. Dessa forma, os maiores rendimentos foram alcançados quando se utilizou a mistura de águas na proporção de 60% de água doce com 40% de água salina.

Segundo Lacerda et al. (2009), a irrigação com água salina na germinação e na fase inicial de crescimento do feijão-caupi reduz a eficiência de utilização da maioria dos nutrientes, considerando-se a produtividade de grãos. No entanto, a estratégia de uso de água salina após os estádios iniciais de desenvolvimento, pode contribuir para a obtenção de colheitas rentáveis e para diminuir o consumo de água de boa qualidade, devendo-se levar em consideração a maior sensibilidade da cultura na fase inicial do seu desenvolvimento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento e condições edafoclimáticas

O experimento foi conduzido em condições de campo em duas etapas, ambas realizadas durante a estação seca. A primeira entre os anos de 2008 e 2009, no período de outubro a janeiro, e a segunda entre os anos de 2009 e 2010, também entre os meses de outubro e janeiro. A pesquisa foi realizada na área de experimentação do Laboratório de Hidráulica e Irrigação, no Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará, no município de Fortaleza (3°45'S; 38° 33'W e altitude de 19m em relação ao nível do mar), Ceará.

Segundo a classificação de Köppen, a área do experimento está localizada numa região de clima do tipo Aw' (clima tropical com estação chuvosa no verão-outono). Os dados meteorológicos fornecidos pela Estação Agrometeorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará durante a realização dos experimentos foram os seguintes: temperatura média do ar, 27,8°C, precipitação, 23,1 mm, umidade relativa média, 71,5%, velocidade média do vento, 3,8 m s⁻¹ e evapotranspiração do tanque Classe A, 792,8 mm, para o primeiro experimento, e temperatura média do ar, 27,5°C, precipitação, 74 mm, umidade relativa média, 72,8%, velocidade média do vento, 3,9 m s⁻¹ e evapotranspiração do tanque Classe A, 762,7 mm, para o segundo experimento. Os dados supracitados referem-se ao período de 90 dias em que cada experimento foi conduzido (Tabela 1).

O solo é do tipo Argissolo Vermelho Amarelo, cujas principais características físicas e químicas são apresentadas na Tabela 2.

No mês de maio de 2008 foi realizada aplicação de calcário agrícola na área, sendo a dose equivalente a 2,0 Mg ha⁻¹, incorporado com uma aração e uma gradagem. Os sulcos foram nivelados e fechados, de modo que cada um tinha três metros de comprimento.

Tabela 1 - Média de temperatura (T), umidade relativa (UR), velocidade do vento (V), insolação, precipitação (PPT) e evapotranspiração do tanque Classe A (ECA) obtidos durante os períodos de cultivo nas estações secas de 2008-2009 e 2009-2010

Mês	T (°C)	UR (%)	v (m.s ⁻¹)	Insolação (horas)	PPT (mm)	ECA (mm)
Out/2008	27,7	69	4,5	222,9	0,0	202,7
Nov/2008	27,8	71	4,2	310,1	9,0	258,8
Dez/2008	27,9	70	3,3	304,8	14,1	253,5
Jan/2009	27,7	76	3,2	240,7	0,0	77,8
Out/2009	27,3	69	4,0	324,2	2,0	222,5
Nov/2009	27,6	70	4,5	317,8	5,2	267,1
Dez/2009	27,8	75	3,5	257,7	40,5	231,1
Jan/2010	27,5	77	3,4	88,5	26,3	42

Fonte: Estação meteorológica da Universidade Federal do Ceará-UFC.

Tabela 2. Características físicas e químicas do solo da área experimental.

Característica	Profundidade (m)		
	0 a 0,30	0,30 a 0,60	0,60 a 0,90
Classe Textural	Franco arenosa	Franco argilo arenosa	Franco argilo arenosa
Dens. Solo (kg dm ⁻³)	1,40	1,41	1,29
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	8,00	10,00	11,00
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	8,00	8,00	9,50
K ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0,90	0,90	0,60
Na ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	2,20	3,60	3,70
H ⁺ + Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	19,80	23,10	25,50
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	3,50	6,00	4,60
pH em água (1:2,5)	5,40	5,20	5,00
CE (dS m ⁻¹)	0,20	0,25	0,29
PST (%)	6	8	8

3.2. Material vegetal

Foram utilizadas sementes do híbrido de milho AG 1051 adquiridas no mercado local. O espaçamento utilizado foi 0,7 x 0,2 m, com uma planta por cova. Foram realizadas capinas manuais e o controle preventivo de pragas e doenças. Aplicaram-se 90, 90 e 60 kg ha⁻¹, de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, conforme recomendação de Fernandes (1993) utilizando-se uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio. A dose de N foi dividida em três partes iguais e aplicadas no plantio, aos vinte e cinco e aos quarenta dias após o plantio (DAP), o P foi aplicado todo na

fundação, enquanto a dose de K foi dividida em duas parcelas, uma na fundação e a outra em cobertura aos 25 DAP.

3.3. Tratamento e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi blocos completos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela tinha as dimensões de 3 x 3,5 m, com 5 fileiras de 3 m de comprimento cada uma. Foram utilizadas três fontes de água para a irrigação: água de baixa salinidade, oriunda de um poço localizado na área do experimento, com CEa em torno de 0,8 dS m⁻¹ (A1), água salina com CEa em torno de 2,5 dS m⁻¹ (A2) e água salina com CEa em torno de 5,0 dS m⁻¹ (A3). Para o preparo das soluções salinas (A2 e A3), foram utilizados os sais de NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O, na proporção de 7:2:1, obedecendo-se à relação entre CEa e sua concentração (mmolc L⁻¹ = CE x 10), conforme Rhoades et al. (1992).

Foram utilizados tratamentos estruturados conforme descrição abaixo:

T1: Água de baixa salinidade (A1), durante todo o ciclo;

T2: Água com CE de 2,5 dS m⁻¹ (A2), durante todo o ciclo;

T3: Uso cíclico de A1 e A2 (irrigações alternadas, iniciando com 6 irrigações com A1 na semeadura, seguidas de 6 irrigações com A2), durante o ciclo da cultura;

T4: Uso cíclico de A2 e A1 (irrigações alternadas, iniciando com 6 irrigações com A2 na semeadura, seguidas de 6 irrigações com A1), durante o ciclo da cultura;

T5: Água com CE de 5 dS m⁻¹ (A3), durante todo o ciclo;

T6: Uso cíclico de A1 e A3 (irrigações alternadas, iniciando com 6 irrigações com A1 na semeadura, seguidas de 6 irrigações com A3), durante o ciclo da cultura;

T7: Uso cíclico de A3 e A1 (irrigações alternadas, iniciando com 6 irrigações com A3 na semeadura, seguidas de 6 irrigações com A1), durante o ciclo da cultura.

3.4. Manejo da irrigação

Cada parcela foi irrigada com o respectivo tratamento três dias antes da semeadura. A água foi aplicada em sulcos nivelados e fechados e as lâminas de irrigação foram definidas com base nos valores da evapotranspiração de referência (ET_o) obtidos através do método do tanque classe A e dos coeficientes da cultura (K_c).

Para evitar o acúmulo excessivo de sais, a água de irrigação foi aplicada em quantidade acima da necessária pela cultura, constituindo uma fração de lixiviação de 0,15 (Ayers & Westcot, 1999). A quantidade de água aplicada via irrigação foi calculada a partir da seguinte equação:

$$L = \frac{ET_o \times K_c \times K_p \times A}{0,85}$$

Onde: L, volume em litros de água por sulco; ET_o , evapotranspiração de referência (mm); K_c , Coeficiente da cultura para cada fase fenológica; K_p , coeficiente do tanque classe A; A, área em m^2 do sulco; 0,85, referente à fração de lixiviação de 0,15.

A irrigação foi feita individualmente (sulco a sulco) com o auxílio de hidrômetros. As águas salinas foram preparadas em caixas d'água de 1000 L.

A irrigação foi realizada obedecendo a um turno de rega de três dias. A ocorrência de chuvas e demais dados meteorológicos foram obtidos da Estação Meteorológica localizada no Campus do Pici. As lâminas totais aplicadas e a contribuição de cada fonte de água foram contabilizadas e analisadas ao final do ciclo da cultura.

3.5. Produção de matéria seca, produtividade e eficiência no uso da água

Ao final de cada cultivo, que se deu aos 90 DAP, foram realizadas medições da altura das plantas e do diâmetro dos colmos. Na mesma ocasião, quinze plantas da parcela útil (fileiras centrais) foram coletadas para avaliação da produção de matéria seca das diversas partes da planta, da produtividade e do peso de mil grãos. O peso de mil grãos seguiu a metodologia descrita nas Regras para Análises de Sementes – RAS (Brasil, 1992). Com os dados de produção de matéria seca foram calculadas as percentagens particionadas entre os órgãos vegetativos e reprodutivos e o índice de tolerância à salinidade (IT), comparando-se os dados dos tratamentos salinos com os do controle ($CEa = 0,8 \text{ dS m}^{-1}$), de acordo com a seguinte fórmula:

$$IT = \frac{PTS}{PTC} \times 100$$

Onde: PTS é a produção no tratamento salino e PTC é a produção no tratamento controle.

Nos cálculos desses índices utilizaram-se a matéria seca total da planta e a produtividade, sendo os valores expressos em kg ha⁻¹.

As eficiências de uso de água foram calculadas relacionando a produção primária (matéria seca total) e a lâmina total aplicada (EUA_P), e a produção de grãos e a lâmina total de água (EUA_{GR}), sendo expressas em kg de matéria seca produzida/mm de água aplicada.

3.6. Análise de crescimento

Ao longo da condução do segundo experimento, ao final de cada ciclo de irrigação, ou seja, após 6 irrigações com cada tipo de água (a cada 18 dias), foi realizado o acompanhamento da área foliar, índice de área foliar (IAF), taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE). Em cada avaliação foram coletadas três plantas da área útil de cada repetição, medindo-se inicialmente a área com um medidor de superfícies foliares (Licor 3000). Em seguida, a parte aérea das plantas foi separada em colmos + bainhas, limbos foliares e restos (tecidos mortos). As partes coletadas foram colocadas para secagem em estufa a 60° C com circulação forçada de ar, até o peso constante, para obtenção da matéria seca.

O IAF foi obtido relacionado a área foliar das plantas e a área ocupada pelas mesmas no terreno. A taxa de crescimento absoluto (TCA) (g dia⁻¹), taxa de crescimento relativo (TCR) (g g⁻¹ dia⁻¹), taxa de assimilação líquida (TAL) (g dm⁻² dia⁻¹), razão de área foliar (RAF) (dm² g) e área foliar específica (AFE) (dm² g⁻¹) foram calculadas como segue:

$$TCA = \frac{MSf - MSi}{t}$$

$$TCR = \frac{LnP_2 - LnP_1}{t_2 - t_1}$$

$$TAL = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \times \frac{LnA_2 - LnA_1}{A_2 - A_1}$$

$$RAF = \frac{AF}{MS_f}$$

$$AFE = \frac{AF}{MS_{folhas}}$$

onde: MS_i é matéria seca total inicial (g), MS_f é matéria seca total final (g), MS_{folha} é a massa seca das folhas (g), AF é área foliar (dm^2) e t é o intervalo de tempo entre as amostragens em dias.

3.7. Teores de minerais nos tecidos

Amostras de partes vegetativas (colmos, folhas e bainhas), coletadas ao final do segundo cultivo, foram utilizadas para avaliar os teores de minerais nos tecidos. As amostras, após secagem em estufa a $60^\circ C$ com circulação forçada de ar, até o peso constante, foram finamente moídas em moinho tipo Wiley e utilizadas para determinação dos teores de Na, K, Ca e Cl.

Para determinação dos teores de Na, Ca e K, preparou-se um extrato utilizando 500 mg do pó moído diluído em 25 mL de HNO_3 1N, e em seguida agitado por 60 minutos e filtrado, utilizando-se papel de filtro de filtração rápida (Miyazawa et al., 1984). Os teores de Na^+ , Ca^{++} e K^+ foram determinados através de fotometria de chama (Malavolta et al., 1997).

Para a determinação do 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 $Hg(SCN)_2$ 13,2 mM, em metanol, e de $Fe(NO_3)_3$ 20,2% (4 + 1), lendo-se a absorbância a 460 nm após 15 minutos. Os teores de Cl^- foram determinados por meio de uma curva de calibração, utilizando-se o NaCl como padrão, preparada nas condições anteriores. Cada repetição foi dosada por uma amostra simples, sem replicação.

3.8. Análises de solo

Ao final de cada cultivo, foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0 a 30, 30 a 60 e 60 a 90 cm. As amostras de solo foram utilizadas nas determinações da condutividade elétrica em suspensão de solo disperso em água na proporção 1:1.

3.9. Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey com $P < 0,05$, utilizando-se como ferramenta de apoio o programa SAEG/UFV.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Acúmulo de sais no solo, produção e partição de matéria seca, produtividade e eficiência no uso da água nos dois ciclos de produção

A evolução da salinidade do solo a partir dos valores de condutividade elétrica, nos dois experimentos, nas diferentes profundidades e tratamentos, encontra-se na Figura 1. No ciclo de 2008-2009 verificou-se, de modo geral, aumento da salinidade do solo em praticamente todos os tratamentos com uso de água salina, em relação à irrigação com água do poço, especialmente na camada de 30 a 60 cm, sendo que os maiores valores na camada superficial (0 a 30 cm) foram observados no tratamento com uso contínuo de água de elevada salinidade (T5). No ano de 2009-2010 verificou-se a mesma tendência, sendo que as diferenças entre os tratamentos com uso de água de 2,5 e 5,0 dS m⁻¹ foram mais nítidas. Comparando-se os valores obtidos ao final dos dois ciclos verifica-se que não ocorreram muitas diferenças em termos dos valores de condutividade elétrica dos diferentes tratamentos, o que é um indicativo de que a estação chuvosa do ano de 2009 deve ter promovido a lixiviação da maior parte dos sais, conforme observações de outros autores (Assis Júnior et al. 2007; Neves et al., 2009; Bezerra et al., 2010).

Comparando-se o uso contínuo de água salina com o uso cíclico, verificou-se, nos dois ciclos, reduções no acúmulo de sais no solo, considerando a média das três camadas avaliadas, notadamente no tratamento T4, em relação ao T2, e nos tratamentos T6 e T7, em relação ao T5 (Figura 1). Isso é consequência das características de drenabilidade do solo e um indicativo de que o uso da fração de lixiviação de 0,15 (Ayers & Westcot, 1999), associada ao uso cíclico da água, reduziu o teor de sais solúveis no perfil do solo. A ocorrência de chuvas nos dias que antecederam a coleta de solo pode ter contribuído, também, para a lixiviação dos sais em janeiro de 2010.

O padrão de acumulação de sais segue uma tendência coerente com a salinidade da água de irrigação (melhor observada no segundo ano), todavia nunca com valores de condutividade elétrica iguais aos desta última. As maiores lixiviações

ocorreram, no primeiro ano, nos tratamentos 2, 3, 5 e 7, apresentando estes, na segunda profundidade, valores de CE maiores que 1 dS m^{-1} . No segundo ano, todavia, as maiores lixiviações ocorreram somente nos tratamentos que foram irrigados com os maiores níveis de sais. Esses resultados estão de acordo com os de Rhoades et al. (1992), ao afirmarem que a salinidade do solo resultante da água de irrigação, está relacionada principalmente ao seu teor de sais e à composição, assim como à quantidade da água aplicada e à fração de lixiviação realizada.

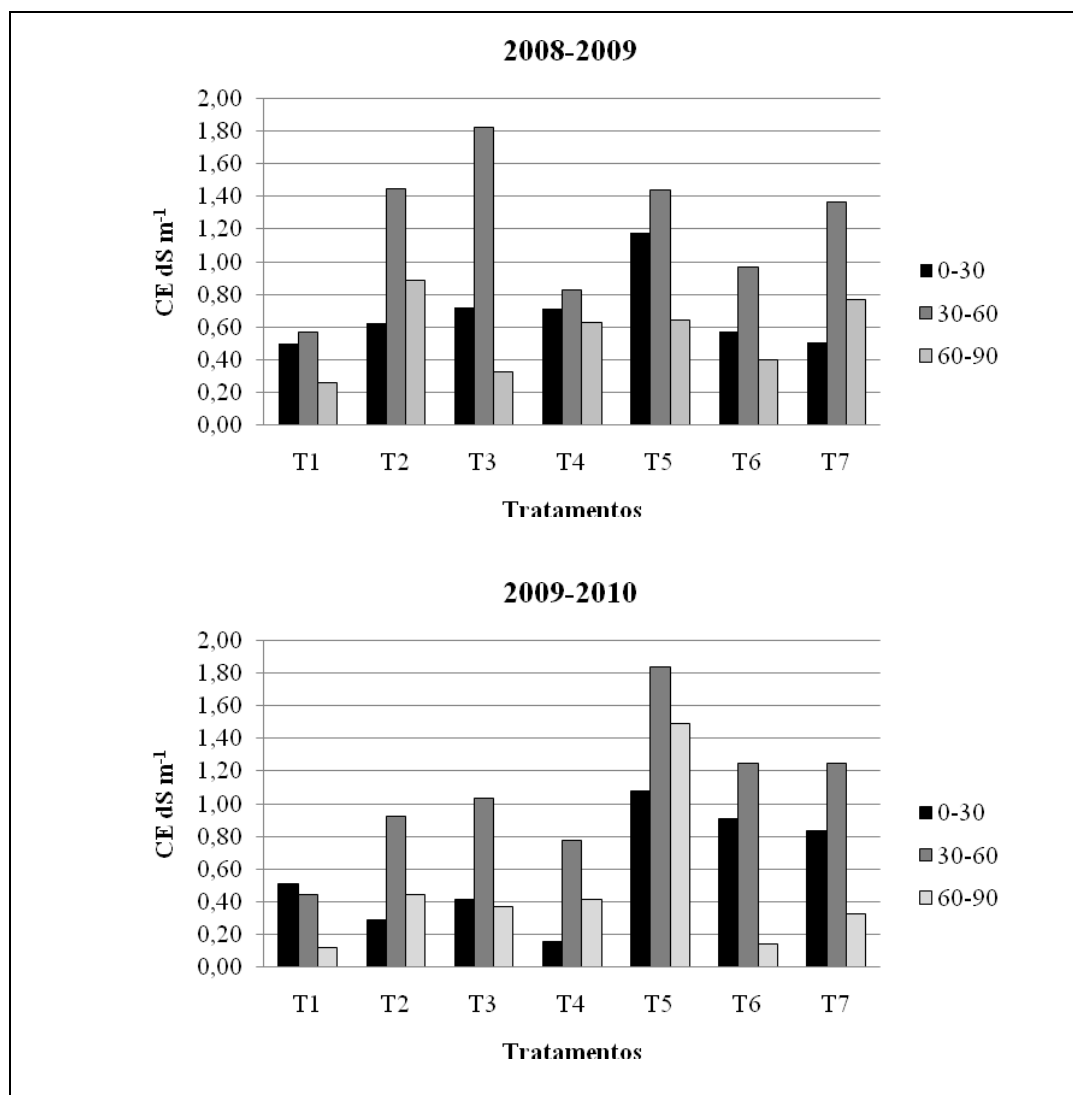


Figura 1. Condutividade elétrica do extrato solo/água (CE1:1) de amostras coletadas nas profundidades 0 a 30, 30 a 60 e 60 a 90 cm nos respectivos tratamentos, ao final dos cultivos do milho nos ensaios 2008-2009 e 2009-2010. T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

A Tabela 3 apresenta os quadrados médios para a produção de matéria seca dos experimentos realizados nos períodos de 2008-2009 e 2009-2010, respectivamente. É possível verificar que houve diferença significativa para a variável produtividade e peso de 1000 grãos no primeiro cultivo (2008-2009), sendo que os menores valores foram observados nas plantas que foram submetidas à irrigação com água salina com CE 5,0 dS m⁻¹ durante todo o ciclo (tratamento 5) ou na fase de germinação e crescimento inicial (tratamento 7) (Tabela 4). No segundo experimento (2009-2010) não foram verificados efeitos sobre a produtividade, embora tenham sido observadas reduções médias de 10 e 21% nos tratamentos 5 e 3, respectivamente, em relação ao tratamento com menor salinidade (T1). No segundo ciclo também se observou um fraco desenvolvimento vegetativo das plantas do tratamento 3, em relação aos demais. Portanto, é importante ressaltar os efeitos benéficos do uso cíclico de água de alta e baixa salinidade, notadamente no primeiro ciclo, indicando que essa estratégia reduz os efeitos osmóticos da salinidade sobre a cultura do milho.

Resultados obtidos por outros autores, tais como Santana et al. (2003), Jácome et al. (2003), Azevedo Neto & Tabosa (2000a), Izzo et al. (1991), demonstram redução gradativa da produtividade e crescimento das plantas quando submetidas ao estresse salino, concordando com os resultados da primeira etapa da tabela 4. Jácome et al. (2003), relataram redução do crescimento de genótipos de algodoeiro cultivados sob regime de irrigação com água com quantidades crescentes de sal. Os autores citam que o efeito mais comum da salinidade sobre as plantas, de maneira geral, é a limitação do crescimento, devido ao aumento da pressão osmótica do meio e à conseqüente redução da disponibilidade de água a ser consumida, afetando a divisão e o alongamento das células. Azevedo Neto & Tabosa (2000b) verificaram redução na produção de matéria seca da parte aérea de cultivares de milho quando submetidas a diferentes níveis de cloreto de sódio constantes na solução nutritiva utilizada no cultivo. Izzo et al. (1991) demonstraram que concentrações de 80 e 160 mol m⁻³ de NaCl na solução nutritiva induziram a uma diminuição da matéria seca da parte aérea das plantas. Amorim et al. (2005) também verificaram reduções na produção de matéria seca de milho cultivado em hidroponia com água salina, da mesma forma que Willadino et al. (1999) que verificaram reduções de até 50%.

Tabela 3. Quadrado médio e significância estatística para a produtividade (PROD), produção de matéria seca dos limbos foliares (MSFO), colmos + bainhas (MSCO), pendões (MSPEN), material morto (MSMM), matéria seca da parte aérea (MSPA) e peso de 1000 grãos (P1000) de plantas de milho, submetidas a regime de irrigação com diferentes tratamentos salinos aos 90 DAP nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.

Componentes de produção	Quadrados Médios			CV
	Tratamentos	Blocos	Resíduo	
Ciclo 2008/2009				
PROD	3897377,7*	3442617,31ns	1254019,15	14,04
MSFO	31,19ns	25,21ns	26,33	19,16
MSCO	43,30ns	74,37ns	56,7	19,45
MSPEN	0,04ns	0,24ns	0,21	14,41
MSMM	19,16ns	3,58ns	27,96	51,6
MSPA	1238,01ns	1488,91ns	763,14	14,49
P1000	1211,35**	1549,89**	304,98	6,86
Ciclo 2009/2010				
PROD	1645100,70ns	788564,86ns	770919	14,91
MSFO	47,39ns	51,29ns	28,81	10,64
MSCO	110,39ns	150,20ns	73,70	10,08
MSPEN	0,18**	0,01*	0,03	4,47
MSMM	4,71ns	2,57ns	2,14	25,10
MSPA	1170,23ns	1433,31*	485,89	6,27
P1000	745,08ns	1363,03*	388,19	8,84

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

Tabela 4. Comparação de médias para a produtividade (PROD), produção de matéria seca dos limbos foliares (MSFO), colmos + bainhas (MSCO), pendões (MSPEN), material morto (MSMM), matéria seca da parte aérea (MSPA) e peso de 1000 grãos (P1000) de plantas de milho, submetidas a regime de irrigação com diferentes tratamentos salinos aos 90 DAP nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.

Tratamentos	PROD	MSFO	MSCO	MSPEN	MSMM	MSPA	P1000
	(kg ha ⁻¹)	g planta ⁻¹					(g)
Ciclo 2008/2009							
T1 ²	8480,46 a ¹	23,54 a	37,86 a	3,15 a	14,55 a	197,83 a	255 ab
T2	8609,28 a	28,81 a	43,41 a	3,31 a	9,00 a	205,07 a	270 a
T3	8448,57 a	25,15 a	36,24 a	3,31 a	11,65 a	194,62 a	267 a
T4	8525,95 a	29,07 a	36,95 a	3,13 a	8,45 a	196,98 a	261 a
T5	6067,62 b	23,41 a	34,36 a	3,18 a	9,38 a	155,29 a	223 b
T6	8543,81 a	30,35 a	42,24 a	3,42 a	8,60 a	204,24 a	255 ab
T7	7139,05 ab	27,14 a	39,94 a	3,20 a	10,08 a	180,32 a	248 ab
Ciclo 2009/2010							
T1	5994,02 a	30,76 a	59,98 a	3,76 ab	5,68 a	181,45 ab	230 a
T2	6333,32 a	29,64 a	60,05 a	4,03 ab	7,16 a	184,56 ab	237 a
T3	4732,17 a	26,05 a	52,89 a	3,67 b	5,73 a	152,07 b	200 a
T4	5791,67 a	31,50 a	56,64 a	3,69 b	4,97 a	182,54 ab	224 a
T5	5452,40 a	33,15 a	56,26 a	4,09 ab	4,93 a	178,44 ab	214 a
T6	6648,82 a	35,97 a	64,72 a	4,15 ab	6,55 a	194,07 ab	226 a
T7	6267,85 a	32,28 a	66,00 a	4,22 a	6,36 a	200,53 a	228 a

¹Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey (P ≥ 0, 05). ²T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

O peso de mil grãos é uma informação que dá idéia do tamanho dos grãos, assim como de seu estado de maturidade e de sanidade (Brasil, 1992). No ensaio 2008-2009, houve diferença significativa para a variável analisada peso de mil grãos, onde os tratamentos T2, T3 e T4 apresentaram os maiores valores, não diferindo, por sua vez, dos tratamentos T1, T6 e T7 (Tabela 4). As plantas irrigadas durante todo o ciclo com água de elevada salinidade (T5: CE 5,0 dS m⁻¹), renderam grãos menores (baixo peso de mil grãos). Além do tratamento T5 ter diferido dos demais quanto à produtividade de grãos no primeiro experimento, houve redução da qualidade destes refletindo em um baixo peso de mil grãos. Nos tratamentos T6 e T7, o uso cíclico de água de alta salinidade com de baixa, associado ao uso da fração de lixiviação, podem ter contribuído para a redução da salinidade no nível do sistema radicular e assim, refletido no ganho de peso dos grãos visto que não diferiram dos demais tratamentos. De modo contrário, os resultados do experimento 2009-2010 mostram que não houve diferença significativa para a variável analisada (Tabela 3). Comparando-se as médias dos tratamentos nos dois experimentos observa-se que de um modo geral os valores dos pesos de mil grãos do primeiro experimento foram maiores que os do segundo (Tabela 4).

A distribuição percentual de matéria seca (Tabela 5) do ensaio 2008-2009 apresentou comportamento similar ao do ensaio 2009-2010, não apresentando diferença significativa para a maioria das variáveis, exceto para a variável percentual de matéria seca no pendão, que mostrou maiores valores nas parcelas que foram irrigadas com maiores teores de sal no decorrer do período de cultivo (Tabela 6). Em vista disso, de modo geral, pode-se inferir que os sais aplicados pela água às plantas não alteraram a proporção de matéria seca entre grãos, limbos, colmos, pendão e material morto, mostrando que, nas condições desse trabalho, a salinidade não altera a partição de fotoassimilados entre as diferentes partes das plantas. Esses resultados divergem das observações de Carmo et al. (2003), que verificaram reduções na matéria seca das folhas em plantas de bananeira com o aumento da salinidade. Assim como discordam com Jácome et al. (2003) que verificaram reduções no número de ramos e de folhas, na área foliar e na fitomassa dos ramos e caules de algodoeiro, que foram influenciados pelos níveis de sais. Blanco et al. (2005) relataram que a produção de grãos foi afetada para salinidades da água acima de 2,71 dS m⁻¹, com decréscimo de 32,7% para cada

aumento unitário de salinidade acima desse valor. A variável mais sensível aos sais foi a massa seca de folhas+haste, com redução de 14,1% para cada aumento unitário da CEa.

Tabela 5. Quadrado médio e significância estatística para a distribuição percentual de matéria seca das partes índice de colheita (IC), limbos foliares (FO), colmos + bainhas (CO), pendões (PEN) e material morto (MM) de plantas de milho, submetidas a regime de irrigação com diferentes tratamentos salinos aos 90 DAP nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.

Componentes de produção	Quadrados Médios			CV
	Tratamentos	Blocos	Resíduo	
Ciclo 2008/2009				
IC	27,88ns	13,22ns	12,76	6,14
FO	4,87ns	0,23*	3,63	13,54
CO	9,16ns	2,32ns	4,03	9,87
PEN	0,14*	0,03ns	0,03	11,12
MM	5,86ns	5,84ns	8,71	54,22
Ciclo 2009/2010				
IC	20,72ns	31,55ns	16,56	9,17
FO	4,92ns	8,89ns	4,92	12,82
CO	9,94ns	12,27ns	12,5	10,76
PEN	0,10ns	0,11ns	0,06	11,55
MM	1,05ns	1,89ns	1,92	42,08

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

Tabela 6. Comparação de médias para a distribuição percentual de matéria seca das partes índice de colheita (IC), limbos foliares (FO), colmos + bainhas (CO), pendões (PEN) e material morto (MM) de plantas de milho, submetidas a regime de irrigação com diferentes tratamentos salinos aos 90 DAP nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.

Tratamentos	Partição de Matéria Seca (%)				
	IC	PEN	FO	CO	MM
Ciclo 2008/2009					
T1 ³	60,0 (118,7) ² a ¹	1,6 b	11,9 a	19,1 a	7,4 a
T2	58,8 (120,5) a	1,6 b	14,0 a	21,2 a	4,4 a
T3	60,8 (118,3) a	1,7 ab	12,9 a	18,6 a	6,0 a
T4	60,6 (119,4) a	1,6 b	14,8 a	18,8 a	4,3 a
T5	54,7 (84,9) a	2,1 a	15,1 a	22,1 a	6,0 a
T6	58,6 (119,6) a	1,7 ab	14,9 a	20,7 a	4,2 a
T7	55,4 (99,9) a	1,8 ab	15,1 a	22,2 a	5,6 a
Ciclo 2009/2010					
T1	44,7 (81,3) a	2,1 a	17,0 a	33,1 a	3,1 a
T2	45,3 (83,7) a	2,2 a	16,3 a	32,4 a	3,8 a
T3	41,4 (63,7) a	2,4 a	17,2 a	35,1 a	3,8 a
T4	46,8 (85,7) a	2,0 a	17,3 a	31,1 a	2,7 a
T5	44,8 (80,0) a	2,3 a	18,8 a	31,3 a	2,7 a
T6	41,6 (82,7) a	2,2 a	18,4 a	34,1 a	3,7 a
T7	45,7 (91,7) a	2,1 a	16,1 a	32,9 a	2,2 a

¹Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey (P ≥ 0, 05). ²Os valores entre parênteses correspondem às produções de matéria seca, em grama por planta. ³T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

Na Tabela 7 verifica-se que houve diferença estatística quanto ao índice de tolerância à salinidade para o experimento realizado entre 2008 e 2009. A salinidade aplicada via água de irrigação (T5) reduziu a produção de grãos mostrada anteriormente na Tabela 3 e confirmada nesta. Comparado ao controle, houve uma redução de mais de 25% na produção de grãos no Tratamento 5 (Tabela 8). Esse resultado difere do obtido no experimento 2009-2010, todavia concorda com a maioria dos trabalhos encontrados na literatura, que afirmam que a salinidade reduz a produção de matéria seca das plantas submetidas a estresse salino.

Alencar et al. (2003), concluíram que a produção de fitomassa de melão tende a zero quando submetido a salinidade excessiva. Lacerda et al. (2003), verificaram que concentrações mais elevadas de NaCl causaram redução no crescimento das plantas de sorgo. Aquino et al. (2007), também concluíram que a salinidade reduziu a produção de matéria seca e a área foliar de dois genótipos de sorgo avaliados.

Tabela 7. Quadrados médios para índices de tolerância à salinidade considerando a produção de grãos (ITGr), matéria seca vegetativa (ITVEG) e matéria seca total (ITTot) em plantas de milho nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.

Componentes de produção	Quadrados Médios			CV
	Tratamentos	Blocos	Resíduo	
Ciclo 2008/2009				
ITGr	573,74*	3734,86**	211,92	14,88
ITVeg	212,61ns	8563,23**	565,95	28,67
ITTot	355,56ns	5110,25**	273,83	16,4
Ciclo 2009/2010				
ITGr	480,55ns	331,40ns	323,62	17,22
ITVeg	281,94ns	229,13ns	118,59	10,59
ITTot	343,52ns	392,13ns	146,42	11,87

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

Blanco et al. (2008), concluíram que o peso seco de todas as partes do plantas de milho, bem como a evapotranspiração e a eficiência do uso da água foram reduzidos pela salinidade, da mesma forma que o rendimento de grãos diminuiu 21 e 20% para cada aumento de uma unidade de CEa e condutividade elétrica da solução do solo (CEs) acima dos valores de 1,7 e 4,3 dS m⁻¹, respectivamente. Marinho et al. (1998) verificaram que o crescimento e desenvolvimento do abacaxizeiro cv. Smooth Cayenne são afetados com o aumento da concentração salina na água de irrigação, com efeitos mais drásticos a partir de 4 dS m⁻¹. Os autores verificaram também que o aumento da concentração salina na água de irrigação provoca redução na área foliar das plantas de

pouco menos que 15% a mais que 25% quando a salinidade da água aumenta de 1 para 4 dS m⁻¹.

Ferreira et al. (2007), verificaram que a produção relativa da variedade de milho UFVM 100 decresceu consideravelmente quando submetida a CEes além da salinidade limiar de 1,20 dS m⁻¹. De acordo com a metodologia empregada pelos autores, a variedade de milho UFVM 100 mostrou-se sensível à salinidade, enquanto Ayers & Westcot (1991) classificam o milho como sendo moderadamente sensível. Esses resultados, segundo os autores, evidenciam que a resposta da cultura à salinidade varia, consideravelmente, devido às condições ambientais e às características biológicas inerentes ao cultivar.

Tabela 8. Comparação de médias para índices de tolerância à salinidade considerando a produção de grãos (ITGr), matéria seca vegetativa (ITVeg) e matéria seca total (ITTot) em plantas de milho nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.

Tratamentos	ITGr	ITVeg	ITTot
Ciclo 2008/2009			
T1 ²	100,00 a ¹	100,00 a	100,00 a
T2	101,52 a	111,29 a	106,99 a
T3	99,62 a	106,86 a	104,65 a
T4	100,54 a	108,48 a	106,16 a
T5	71,55 b	95,20 a	82,63 a
T6	100,75 a	117,47 a	110,34 a
T7	84,18 b	105,17 a	95,37 a
Ciclo 2009/2010			
T1	100,00 a	100,00 a	100,00 a
T2	105,66 a	100,47 a	102,39 a
T3	78,95 a	88,34 a	84,27 a
T4	96,62 a	97,03 a	101,08 a
T5	90,96 a	98,64 a	99,55 a
T6	110,92 a	111,10 a	106,53 a
T7	104,57 a	108,40 a	110,88 a

¹Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente, pelo teste de Dunnett (P ≥ 0, 05). ²T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

Da mesma forma ao observado no ensaio 2008-2009, não foi verificada diferença significativa para as variáveis altura de planta e diâmetro do colmo das plantas de milho submetidas à irrigação com água salina no período 2009-2010 (Tabelas 9 e 10). De modo contrário, Aquino et al. (2007) verificaram redução da altura das plantas e do diâmetro dos colmos de plantas de sorgo também submetidas à irrigação com água salina, e segundo os autores, essa redução evidencia a maior susceptibilidade da planta ao estresse salino. Carmo et al. (2003) concluíram que o crescimento das bananeiras

Pacovan e Marmelo foi afetado significativamente pelos níveis de salinidade, verificando-se reduções nas variáveis estudadas (altura, diâmetro do pseudocaule e área foliar).

Tabela 9. Quadrados médios das alturas da plantas e diâmetros dos colmos de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades e de modo cíclico aos 90 DAP nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.

Componentes de produção	Quadrados Médios			CV
	Tratamentos	Blocos	Resíduo	
Ciclo 2008/2009				
Altura	121,62ns	102,97ns	247,9	11,34
Diâmetro	1,07ns	4,48ns	2,13	6,9
Ciclo 2009/2010				
Altura	67,78ns	126,69ns	64,06	5,12
Diâmetro	1,20ns	0,89ns	0,5	3,39

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

Jácome et al. (2003), constataram que a altura das plantas de todos os genótipos de algodão, quando submetidos à análise de regressão, tiveram um comportamento linear negativo, ou seja, diminuíram seus valores à medida que aumentou a concentração salina. Amorim et al. (2005) verificaram que o uso de água dessalinizada com CE em torno de 0,08 dS m⁻¹ e de água de abastecimento urbano (0,8 dS m⁻¹), proporcionou uma maior produção de forragem hidropônica de milho, que diminuiu com o aumento da salinidade, assim como sua altura. Os autores utilizaram, além dos tipos de águas citados, águas com CE iguais a 3,5 e 6,5 dS m⁻¹.

Tabela 10. Comparação de médias da altura das plantas e diâmetro dos colmos de plantas de milho submetidas a regime de irrigação com diferentes tratamentos salinos aos 90 DAP nos experimentos realizados nos períodos 2008-2009 e 2009-2010.

Tratamentos	Ciclo 2008/2009		Ciclo 2009/2010	
	Altura da planta (cm)	Diâmetro do colmo (mm)	Altura da planta (cm)	Diâmetro do colmo (mm)
T1 ²	137,72 a ¹	20,63 a	155,46 a	20,52 a
T2	141,70 a	21,62 a	154,52 a	20,65 a
T3	139,73 a	20,59 a	154,70 a	20,30 a
T4	140,77 a	21,42 a	159,94 a	21,24 a
T5	127,48 a	20,75 a	150,28 a	21,52 a
T6	145,12 a	21,90 a	158,02 a	21,39 a
T7	139,15 a	21,08 a	161,04 a	21,35 a

¹Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey (P ≥ 0, 05). ²T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

Na Tabela 11 é possível verificar que não houve diferença significativa para a eficiência no uso da água tanto no que se refere à produção de matéria seca total quanto

para à produção de grãos por hectare, para ambos os anos de cultivo. Dessa forma pode-se inferir que a lâmina aplicada, seja com água de boa qualidade (água do poço com CE 0,8 dS m⁻¹) ou com teor salino de 2,5 ou 5,0 dS m⁻¹ (Tabela 12) não promovem, nas condições desses experimentos, reduções na eficiência no uso da água das plantas do milho AG1051.

Tabela 11. Quadrados médios para eficiência no uso de água para produção de matéria seca total (EUAs) e para produção de grãos (EUAgr) de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades e de modo cíclico aos 90 DAP nos experimentos 2008-2009 e 2009-2010.

Fonte de Variação	GL	Ciclo 2008/2009		Ciclo 2009/2010	
		EUAs	EUAgr	EUAs	EUAgr
		QM			
Blocos	3	13,01ns	7,13ns	14,51*	8,11ns
Tratamento	6	16,11ns	7,84ns	10,09ns	5,79ns
Resíduo	18	13,36	5,2	4,22	3,28
CV(%)		15,83	16,85	12,39	17,85

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$); ns não significativo ($p \geq .05$).

Analisando-se a Tabela 12 verifica-se um aspecto importante do ponto de vista de economia de água de boa qualidade. Comparando-se o tratamento T1 (irrigação com água do poço) com o T6 (uso de água de elevada salinidade de forma cíclica), percebe-se, notadamente no ano de 2008, uma substituição de cerca de 47% da água de baixa salinidade pela de alta salinidade (5,0 dS m⁻¹), sem comprometimento na produtividade da cultura (Tabelas 3 e 8) e com menores impactos sobre o acúmulo de sais no solo (Figura 1). Isso demonstra a eficiência dessa estratégia de uso de águas de diferentes qualidades (Murtaza et al., 2006), levando em conta a maior sensibilidade da cultura na fase de germinação e crescimento inicial.

Tabela 12. Lâminas totais aplicadas (mm) de cada tipo de água por seu respectivo tratamento, durante os períodos de cultivo 2008-2009 e 2009-2010 de plantas de milho.

Tratamentos	Ciclo 2008/2009			Ciclo 2009/2010		
	dS m ⁻¹					
	0,8	2,5	5,0	0,8	2,5	5,0
T1	589,5(100) ¹	--	--	571,8(100)	--	--
T2	--	589,5(100)	--	--	571,8(100)	--
T3	315,7(53,55)	273,8(46,45)	--	301,5(52,73)	270,3(47,27)	--
T4	273,8(46,45)	315,7(53,55)	--	270,3(47,27)	301,5(52,73)	--
T5	--	--	589,5(100)	--	--	571,8(100)
T6	315,7(53,55)	--	273,8(46,45)	301,5(52,73)	--	270,3(47,27)
T7	273,8(46,45)	--	315,7(53,55)	270,3(47,27)	--	301,5(52,73)

¹. Os valores entre parênteses referem-se aos percentuais de utilização de cada tipo de água em cada tratamento. ²T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

4.2. Desenvolvimento da cultura no ciclo 2

A análise do crescimento foliar medido aos 18, 36, 54, 72 e 90 DAP mostra que houve diferença significativa somente no primeiro período de avaliação (Tabela 13). A comparação de médias para esse primeiro período de desenvolvimento mostrou que as plantas sofreram com as irrigações com tratamentos salinos, sendo que as maiores reduções no crescimento foram verificadas nos tratamentos em que se aplicaram águas com maior salinidade na fase inicial de crescimento. As reduções nos tratamentos 5 e 7 foram de 33 e 46%, respectivamente. No entanto, com o decorrer do desenvolvimento das mesmas, houve uma rápida recuperação que ficou estatisticamente inalterada até o período final de desenvolvimento.

Os resultados aos 18 DAP são condizentes aos relatados por Azevedo Neto & Tabosa (2000a) que observaram redução da AF dos genótipos de milho estudados em função dos aumentos nas concentrações de cloreto de sódio na solução nutritiva. Carmo et al. (2003) verificaram também que a área foliar total das plantas de bananeiras foi significativamente afetada pela salinidade da água de irrigação. Alencar et al. (2003) também observaram reduções na área foliar em cultivares de melão amarelo submetidos a estresse salino. As reduções segundo os autores, foram de pouco mais de 16% por aumento unitário da condutividade elétrica.

Tabela 13 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para área foliar de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades e de modo contínuo ou cíclico aos 18, 36, 54, 72 e 90 DAP, no período 2009-2010.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		18DAP	36DAP	54DAP	72DAP	90DAP
Bloco	3	10506,35**	258122,78ns	116139,63*	147249,16ns	31367,22ns
Tratamento	6	5743,17*	92467,54ns	1963798,94ns	168012,74ns	29041,15ns
Resíduo	18	1692,49	283132,34	2074752,29	338177,00	13221,91
CV(%)		23,31	31,61	25,46	10,33	18,66

Tratamentos	Área Foliar (dm ² planta ⁻¹)				
T1¹	218,24 a	155,27	498,84	548,22	579,99
T2	200,57 ab	176,89	591,62	551,85	589,39
T3	185,93 ab	152,02	478,95	547,84	501,21
T4	177,69 ab	169,07	546,55	589,93	594,60
T5	145,86 ab	158,60	575,69	586,71	652,77
T6	188,82 ab	177,51	612,63	550,45	745,30
T7	118,28 b	188,83	656,41	562,79	649,76

**significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,05$); ns - não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). Médias

seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).
 1T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

Para Jácome et al. (2003), a redução da área foliar, com o aumento do nível salino da água de irrigação é provavelmente, um processo fisiológico de defesa das plantas, no qual elas procuram se proteger da perda de água, reduzindo sua superfície transpirante. Provavelmente, ainda segundo os autores, isso se deva ao potencial osmótico muito negativo da solução do solo, que afeta a disponibilidade de água para as plantas, dificultando a sua absorção e ocasionando uma menor pressão de turgor, além do efeito particular no alongamento celular.

O incremento da salinidade promovido pelos tratamentos aplicados, não produziu efeito significativo na razão de área foliar (RAF) nas plantas de milho avaliadas, indicando que o efeito do estresse salino na AF foi de mesma intensidade que na produção de MS (Tabela 14). Esses resultados são similares aos de Azevedo Neto & Tabosa (2000a). Os mesmos autores citam ainda que cultivares com RAF maior apresentam elevada transpiração, aumentando concomitantemente a demanda de água e a concentração de íons Na^+ e/ou Cl^- na parte aérea.

Tabela 14 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para razão de área foliar (RAF) de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades e de modo contínuo ou cíclico aos 18, 36, 54, 72 e 90 DAP, no período 2009-2010.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		18DAP	36DAP	54DAP	72DAP	90DAP
Bloco	3	19,40ns	0,88ns	1,42ns	0,46ns	2,39ns
Tratamento	6	16,83ns	3,82ns	2,81ns	0,22ns	2,24ns
Resíduo	18	7,09	2,24	2,57	0,21	1,11
CV(%)		11,60	16,70	20,29	7,77	22,21

Tratamentos	RAF ($\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$)				
T1¹	25,75	8,47	7,24	5,73	5,25
T2	24,84	8,96	7,62	6,02	4,70
T3	22,07	7,77	6,99	5,56	3,38
T4	23,40	8,46	8,71	5,99	4,86
T5	20,47	10,12	8,97	6,16	4,75
T6	22,03	8,93	8,19	6,12	5,48
T7	22,09	10,11	7,54	5,97	4,81

**significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,05$); ns - não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).¹ T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

Não houve diferença estatística para o parâmetro área foliar específica (AFE) (Tabela 15). A área foliar específica (AFE) expressa a razão entre área foliar e massa

seca da folha. É considerada um importante fator do ponto de vista fisiológico por descrever a alocação da biomassa da folha por unidade de área e está fortemente correlacionada com a capacidade de fixação de carbono, ao ponto de perda de turgor das folhas, um importante parâmetro de relações hídricas e a concentração foliar de nutrientes (Scalon & Franco, 2007). Em vista disso, verifica-se que os tratamentos, mesmo os de maior teor salino, não causaram danos a ponto de comprometer o rendimento das plantas.

Tabela 15 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para área foliar específica (AFE) de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades e de modo contínuo ou cíclico aos 18, 36, 54, 72 e 90 DAP, no período 2009-2010.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		18DAP	36DAP	54DAP	72DAP	90DAP
Bloco	3	19,40ns	0,89ns	11,08ns	6,36*	6,37*
Tratamento	6	16,83ns	3,82ns	14,00ns	2,23ns	2,24ns
Resíduo	18	7,09	2,24	13,85	1,59	1,60
CV(%)		11,60	16,70	19,42	6,43	6,40

Tratamentos	AFE (dm ² g ⁻¹)				
T1¹	25,75	8,47	20,70	18,99	18,97
T2	24,85	8,96	19,70	19,90	19,80
T3	22,07	7,77	18,03	19,25	19,35
T4	23,40	8,46	20,26	18,81	18,80
T5	20,47	10,12	20,31	19,66	20,01
T6	22,03	8,93	19,18	20,69	20,56
T7	22,09	10,11	15,95	20,13	20,15

**significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,05$); ns - não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).¹ T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

Na Tabela 16, a taxa de crescimento absoluto (TCA) não apresentou diferença significativa para os diversos tratamentos na maioria dos períodos de avaliação, com exceção para a avaliação realizada aos 54 DAP. A TCA como sendo a velocidade de crescimento em g dia⁻¹, somente reforça o que já foi descrito anteriormente, ou seja, não houve diferença entre os tratamentos no que se refere à produção de massa seca.

A taxa de crescimento relativo (TCR) representa o impulso de crescimento, ou seja, representa a quantidade de material vegetal produzido por determinada quantidade de material existente, durante um intervalo de tempo prefixado. No presente estudo, não foram observadas efeitos significativos da aplicação de água salina sobre a TCR (Tabela 17), resultados que diferem dos obtidos por Azevedo Neto & Tabosa (2000a) que relataram efeitos negativos da salinidade sobre a TCA e TCR da variedade de milho analisada.

Tabela 16 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para taxa de crescimento absoluto (TCA) de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades de modo contínuo ou cíclico aos 36, 54, 72 e 90 DAP, no período 2009-2010.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		36DAP	54DAP	72DAP	90DAP
Bloco	3	0,22ns	0,10ns	0,24ns	2,24ns
Tratamento	6	0,07ns	1,42*	1,57ns	2,12ns
Resíduo	18	0,31	0,54	0,89	1,66
CV(%)		52,89	25,63	67,06	62,07

Tratamentos	TCA (g dia ⁻¹)			
T1¹	1,05	2,68 ab	1,53	1,04
T2	1,14	3,29 ab	0,75	1,88
T3	1,10	2,40 ab	1,97	2,75
T4	1,21	2,25 b	2,04	1,42
T5	0,83	2,71 ab	1,71	2,54
T6	1,07	3,07 ab	1,24	2,52
T7	1,01	3,78 a	0,63	2,42

**significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,05$); ns - não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ($p < 0, 05$).¹ T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

Tabela 17 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para taxas de crescimento relativo (TCR) de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades e de modo contínuo ou cíclico aos 36, 54, 72 e 90 DAP, no período 2009-2010.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		36DAP	54DAP	72DAP	90DAP
Bloco	3	0,001ns	0,0002ns	0,00004ns	0,0002ns
Tratamento	6	0,0004ns	0,0003ns	0,0003ns	0,0001ns
Resíduo	18	0,0005	0,0004	0,0002	0,0001
CV(%)		13,36	27,64	74,21	62,71

Tratamentos	TCR (g g ⁻¹ dia ⁻¹)			
T1¹	0,17	0,07	0,02	0,01
T2	0,18	0,07	0,01	0,02
T3	0,17	0,07	0,03	0,02
T4	0,18	0,06	0,02	0,01
T5	0,17	0,08	0,02	0,02
T6	0,17	0,08	0,01	0,02
T7	0,20	0,09	0,01	0,02

**significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,05$); ns - não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ($p < 0, 05$).¹ T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

A taxa de assimilação líquida (TAL) também não apresentou diferença significativa nas diversas avaliações (Tabela 18). A TAL reflete a dimensão do sistema assimilador que está envolvido na produção de matéria seca, ou seja, é uma estimativa da fotossíntese líquida. A TAL depende de fatores ambientais, principalmente da

radiação solar. Devido ao efeito do auto-sombreamento, a TAL diminui com o aumento da área foliar e, conseqüentemente, durante o crescimento da cultura. Dessa forma, as taxas de fotossíntese líquida permaneceram inalteradas, indicando que o estresse salino não foi suficientemente alto para afetar a fotossíntese ou a atividade da clorofila.

Tabela 18 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para taxa de assimilação líquida (TAL) de plantas de milho irrigadas com águas de diferentes salinidades e de modo contínuo ou cíclico aos 36, 54, 72 e 90 DAP, no período 2009-2010.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		36DAP	54DAP	72DAP	90DAP
Bloco	3	0,004ns	0,00003ns	0,47ns	0,003ns
Tratamento	6	0,002ns	0,00003ns	0,048ns	0,003ns
Resíduo	18	0,007	0,00002	0,042	0,001
CV(%)		28,92	20,36	65,57	17,58

Tratamentos	TAL (g dm ⁻² dia ⁻¹)			
T1 ¹	0,29	0,02	0,34	0,19
T2	0,29	0,02	0,25	0,22
T3	0,30	0,03	0,52	0,27
T4	0,33	0,02	0,30	0,21
T5	0,26	0,02	0,28	0,22
T6	0,28	0,02	0,26	0,21
T7	0,29	0,02	0,25	0,22

**significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,05$); ns - não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). ¹) T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

4.3. Teores de íons na planta

Sódio

A maioria das espécies que utiliza as rotas C4 de fixação do carbono requer íons Na⁺. Nestas plantas, o sódio parece ser vital para a regeneração do fosfoenolpiruvato, substrato da primeira carboxilação nas rotas C4, além de estimular o crescimento por meio de uma maior expansão celular e, ainda, substituir parcialmente o potássio como um soluto osmoticamente ativo (Marschner, 2000). No entanto, sob condições salinas o Na pode se tornar um elemento potencialmente tóxico, afetando o metabolismo e o desenvolvimento das plantas.

No presente estudo, verificou-se que os sais aplicados via água de irrigação afetaram significativamente os teores de sódio nas partes das plantas de milho (Tabela 19). Os maiores teores de sódio nos limbos foliares, bainhas e colmos foram

encontrados quando se irrigou as plantas de milho durante todo o ciclo com água de alta salinidade (T5). No tratamento em que se utilizou água com CEa de 2,5 dS m⁻¹ continuamente e nos tratamentos com uso cíclico de água (3, 4, 6 e 7), os teores de Na não diferiram do tratamento em que se utilizou apenas água de baixa salinidade (T1) durante o ciclo da cultura. Esses resultados demonstram que o uso cíclico de águas de alta e baixa salinidade reduz o acúmulo de Na na parte aérea das plantas de milho, reduzindo assim a toxicidade por este íon nos sítios metabolicamente ativos das folhas. Isso indica que a aplicação alternada de água de baixa salinidade, contribui para lavar o excesso de sais contidos na zona radicular, favorecendo o desenvolvimento da cultura.

Tabela 19 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para os teores de sódio nos limbos, bainhas e colmos de plantas de milho cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, no período 2009-2010.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios		
		Limbos	Bainhas	Colmos
Bloco	3	425,71ns	612,32ns	12814,23ns
Tratamento	6	1034,4**	7193,0**	316389,71**
Resíduo	18	190,35	974,01	30522,59
CV(%)		19,2	74,09	81,87

Tratamentos	Sódio (mmol kg ⁻¹)		
T1¹	66,95 b ¹	19,04 b	27,31 b
T2	69,04 b	42,52 b	177,36 b
T3	65,04 b	21,13 b	52,26 b
T4	62,61 b	25,82 b	108,17 b
T5	104,08 a	126,35 a	753,83 a
T6	68,52 b	28,43 b	105,91 b
T7	66,60 b	31,57 b	268,96 b

**significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,05$); ns - não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).¹ T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

Comparando-se as partes da planta analisadas verifica-se que os teores de Na foram maiores nos tecidos dos colmos das plantas de milho, com valores extremos, aproximadamente sete vezes maiores aos observados nos limbos foliares. O aumento da concentração de sódio na parte aérea de plantas de milho cultivado em ambientes salinos tem sido estudado por vários pesquisadores. Semelhantemente ao observado neste trabalho Azevedo Neto & Tabosa (2000b); Azevedo Neto et al. (2004) observaram aumentos nos teores de sódio na parte aérea das plantas de milho cultivadas em condições de salinidade. Os maiores acúmulos de Na nos colmos foram observados também plantas de sorgo (Aquino et al., 2007) e, segundo esses autores, os maiores acúmulos de sódio nos colmos e bainhas, podem sugerir a existência de uma barreira

seletiva entre as raízes e a parte aérea, bem como a compartimentalização e o sequestro desses íons nessas estruturas.

Potássio

Os íons de potássio desempenham um importante papel na regulação do potencial osmótico das células vegetais, além de ativar muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese (Taiz & Zeiger, 2004). O potássio é o principal nutriente relacionado com funções osmóticas de plantas, podendo atingir concentrações relativamente altas no citoplasma sem afetar as reações metabólicas. Em geral, em ambientes salinos ricos em Na, observa-se redução nos teores de K, em função da competição entre esses dois cátions no processo de absorção radicular (Marschner, 1995). O estresse salino promove aumento no efluxo citossólico de potássio nas raízes das plantas, esta perda pode ser o resultado direto de trocas osmoticamente induzidas na permeabilidade do plasmalema, como também da substituição de cálcio por sódio na membrana, abrindo canais para o potássio (Azevedo Neto & Tabosa, 2000b). Acredita-se que sob condições de estresse salino, o melhor desempenho de certo genótipo, pode estar relacionado com sua melhor nutrição potássica (Colmer et al 1996).

No presente estudo, os teores de potássio nos limbos foliares de milho não foram afetados pelos sais contidos na água de irrigação (Tabela 20). Resultados semelhantes levaram Cramer et al. (1994) à conclusão de que a nutrição mineral do milho não está correlacionada com a tolerância ao sal e que a resposta do crescimento do milho à salinidade pode ser afetado principalmente por fatores osmóticos.

Diferentemente dos limbos foliares, verificou-se efeitos dos tratamentos salinos sobre os teores de K nas bainhas e nos colmos, porém as respostas não foram semelhantes para essas duas partes da planta (Tabela 20). Comparando-se ao tratamento com água do poço (T1) o emprego continuado de água de elevada salinidade ($5,0 \text{ dS m}^{-1}$) reduziu os teores de K nos colmos e aumentou nas bainhas. Estudos realizados por Azevedo Neto & Tabosa, (2000b) demonstraram, semelhantemente ao observado nos colmos, que o aumento da concentração de sódio do meio externo ocasiona a diminuição dos teores de potássio nos tecidos das plantas de milho, pois o aumento da concentração de sódio no meio radicular pode inibir a absorção de potássio devido à relação competitiva entre estes cátions monovalentes (Kawasaki et al., 1983). Por outro

lado, o aumento das concentrações de potássio na bainha em decorrência da sua diminuição no colmo nos tratamentos salinos pode ser um indicativo de um mecanismo de balanço nas concentrações de sódio e potássio para os limbos foliares, ou seja, em concentrações elevadas de íons tóxicos, uma maior quantidade de potássio seria translocada do colmo para a bainha e em seguida para as folhas (Aquino et al., 2007).

Tabela 20 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para os teores de potássio nos limbos, bainhas e colmos de plantas de milho cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, no período 2009-2010.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios		
		Limbos	Bainhas	Colmos
Bloco	3	832,82ns	5947,51ns	9888,78ns
Tratamento	6	1206,1ns	12351,9**	13925,6*
Resíduo	18	1600,6	3004,32	4676,34
CV(%)		10,48	14,95	11,32

Tratamentos	Potássio (mmol kg ⁻¹)		
T1¹	409,21	345,78 b	716,62 a
T2	382,61	378,52 ab	600,00 ab
T3	387,72	332,48 b	600,00 ab
T4	375,45	345,78 b	586,19 ab
T5	364,20	467,52 a	561,63 b
T6	365,22	377,49 ab	560,61 b
T7	387,72	318,16 b	604,60 ab

**significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,05$); ns - não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).¹ T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

Cálcio

A salinidade do solo afetou significativamente os teores de cálcio nos limbos foliares e nos colmos, porém não influenciou seus teores nas bainhas (Tabela 21). Os maiores teores de Ca foram observados nos tratamento em que se aplicou água salinas, especialmente onde se aplicou água com maior salinidade de forma contínua. Esse comportamento provavelmente se deve ao fato de que um dos sais constituintes da solução salina usada na irrigação era o cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que deve ter suprido a cultura com cálcio. Somado a isso, a calagem realizada antes da semeadura deve ter contribuído. Em contrapartida, a baixa CE da água usada no tratamento 1 (0,8 dS m^{-1}) pode ter lixiviado o cálcio para camadas mais profundas.

Esses resultados divergem dos publicados por outros autores que em seus estudos têm demonstrado que a salinidade diminui os teores de cálcio na parte aérea das plantas de milho (Cramer et al., 1994; Azevedo Neto & Tabosa 2000b). Segundo estes autores, o sódio desloca o cálcio do plasmalema das células radiculares, o que resulta em uma perda da integridade da membrana e efluxo citossólico de solutos orgânicos e inorgânicos. No entanto, esses autores utilizaram solução salina a base de NaCl somente, e não uma mistura de sais como a utilizada no presente estudo.

Tabela 21 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para os teores de cálcio nos limbos, bainhas e colmos de plantas de milho cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, no período 2009-2010.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios		
		Limbos	Bainhas	Colmos
Bloco	3	3258,93**	308,75ns	67,23**
Tratamento	6	1668,6**	590,7ns	193,3*
Resíduo	18	263,2	258,33	71,09
CV(%)		10,16	26,26	25,55

Tratamentos	Cálcio (mmol kg ⁻¹)		
T1¹	135,00 c	47,50	27,00 b
T2	167,00 abc	56,50	35,50 ab
T3	164,00 abc	56,50	29,00 ab
T4	137,00 bc	54,00	30,00 ab
T5	186,50 a	68,50	44,50 a
T6	169,00 ab	65,50	28,50 ab
T7	159,00 abc	80,00	36,50 ab

**significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,05$); ns - não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).¹ T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

As alterações nas membranas onde o cálcio é um íon estabilizante podem conduzir a uma sensibilidade maior da cultura ao estresse salino, haja vista a seletividade das membranas nos processos de absorção e compartimentação iônica (Azevedo Neto & Tabosa, 2000b). Trabalhos com plantas sob estresse salino têm demonstrado que a suplementação de cálcio reduz a acumulação de sódio e mantém os níveis de potássio e metabólicos fosfatados nos tecidos radiculares, além de reduzir as perdas de fósforo (Garcia et al., 2007).

Cloreto

A toxicidade mais freqüente é a provocada pelo cloreto contido na água de irrigação. O cloreto não é retido nem adsorvido pelas partículas do solo, em que se

desloca facilmente com água do solo, porém é absorvido pelas raízes e translocado às folhas, onde se acumula, pela transpiração (Ayers & Westcot, 1999). Isso está de acordo com os resultados obtidos no presente estudo que mostram efeitos significativos da aplicação de água salina nos teores de Cl^- nos limbos foliares, bainhas e colmos (Tabela 22). Nos limbos, o teor de cloreto no tratamento 3 não diferiu daquele encontrado no tratamento 1, comportamento esse repetido pelos demais tratamentos com exceção do tratamento 5 para bainha e colmo. Esse comportamento pode ser observado também nos demais íons analisados. Isso pode ser um indicativo de que o uso cíclico de água salina com águas de baixa salinidade nas condições desse trabalho é eficiente na lixiviação de íons tóxicos como o cloreto, reduzindo assim seus efeitos danosos.

Tabela 22 - Resumo da análise de variância e comparação de médias para os teores de cloreto nos limbos, bainhas e colmos de plantas de milho cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, no período 2009-2010.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios		
		Limbos	Bainhas	Colmos
Bloco	3	55,54ns	87,20ns	172,68ns
Tratamento	6	499,3**	1185,3**	452,0*
Resíduo	18	39,49	148,13	172,98
CV(%)		6,49	17,85	12,74

Tratamentos	Cloreto (mmol kg^{-1})		
T1 ¹	83,16 c	48,85 b	98,16 ab
T2	100,36 b	72,24 ab	107,42 ab
T3	89,83 bc	52,49 b	95,62 ab
T4	96,39 b	71,91 ab	99,59 ab
T5	115,53 a	95,95 a	122,20 a
T6	96,39 b	67,16 b	95,07 b
T7	96,01 b	68,71 b	104,44 ab

**significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,05$); ns - não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).¹ T1: Água A1 durante todo o ciclo; T2: Água A2 durante todo o ciclo; T3: Uso cíclico de A1 e A2; T4: Uso cíclico de A2 e A1; T5: Água A3 durante todo o ciclo; T6: Uso cíclico de A1 e A3; T7: Uso cíclico de A3 e A1.

Embora tenha sido observado maior acúmulo de cloreto nos colmos, as diferenças em relação às bainhas e limbos foliares não foram tão nítidas como no caso do íon sódio (Tabela 19), o que está de acordo com resultados obtidos por Aquino et al. (2007) em plantas de sorgo. Silva et al (2003), também trabalhando com sorgo, encontraram menores acúmulos de Cl^- na bainha e nos limbos evidenciando uma maior capacidade das plantas em excluir cloreto do fluxo transpiratório e, assim, acumular quantidades menores desse íon nos tecidos foliares, principalmente nos tecidos fotossintetizantes. De modo geral, pode-se argumentar que os maiores acúmulos de íons

potencialmente tóxicos (Na^+ e Cl^-) nos colmos e nas bainhas, indicam a existência de uma barreira seletiva entre as raízes e a parte aérea, bem como a compartimentalização e o seqüestro desses íons nessas estruturas (Aquino et al., 2007).

Relações iônicas e distribuição percentual de íons na parte aérea

A salinidade influenciou significativamente as razões entre os teores de sódio nos colmos e bainhas, em relação aos seus teores nos limbos foliares (Tabela 23), assim como a relação entre sódio e potássio nos limbos foliares. Houve também significativa diferença nas relações potássio na bainha/potássio no limbo foliar e cloreto na bainha/cloreto no limbo.

Tabela 23. Quadro da análise de variância apresentando os quadrados médios (QM) para as variáveis da relação entre: sódio no colmo/sódio no limbo foliar (Nac/Naf); sódio na bainha/sódio no limbo foliar (Nab/Naf); sódio no limbo foliar/potássio no limbo foliar (Naf/Kf); potássio no colmo/potássio no limbo foliar (Kc/Kf); potássio na bainha/potássio no limbo foliar (Kb/Kf); cálcio no colmo/cálcio no limbo foliar (Cac/Caf); cálcio na bainha/cálcio no limbo foliar (Cab/Caf); sódio no limbo foliar/cálcio no limbo foliar (Naf/Caf); cloreto no colmo/cloreto no limbo foliar (Clc/Clf); cloreto na bainha/cloreto no limbo foliar (Cib/Clf).

Fonte de Variação	GL	Nac/Naf	Nab/Naf	Naf/Kf	Kc/Kf	Kb/Kf	Cac/Caf	Cab/Caf	Naf/Caf	Clc/Clf	Cib/Clf
		QM									
Blocos	3	2,22ns	0,012ns	0,002ns	0,11ns	0,35ns	0,005ns	0,047**	0,008ns	0,017ns	0,013ns
Tratamento	6	41,91**	0,503**	0,010**	0,029ns	0,135**	0,003ns	0,016ns	0,017ns	0,018ns	0,038*
Resíduo	18	3,997	0,073	0,001	0,074	0,029	0,002	0,010	0,007	0,019	0,011
CV(%)		76,61	51,00	20,82	17,10	17,77	24,59	26,09	19,27	13,01	15,41

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$); ns não significativo ($p \geq .05$).

Os resultados apresentados na Tabela 24 mostram um aumento de aproximadamente 4,5 e 21 vezes na relação entre os teores de sódio nos colmos e limbos foliares das plantas de milho submetidas à irrigação com águas com CEa de 2,5 e 5,0 dS m^{-1} , respectivamente, durante todo o ciclo da cultura, quando comparados ao tratamento 1. Isso mostra a grande capacidade de retenção de Na^+ nos colmos, com a bainha exercendo um papel também importante nesse mecanismo, apresentando, também, relações crescentes entre os teores deste íon em seus tecidos e aqueles nos limbos foliares com a salinidade (Aquino et al., 2007). Quando foram usados os tratamentos que alternavam águas salinas com água de baixa CE, as relações iônicas não diferiram daquelas apresentadas no tratamento 1 e apresentaram, para a relação Nab/Naf, valores inferiores à unidade. Mais uma vez os resultados indicam que o uso

cíclico de águas de alta e de baixa salinidade pode ser uma alternativa para o cultivo do milho nas condições desse experimento.

A relação Na^+/K^+ no limbo foliar aumentou com o aumento da salinidade da água. Segundo Azevedo Neto & Tabosa (2000b), a relação Na^+/K^+ é um dos fatores intimamente relacionados ao grau de tolerância à salinidade. Desta forma, ela pode ser utilizada como índice para toxicidade de sódio, devido ao fato deste íon inibir a atividade das enzimas que requerem potássio (Greenway & Munns, 1980). Os autores reportaram, ainda, que relações Na^+/K^+ iguais ou menores que 0,6 são necessárias para uma ótima eficiência metabólica em não-halófitas.

Tabela 24. Relações entre os teores de Na^+ , K^+ , Ca^{++} e Cl^- nos colmos e seus teores nos limbos foliares, entre os teores nas bainhas e nos limbos foliares e relações entre sódio e potássio e sódio e cálcio nos limbos foliares em plantas de milho irrigadas com diferentes tratamentos salinos.

Tratamento	Nac/Naf	Nab/Naf	Naf/Kf	Kc/Kf	Kb/Kf	Cac/Caf	Cab/Caf	Naf/Caf	Clc/Clf	Clb/Clf
1	0,41 b ¹	0,28 b	0,15 b	1,76 a	0,85 b	0,19 a	0,35 a	0,51 a	1,18 a	0,58 b
2	1,83 b	0,59 b	0,19 b	1,62 a	1,01 ab	0,21 a	0,35 a	0,42 a	1,06 a	0,71 ab
3	0,78 b	0,33 b	0,17 b	1,56 a	0,85 b	0,17 a	0,34 a	0,40 a	1,06 a	0,58 b
4	1,15 b	0,41 b	0,16 b	1,57 a	0,91 b	0,22 a	0,40 a	0,46 a	1,03 a	0,74 ab
5	8,65 a	1,21 a	0,29 a	1,55 a	1,29 a	0,24 a	0,37 a	0,55 a	1,06 a	0,83 a
6	1,51 b	0,41 b	0,18 b	1,54 a	1,05 ab	0,18 a	0,40 a	0,41 a	0,99 a	0,69 ab
7	3,92 b	0,47 b	0,18 b	1,57 a	0,82 b	0,23 a	0,50 a	0,42 a	1,09 a	0,71 ab

¹Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$).

Azevedo Neto & Tabosa (2000b) avaliando duas outras cultivares de milho observaram que independente da cultivar ou da parte da planta analisada, as relações Na^+/K^+ e $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ mostraram-se invariavelmente crescentes, à medida que os níveis de cloreto de sódio na solução nutritiva foram aumentados. Analisando-se conjuntamente as diferentes partes das plantas, os autores observaram que, de modo geral, as maiores relações Na^+/K^+ e $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ foram encontradas na raiz, no colmo e na bainha e, as menores, no limbo. A literatura evidencia, de forma inequívoca, que incrementos nas concentrações de sódio no ambiente radicular das plantas promovem a elevação da relação Na^+/K^+ (Cramer et al., 1994) e, também, da relação $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ (Izzo et al., 1991).

A capacidade de retenção de Cl^- nos colmos foi de modo geral menor que a de sódio para a mesma parte analisada, porém, maiores ou iguais a unidade. Apesar da relação Clb/Clf ter apresentado valores menores que 01 (um), a diferença significativa entre os tratamentos 1 e 5 evidencia o papel importante da bainha no controle da exportação de íons tóxicos para o limbo foliar. Esses resultados são bons indicativos da

capacidade de retenção de íons potencialmente tóxicos, especialmente de Na^+ e Cl^- , sugerindo que essa espécie exporta pouco sódio e cloreto do colmo para os limbos foliares, evitando, assim, o excesso desse íon nos tecidos fotossintetizantes (Azevedo Neto & Tabosa, 2000b).

Os tratamentos salinos promoveram alterações significativas na distribuição percentual de Na^+ no colmo e limbo foliar e de K^+ e Cl^- na bainha. Por outro lado, a salinidade não interferiu na distribuição de cálcio nas diferentes partes da planta, assim como na distribuição de potássio e cloreto nos colmos e limbos foliares e do sódio na bainha (Tabela 25).

Assim como os resultados encontrados por Aquino et al. (2007), a salinidade promoveu maior acúmulo de Na^+ no colmo em relação à bainha e limbo foliar. Pode-se observar na Tabela 26 um aumento de 2 e 3 vezes na percentagem de sódio no colmo quando comparados o tratamento 1 com os tratamentos 2 e 5, respectivamente. Por outro lado, quando se observa os valores percentuais de sódio no limbo foliar, a situação se inverte; no tratamento 2 há uma redução de aproximadamente 50% e no tratamento 5 o valor percentual cai em quase 6 vezes. 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 Na^+ e K^+ , podendo o primeiro contribuir, principalmente, para o ajustamento osmótico dos tecidos não-fotossintetizantes (Aquino et al., 2007).

Tabela 25. Quadro da análise de variância apresentando os quadrados médios (QM) para as variáveis dos percentuais de sódio, potássio, cálcio e cloreto nos colmos, bainhas e limbos foliares.

Fonte de Variação	GL	Na^+			K^+			Ca^{++}			Cl^-		
		Colmo	Bainha	Limbo	Colmo	Bainha	Limbo	Colmo	Bainha	Limbo	Colmo	Bainha	Limbo
		QM											
Blocos	3	150,23ns	18,06ns	72,63ns	46,45ns	28,06ns	6,31ns	7,82ns	70,52**	103,38**	10,34ns	9,75ns	6,24ns
Tratamento	6	1528,24**	15,63ns	1250,30**	35,04ns	59,27**	6,58ns	9,06ns	21,13ns	27,72ns	24,29ns	35,45*	5,65ns
Resíduo	18	299,14	19,77	200,89	22,18	14,77	8,71	7,32	12,96	17,76	11,41	9,87	6,43
CV(%)		34,84	31,18	39,25	10,55	14,18	110,43	20,87	14,94	6,69	8,74	12,53	6,99

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$); ns não significativo ($p \geq .05$).

Apesar de a salinidade ter reduzido os teores de K^+ nas partes das plantas, a distribuição percentual manteve-se inalterada. Aquino et al. (2007) sugerem, também, que a redução na aquisição de alguns elementos minerais essenciais poderia não 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^+ se por outro lado mantiver uma relação Na^+/K^+ em valores adequados, especialmente nos tecidos fotossintetizantes.

Tabela 26. Distribuição percentual e comparação de médias de sódio, potássio, cálcio e cloreto nos colmos, bainhas e limbos foliares de plantas de milho irrigadas com diferentes tratamentos salinos.

Tratamento	Na ⁺			K ⁺			Ca ⁺⁺			Cl ⁻		
	Colmo	Bainha	Limbo	Colmo	Bainha	Limbo	Colmo	Bainha	Limbo	Colmo	Bainha	Limbo
1	23,90 c ¹	16,79 a	59,31 a	48,74 a	23,48 b	27,78 a	12,82 a	22,67 a	64,51 a	42,81 a	21,12 b	36,07 a
2	55,88 abc	13,27 a	30,85 abc	44,00 a	27,72 ab	28,28 a	13,71 a	22,16 a	64,13 a	38,14 a	25,57 ab	36,29 a
3	31,86 bc	16,27 a	51,87 ab	45,48 a	25,13 b	29,39 a	11,35 a	23,01 a	65,64 a	40,11 a	21,97 b	37,92 a
4	47,68 abc	14,66 a	37,66 abc	44,82 a	26,44 ab	28,74 a	13,58 a	24,68 a	61,74 a	37,12 a	26,82 ab	36,06 a
5	75,53 a	12,59 a	11,88 c	40,27 a	33,56 a	26,17 a	14,88 a	23,02 a	62,10 a	36,57 a	28,74 a	34,69 a
6	51,15 abc	14,09 a	34,76 abc	42,99 a	29,03 ab	27,98 a	11,09 a	25,03 a	63,88 a	36,96 a	25,71 ab	37,33 a
7	61,46 ab	12,17 a	26,37 bc	46,13 a	24,29 b	29,58 a	13,33 a	28,10 a	58,57 a	38,78 a	25,55 ab	35,67 a

¹Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey (P ≥ 0,05).

O aumento na porcentagem de cloreto na bainha nos tratamentos salinos, associado à não alteração dos percentuais deste elemento no limbo foliar (Tabela 26), reforçam o que já foi dito em parágrafos anteriores, ou seja, esta parte da planta controla a exportação de íons tóxicos para o limbo foliar.

5. CONCLUSÕES

A estratégia do uso cíclico de águas de baixa e alta salinidade reduz o acúmulo de sais no solo, notadamente na zona radicular da planta, resultando no menor acúmulo de íons potencialmente tóxicos (Na e Cl) na parte aérea das plantas de milho;

O uso de água de alta salinidade ($CE\ 5,0\ dS\ m^{-1}$) durante todo o ciclo do genótipo de milho analisado, reduziu a produtividade significativamente no ensaio 2008-2009, o que não foi observado quando se utilizou essa água de forma cíclica iniciando sua aplicação após o estabelecimento do estande;

Nas condições desse trabalho, a salinidade não altera a partição de fotoassimilados entre as diferentes partes das plantas de milho;

O uso cíclico de águas salinas permite a substituição parcial de água de baixa salinidade na irrigação, reduzindo, também os impactos sobre o solo e sobre a cultura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, R.D.; PORTO FILHO, F.Q.; MEDEIROS, J.F.; HOLANDA, J.S.; PORTO, V.C.N.; FERREIRA NETO, M. Crescimento de cultivares de melão amarelo irrigadas com água salina. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v.7, n.2, p.221-226, 2003.

AMORIM, D.M.B; NOTARO, I.A.; FURTADO, D.A.; GHEYI, H.R.; BARACUHY, J.G.V. Avaliação de diferentes níveis de salinidade da água utilizada na produção de forragem hidropônica de milho. R. Bras. Eng. Agric. Amb. (Suplemento), 2005.

AQUINO, A.J.S. Avaliação do crescimento e dos mecanismos de tolerância à salinidade em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas salinas. Dissertação de Mestrado em Irrigação e Drenagem. Fortaleza: UFC/Departamento de Engenharia Agrícola, 2005.

AQUINO, A.J.S.; LACERDA, C.F.; BEZERRA, M.A.; FILHO, E.G.; COSTA, R.N.T. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na^+ , K^+ e Cl^- em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. Rev. Bras. Ciênc. Solo. Viçosa, v.31 n.5. 2007.

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

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1999. 153p.

AZEVEDO NETO, A.D.; PRISCO, J.T.; ENÉAS-FILHO, J; LACERDA, C.F.; SILVA, J.V.; COSTA, P.H.A.; GOMES-FILHO, E. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. Braz. J. Plant Physiol., v.16, n.1. p.31-38, 2004.

AZEVEDO NETO, A.D.; TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte I. Análise do crescimento. R. Bras. Eng. Agric. Amb., Campina Grande, v.4, n.2, p.159-164, 2000a.

AZEVEDO NETO, A.D.; TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II. Distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. R. Bras. Eng. Agric. Amb., Campina Grande, v.4, n.2, p.165-171, 2000b.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. 6ª ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 657p.

BEZERRA, A. K. P. ; LACERDA, C. F. ; HERNANDEZ, F.F.F.; SILVA, F. B. ; GHEYI, H. R. . Rotação cultural feijão caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. Ciência Rural, Santa Maria, v. 40, p. 1075-1082, 2010.

BLANCO, F. F. ; FOLEGATTI, M. V. ; GHEYI, H.R. ; FERNANDES, P. D. . Growth and yield of corn irrigated with saline water. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 65, p. 574-580, 2008.

BLANCO, F. F. ; LOURENÇÃO, M.S. ; FOLEGATTI, M. V. . Tolerância do milho à salinidade da água de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2005, Teresina. Anais. Teresina : Embrapa Meio Norte, 2005. p. 1-5.

BLAYLOCK, A.D. Soil salinity, salt tolerance, and growth potential of horticultural and landscape plants. Department of plant, sil, and insect sciences. College of agriculture. University of Wyoming. Laramie, Wyoming, U.S. 1994.

BOHN, H.; McNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. Salt-affected soils. In: BOHN, H.; McNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. Soil Chemistry. New York, Wiley Interscience Publication, 1985. p.234-261.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para análises de sementes. Brasília: SNDA/ DNDV/CLAV, 1992, 362p.

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

COLMER, T.D.; FAN, T.W.M.; HIGASHI, R.M.; LÄUCHLI, . 1994. Interactions of Ca^{2+} and NaCl stress on the relations and intracellular pH of Sorghum bicolor root tips: An in vivo ^{31}P -NMR study. *Journal of Experimental Botany*, v.45, p.1037-1044, 1994.

CORDEIRO, G.G. Salinidade em agricultura irrigada (Conceitos básicos e práticos). Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2001. 38 p. Documento 180.

CRAMER, G.R.; ALBERICO, G.J.; SCHMIDT, C. Leaf expansion limits dry matter accumulation of salt-stressed maize. *Aust. J. Plant Physiol.*, 21, 663-674, 1994.

D'ALMEIDA, D.M.B.A. Risco de salinização de um cambissolo na Chapada do Apodi – CE. Dissertação de Mestrado em Irrigação e Drenagem. Fortaleza: UFC/Departamento de Engenharia Agrícola, 2002.

FAGERIA, N.K. Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas. Brasília: EMBRAPA – CNPAF. Documentos, 18, 1989.

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

FERREIRA, P.A.; GARCIA, G.O.; MIRANDA, G.V.; OLIVEIRA, F.G.; SANTOS, D.B. Tolerância da variedade de milho UFVM 100 à salinidade avaliada por três métodos. *Irriga, Botucatu*, v. 12, n. 4, p. 532-544, 2007.

FLOWERS, T.J.; RAGAB, R.; MALASH, N.; GAWAD, G.A.; CUARTERO, J.; ARSLAN, A. Sustainable strategies for irrigation in salt-prone Mediterranean:

SALTMED. Egypt and Syria. Agricultural Water Management. Amsterdam, v.78, p.3–14, 2005.

GARCIA, G.O.; FERREIRA, P.A.; MIRANDA, G.V.; OLIVEIRA, F.G.; SANTOS, D.B. Índices fisiológicos, crescimento e produção de milho irrigado com água salina. Irriga Botucatu, v. 12, n. 3, p. 307-325, 2007a.

GARCIA, G.O.; FERREIRA, P.A.; MIRANDA, G.V.; NEVES, J.C.L.; MORAES, W.B.; SANTOS, D.B. Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio em plantas de milho sob estresse salino. IDESIA, Chile, v. 25, n. 3, 2007b.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. V.31, p. 149–190, 1980.

HOLANDA, J.S., AMORIM, J.R.A. de. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. de (Ed.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997. p. 137-169.

IZZO, R. NAVARI-IZZO, F.; QUARTACCI, F. Growth and mineral absorption in maize seedlings as affected by increasing NaCl concentrations. Journal of Plant Nutrition, New York, v.14, p.687-699, 1991.

JÁCOME, A.G. OLIVEIRA, R.H.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; SOUZA, A.P.; GONÇALVES, A.C.A. Crescimento de genótipos de algodoeiro em função da salinidade da água de irrigação. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, v.25, n.2, p.305-313, 2003.

KATERJI, N., van HOORN, J.W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. Agricultural Water Management, Amsterdam, v. 43, p. 99-109, 2000.

KAWASAKI, T.; AKIBA, T.; MORITSUGU, M. Effects of high concentrations of sodium chloride and polyethylene glycol on the growth and ion absorption in plants: I. Water culture experiments in a greenhouse. Plant and Soil, v.75, p.75-85. 1983.

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. Environ. Exp. Bot., v.47, p.107-120, 2003.

LACERDA, C.F.; NEVES, A.L.R.; GUIMARÃES, F.V.A.; SILVA, L.B.; PRISCO, J.T.; GHEYI, H.R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.29, n.2, p.221-230, 2009.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. Tradução: Prado, C.H.B. 2. Ed. São Carlos, Rima Artes e Textos, 2000. 531p.

MALASH, N.; FLOWERS, T.J.; RAGAB, R. Effect of irrigation systems and water management practices using saline and non-saline water on tomato production. Egypt. Agricultural Water Management. v.78, p.25–38, 2005.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARINHO, F.J.L.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R. Desenvolvimento inicial do abacaxizeiro, cv. Smooth Cayenne, sob diferentes condições de salinidade da água. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v.2, p.1-5, 1998.

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

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

MURTAZA, G.; GHAFOR, A.; QADIR, M. Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cotton-wheat rotation. Pakistan. Agricultural Water Management v. 81, p. 98-114, 2006.

NEVES, A.L.R. et al. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. Ciênc Rural, Santa Maria, v.39, n.3, p.758-765, 2009.

NEVES, M. J.; CASTANHEIRA, N. L.; REIS, J. L.; SILVA, S. D.; DIAS, L. M.; SANTOS, F. L.; GONÇALVES, M. C.; MARTINS, J. C.; PRAZERES, A.; FONTE, S.; RAMOS, T.; PIRES, F.; VARELA, A. Salinidade do solo num ensaio com milho-grão com aplicação de diferentes quantidades de sal e de solução azotada na água de rega. II Congresso Ibérico de La Ciencia del Suelo. 2006.

OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F. OLIVEIRA. M.K.T.; LIMA. C.J.G.S; GALVÃO, D.C. Desenvolvimento inicial do milho-pipoca 'jade' irrigado com água de diferentes níveis de salinidade. Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil) v.2, n.1, p.45-52 Janeiro/Julho de 2007.

PEREIRA, M.G.; SILVA, D.A. da; ANDRADE NETO, C.O. de; MELO, H.N.S.; GRACINDO, A.P.A.C. Uso de efluentes de "wetland" e filtro rudimentar na fertirrigação de milho In: AIDIS; Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Avanzando hacia los Objetivos de Desarrollo del Milenio en el marco de la ingeniería sanitaria ambiental. Asunción, AIDIS Paraguay, 2005. p.1-8, Ilus, tab.

PITOMBEIRA, J.B. Notas de aula – Grandes culturas (Cultura do Milho). Fortaleza, CE, Universidade Federal do Ceará, 2006. 64p.

PIZARRO, F. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Madrid: Editorial Agrícola, Española S.A., 1978 .521p.

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

- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa do Potássio e do Fosfato, 1991. 343p.
- RHOADES, J. D; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Tradução de H.R. Gheyi, J. R de Sousa, J. E. Queiroz. Campina Grande, UFPB, 1992. 117p. (Estudos FAO:Irrigação e Drenagem, 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.
- SANTANA, M.J.; CARVALHO, J.A.; SILVA, E.L.; MIGUEL, D.S. Efeito da irrigação com água salina em um solo cultivado com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Ciênc. agrotec., Lavras. V.27, n.2, p.443-450, mar/abr., 2003.
- SANTOS, J. G. R. dos. A salinidade na agricultura irrigada: teoria e prática. Campina Grande-PB: (s. n. t), 2000. 171p.
- SCALON, M.C.; FRANCO, A.C. Influência dos fatores ambientais na área foliar específica de espécies lenhosas do cerrado. Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 23 a 28 de Setembro de 2007, Caxambu – MG.
- SILVA J.V.; LACERDA, C.F.; AZEVEDO-NETO, A.D.; COSTA, P.H.A.; PRISCO, J.T.; ENÉAS-FILHO, J.; GOMES FILHO, E. Crescimento e osmoregulação em dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos a estresse salino. R. Ci. Agron., 33:125-131, 2003.
- SILVA, F.J.A.; DE ARAÚJO, A.L.; DE SOUZA, R.O. Águas subterrâneas no Ceará – poços instalados e salinidade. Rev. Tecnol. Fortaleza, v. 28, n. 2, p. 136-159, dez. 2007.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. 2004. Fisiologia Vegetal. 3ª ed., Artmed, Porto Alegre, 719 p.
- TRINDADE, A.R.; LACERDA, C.F.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M.A.; PRISCO, J.T. Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 10:804-810, 2006.
- WILLADINO, L.; MARTINS, M.H.B.; CAMARA, T.R.; ANDRADE, A.G.; ALVES, G.D. Resposta de genótipos de milho ao estresse salino em condições hidropônicas. Scientia Agrícola, v.56, n.4, p.1209-1213, out./dez. 1999.