

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

LUCIANO BESTETE OLIVEIRA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE
MILHO DECORRENTES DO USO DE DIFERENTES CONDUTIVIDADES
ELÉTRICAS DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO**

ALEGRE - ES

2011

LUCIANO BESTETE OLIVEIRA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE
MILHO DECORRENTES DO USO DE DIFERENTES CONDUTIVIDADES
ELÉTRICAS DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração Planejamento e Manejo de Recursos Hídricos.

Orientador: Dr. Giovanni de Oliveira Garcia

ALEGRE – ES

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

O48a Oliveira, Luciano Bestete, 1974-
Atributos químicos do solo, desenvolvimento e produção de milho decorrentes do uso de diferentes condutividades elétricas da água de irrigação / Luciano Bestete Oliveira. – 2011.
81 f. : il.

Orientador: Giovanni de Oliveira Garcia.

Coorientadores: Edvaldo Fialho dos Reis, Roberto Avelino Cecílio.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Milho – Efeito do stress. 2. Salinidade. 3. Água de irrigação. 4. Química do solo. 5. Solos – Fertilidade. I. Garcia, Giovanni de Oliveira. II. Reis, Edvaldo Fialho dos. III. Cecílio, Roberto Avelino. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. V. Título.

CDU: 630


LUCIANO BESTETE OLIVEIRA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE
MILHO DECORRENTES DO USO DE DIFERENTES CONDUTIVIDADES
ELÉTRICAS DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO**


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração Planejamento e Manejo de Recursos Hídricos.

Aprovada em 29 de agosto de 2011.


COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia
CCA/UFES – (Orientador)




Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio
CCA/UFES – (Coorientador)



Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis
CCA/UFES – (Coorientador)



Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral
CCA/UFES



Prof. Dr. Otacilio José Passos Rangel
IFES/Campus de Alegre

Dedico este trabalho aos meus pais, Valtair e Dejanira. À minha esposa, Janaína. Aos meus filhos Ludimila, Maria Clara e Murillo. Aos meus irmãos, Cristiane, João Paulo, Priscila e Camila. À minha sogra, Ieda.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por mais essa oportunidade.

Aos meus pais, Valtair de Oliveira e Dejanira Bestete Oliveira, por minha formação nos princípios da verdade e honestidade.

À minha esposa, Janaína, pelo amor incondicional, pelo carinho, pela compreensão, pelo estímulo e pelos incentivos, mesmo nos momentos mais difíceis, sem ela nenhum sonho seria possível ou valeria a pena.

Aos meus filhos, Ludimila, Maria Clara e Murillo, razão de minhas conquistas, meus amores, vivo para vocês.

À minha sogra, Ieda, obrigado pelo incentivo.

Aos meus irmãos, Cristiane, João Paulo (valeu irmão, obrigado por tudo), Priscila e Camila, meus cunhados Rodrigo (obrigado pelo incentivo), Bruno, Felipe, Rogério, e cunhadas, Andréia, Maria da Penha e Sheila, meus sobrinhos Gabriel, Victor, Ygor, Yanara, Júnior e Leonan e ao querido tio Lelei.

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e ao Departamento de Engenharia Agrônômica, pela oportunidade de realização do curso.

Ao professor Giovanni de Oliveira Garcia, pela orientação valiosa, pelo incentivo, pela amizade e pela confiança e dedicação demonstrada na condução deste trabalho.

Aos professores, Edvaldo Fialho dos Reis e Roberto Avelino Cecílio, pela coorientação e incentivo.

Aos professores, José Francisco Teixeira do Amaral e Otacílio José Passos Rangel, pelas críticas e sugestões.

À Aline Nazário, pela ajuda dispensada neste trabalho.

Ao amigo Amiltom, companheiro de todas as horas, começamos juntos, grande amizade encontrada no curso.

Ao professor Jéferson Ferrari, exemplo de profissional a ser seguido, obrigado pelo incentivo.

Aos meus demais professores, pelos ensinamentos transmitidos no decorrer do curso.

Às demais pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu especial agradecimento.

BIOGRAFIA

LUCIANO BESTETE OLIVEIRA, filho de Valtair de Oliveira e Dejanira Bestete Oliveira, nasceu em 26 de janeiro de 1974, em Alegre, ES.

Em fevereiro de 1989, iniciou o Curso Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Alegre, concluindo-o em dezembro de 1991.

Em março de 2006, iniciou o Curso de Tecnologia em Aquicultura, na então Escola Agrotécnica Federal de Alegre – EAFA e depois Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – IFES, concluindo-o em dezembro de 2008.

Em março de 2009, iniciou o Curso de Especialização em Educação Ambiental e Recursos Naturais, na Faculdade de Filosofia, Ciência e Letras de Alegre – FAFIA, concluindo no mesmo ano.

Em agosto de 2009, iniciou o Curso de Mestrado em Produção Vegetal, área de Planejamento e Manejo de Recursos Hídricos, na Universidade Federal do Espírito Santo, em Alegre, ES.

RESUMO

Atributos químicos do solo, desenvolvimento e produção de milho decorrentes do uso de diferentes condutividades elétricas da água de irrigação. Orientador: Giovanni de Oliveira Garcia. Coorientadores: Roberto Avelino Cecílio e Edvaldo Fialho dos Reis.

O impacto da salinidade do solo sobre a produtividade agrícola é um sério problema, principalmente em regiões áridas e semiáridas, que dependem da irrigação para garantir um adequado suprimento de água para as culturas. Com o objetivo de avaliar os atributos químicos do solo, desenvolvimento e produção de milho decorrentes do uso de diferentes condutividades elétricas da água de irrigação, foi montado um experimento no delineamento inteiramente casualizado no esquema de parcelas subdivididas 5 x 4 com três repetições. As parcelas constituíram-se em cinco níveis de salinidade da água de irrigação com condutividade de 0,1; 0,8; 1,6; 2,4 e 3,2 dS m⁻¹ e nas subparcelas, quatro fases fenológicas da cultura correspondentes ao crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica. Em cada fase fenológica, foram realizadas as análises, do crescimento da cultura e dos atributos químicos do solo e ao final do período experimental foi determinada a produção de grãos. A aplicação de água de irrigação com diferentes condutividades elétricas reduziu a massa seca das raízes, da parte aérea, a área foliar, o número e peso de grãos por planta da cultivar de milho PL6880 e no solo aumentou a disponibilidade dos teores de cálcio e sódio, bem como os valores da condutividade elétrica do solo, saturação por bases e saturação por sódio, soma de bases, capacidade de troca de cátions potencial e efetiva, seguindo-se a diminuição nos valores do pH, teor de alumínio e saturação por alumínio. Os teores de fósforo, potássio, magnésio e acidez potencial não foram afetados.

PALAVRAS-CHAVE: Estresse salino, *Zea mays*, fertilidade do solo.

ABSTRACT

Chemical soil properties, development and production of corn from the use of different electrical conductivity of irrigation water.

Advisor: Giovanni Garcia de Oliveira. Coadvisers: Roberto Avelino Cecilio and Edvaldo Fialho dos Reis.

The impact of soil salinity on agricultural productivity is a serious problem, especially in arid and semiarid regions, which depend on irrigation to ensure an adequate supply of water for crops. In order to evaluate the soil chemical properties, development and production of corn from the use of different electrical conductivity of irrigation water, was mounted in an experiment in a completely randomized split plot with three 4 x 5 repetitions. The plots consisted of five levels of salinity of irrigation water with a conductivity of 0.1, 0.8, 1.6, 2.4 and 3.2 dS m⁻¹ and the plots, four phenological stages corresponding vegetative growth, flowering, grain filling and physiological maturity. In each phenological phase, tests were carried out, the crop growth and soil chemical properties and the end of the experiment was determined to grain production. The application of irrigation water with different electrical conductivity reduced the dry mass of roots, shoots, leaf area, number and grain weight per plant of maize cultivar and soil PL6880 increased the availability of the calcium and sodium as well as the values of electrical conductivity of soil saturation and sodium saturation, sum of bases, cation exchange capacity and effective potential, followed by a decrease in pH value, content of aluminum and aluminum saturation. The levels of phosphorus, potassium, magnesium and potential acidity were not affected.

KEY WORDS: Salt stress, Zea mays, soil fertility.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Importância da cultura do milho.....	3
2.2 Uso da água salina na agricultura.....	5
2.3 Riscos de se utilizar água salina na agricultura.....	8
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4.1 Alterações nos atributos químicos do solo, decorrentes do uso de diferentes condutividades elétricas da água de irrigação.....	19
4.2 Desenvolvimento e produção do milho, decorrentes do uso de diferentes condutividades elétricas da água de irrigação.....	48
5 CONCLUSÕES.....	59
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
ANEXO.....	71

1 INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de aumentar a produção de alimentos constitui em um desafio científico-tecnológico e tem requerido a expansão das áreas cultivadas. Entretanto, essa busca não consiste apenas na incorporação das áreas agrícolas consideradas adequadas ao cultivo, mas também no aproveitamento de áreas degradadas e utilização de águas consideradas de qualidade inferior, entre elas, águas com elevados teores de sais (RHOADES et al., 2000).

A irrigação é uma das tecnologias aplicadas na agricultura que mais tem contribuído para o aumento na produção de alimentos (BERNARDO et al., 2008). No entanto, a qualidade da água de irrigação pode apresentar restrições à agricultura irrigada e resultar em obstáculo ao desenvolvimento das culturas, além de acelerar a degradação física e química do solo (SILVA et al., 2005).

A degradação de solos pela salinização tem-se tornado um problema cada vez mais frequente, principalmente em regiões áridas, isso porque as baixas precipitações pluviais não são suficientes para lixiviar os sais do perfil do solo e transportá-los até o leito dos rios perenes. Em razão do clima quente e seco, a alta evapotranspiração contribui para a acumulação desses sais no perfil e na superfície do solo (FREIRE et al., 2003).

No solo, dependendo da natureza e concentração dos íons, podem ocorrer danos, tais como, alterações na estrutura, formação de estratos impermeáveis e problemas de infiltração e redistribuição da água no perfil. A alta concentração de sais no solo é um fator de estresse para as plantas, pois reduz o potencial osmótico do solo, dificulta a absorção de água pelas raízes e aumenta a concentração de íons no protoplasma, sendo fator limitante para o crescimento e a produção das culturas, induzindo a modificações morfológicas, estruturais e metabólicas nas plantas superiores (AMORIM et al., 2002).

A predominância de sódio em relação aos demais cátions no complexo de troca pode promover a dispersão e migração dos coloides no perfil do solo, com obstrução de poros e redução da permeabilidade. Essa redução pode alcançar magnitude tal que as raízes das plantas não recebam água suficiente (AYERS e WESTCOT, 1999).

As concentrações de sais que restringem o crescimento e/ou manifestam os efeitos tóxicos nas plantas dependem do grau de resistência à salinidade da espécie, bem como do tempo de exposição, do estágio de desenvolvimento e tipo de sal utilizado (FERREIRA e REBOUÇAS, 1992).

O milho (*Zea mays* L.) representa um dos principais cereais cultivados em todo o mundo, possui alto valor nutritivo, tendo papel relevante na economia nacional e internacional. Sua utilização está diretamente ligada à alimentação humana na forma *in-natura* ou como subprodutos do grão como: óleo, farinha e derivados. Na alimentação animal, é utilizado como principal produto energético na formulação de rações de animais. A cultura do milho ocupa posição de destaque quanto ao valor da produção agropecuária, área cultivada e volume produzido (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

Mesmo o milho sendo considerada uma espécie moderadamente tolerante à salinidade, pode sofrer redução progressiva do crescimento, com o aumento da concentração de sais na zona radicular (AYERS e WESTCOT, 1999). A resistência à salinidade é descrita como a habilidade das plantas de evitar, por meio de uma regulação salina, que excessivas quantidades de sal alcancem o protoplasma, e também, de tolerar os efeitos tóxicos e osmóticos associados ao aumento da concentração de sais. Essa adaptação das plantas ao estresse vem sendo avaliada pela análise de crescimento (LARCHER, 2000).

De acordo com Benincasa (2003), a análise de crescimento é um meio acessível e preciso para se avaliar o crescimento e inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal. Além disso, essa técnica pode ser de grande valor na avaliação de diferenças intra e interespecíficas das diversas características que definem a capacidade produtiva da planta.

Diante dessas considerações, objetivou-se com este trabalho avaliar os atributos químicos do solo, desenvolvimento e produção de milho decorrentes do uso de diferentes condutividades elétricas da água de irrigação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da cultura do milho

Originada a aproximadamente de sete a dez mil anos atrás, no México e na América Central, a cultura do milho (*Zea mays* L.) é considerada uma das mais antigas. (GALINAT, 1995). Segundo Godoy (2002), logo depois do descobrimento da América foi levada para a Europa, onde foi cultivada em jardins, até que seu valor alimentício tornou-se conhecido, passando então, a ser plantada em escala comercial, espalhando-se atualmente desde a latitude de 58° norte (antiga União Soviética) até 40° sul (Argentina).

A importância econômica do milho é devido às diversas formas de sua utilização, compreendendo desde o consumo “in natura” até o processamento em indústria de alta tecnologia. O uso do milho em grãos, na alimentação animal, representa a maior parte do consumo desse cereal, correspondendo a cerca de 70% do total produzido. Apesar de não ter uma participação muito grande em termos globais na alimentação humana, o milho em grãos, constitui uma parcela importante de uso desse cereal em regiões menos desenvolvidas (DUARTE, 2011).

A produção mundial de grãos de milho na safra 2009/10 foi de aproximadamente 807,5 milhões de toneladas (USDA, 2010). Os Estados Unidos são os maiores produtores, com produção de 333 milhões de toneladas, seguidos por China com 155 milhões de toneladas, União Européia com 55,6 milhões de toneladas e Brasil com 53,5 milhões de toneladas.

Entre os estados brasileiros produtores de milho, destacam-se o Paraná apresentando a maior produção, com 12,6 milhões de toneladas, seguido pelo estado do Mato Grosso, com 8,2 milhões de toneladas e Minas Gerais, com 5,9 milhões de toneladas. A produção de milho do Estado do Espírito Santo tem uma pequena participação na produção nacional com 94,3 mil toneladas produzidas, estando muito aquém de sua própria necessidade. (CONAB, 2010).

De maneira geral, a cultura do milho é considerada uma espécie moderadamente tolerante à salinidade (AYERS e WESTCOT, 1999), sendo mais sensível ao estresse salino no período vegetativo, e apresentando maior tolerância na época de floração. O estresse salino, tanto na cultura do milho, como em outras

culturas, provoca redução progressiva do crescimento em razão da diminuição do potencial osmótico e/ou do acúmulo excessivo de íons, podendo induzir toxicidade iônica, desequilíbrio nutricional ou ambos (AZEVEDO NETO e TABOSA, 1998).

Cramer et al. (1994) afirmam que o grau com que cada um desses componentes do estresse salino influencia o crescimento é dependente de muitos fatores, tais como o cultivar, tipo de salinidade, intensidade e duração do estresse salino, luminosidade, umidade do solo e do ar e estágio de desenvolvimento da planta.

Azevedo Neto e Tabosa (2004) relatam os efeitos deletérios do estresse salino sobre o crescimento de plantas de milho. No entanto, verifica-se que diferentes cultivares comportam-se distintamente quando sujeitas à salinidade, o que possibilita a busca de cultivares mais tolerantes e o uso dessa espécie em estudos comparativos dos efeitos desse estresse sobre a fisiologia e bioquímica da planta.

Willadino et al. (1995), em avaliação de cultivares de milho em solo salino, verificaram que o efeito do estresse salino foi maior sobre a produção de grãos do que sobre o crescimento em altura de planta. As cultivares Jatinã C-3 anão, CMS-22, Dentado Composto e Pioneer 6875 apresentaram maior tolerância à salinidade quando comparado com as cultivares AG 404, CMS-06, Centralmex, e BR 301. Todos esses materiais apresentaram rendimento relativo de grãos entre 53 e 76%, em área salina com condutividade elétrica de 8,6 a 11,8 dS m⁻¹, em comparação com os dados obtidos em área não-salina.

Ferreira et al. (2007) verificaram que a variedade de milho UFVM 100 mostrou-se sensível à salinidade do solo e a produção relativa decresceu 15,68% com incrementos unitários da salinidade do solo acima de 1,70 dS m⁻¹ (salinidade limiar).

Garcia et al. (2007a) em estudos sobre teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio em plantas de milho sob estresse salino, verificaram que os teores de sódio nas folhas elevaram-se, seguido da redução dos teores de cálcio, magnésio e potássio ao longo do ciclo da cultura refletindo o desequilíbrio nutricional causado pelo estresse nutricional, conseqüente do estresse salino progressivo.

2.2 Usos da água salina na agricultura

A água é um recurso importante para manutenção da vida e, em sua distribuição, 97,5% encontram-se nos oceanos (água salgada) e 2,5 % concentrado nas geleiras, rios, lagos e no solo (água doce). Do total de água doce, 68,9% estão nas calotas polares e geleiras, 29,9% são águas subterrâneas, 0,3% rios e lagos, 0,9% outros reservatórios (TUNDISI, 2005).

A água pode ser utilizada para fins domésticos, lazer, navegação, agricultura, industrial, harmonia paisagística, piscicultura, dentre outros. Mundialmente, aproximadamente 66% do volume disponível de água são utilizados na agricultura, 22% nas indústrias e 12% uso doméstico (FAO, 2011). No Brasil, 47% da demanda total de água disponível é utilizada na irrigação, 26% nas áreas urbanas, 17% nas indústrias, 2% nas áreas rurais e 8% para uso de animais (ANA, 2011).

Devido sua capacidade de dissolução, a água pode veicular os mais variados tipos de impurezas, podendo sofrer alterações de suas propriedades no ciclo hidrológico, bem como alterações por ações do homem. Ao longo de seu trajeto para o mar, a água vai agregando partículas e materiais dissolvidos oriundos de detritos naturais e despejos da sociedade humana que em excesso podem causar danos às plantas e solos (GARCIA et al., 2007b).

O conceito de qualidade de água refere-se às suas características, que podem afetar sua adaptabilidade para uso específico, ou seja, a relação entre a qualidade da água e as necessidades do usuário. A qualidade da água define-se por uma ou mais características físicas, químicas ou biológicas. Preferências pessoais, como o sabor, podem também constituir simples avaliação de aceitabilidade, porém na avaliação da qualidade da água para irrigação, leva-se em consideração, principalmente, as características químicas e físicas e poucas são as vezes em que outros fatores são considerados importantes (AYERS e WESTCOT, 1999).

A irrigação é uma técnica que tem por objetivo fornecer à planta, no momento preciso, a quantidade de água necessária para que ela se desenvolva normalmente e produza o máximo de seu rendimento, além de promover a lixiviação de sais em áreas com problemas de salinidade, principalmente nas regiões áridas e semiáridas (DAKER, 1984; BERNARDO et al., 2008).

Atualmente no Brasil, os corpos de água são classificados de acordo com a resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, que os define como doces, salobras e salinas, baseada na salinidade, sendo as águas consideradas doces, as que possuem salinidade de até 0,5 ppm (500 mg/L), águas salobras, de 0,5 até 30 ppm (500 mg/L até 30000 mg/L) e as águas salinas possuidoras de mais de 30 ppm (> 30000 mg/L).

Dentre os critérios de classificação da água para fins de irrigação, um dos mais aceitos atualmente é a classificação proposta pelo United States Salinity Laboratory (USSL). Essa classificação baseia-se na condutividade elétrica (CE) como indicadora do risco de salinização do solo, na percentagem de sódio trocável (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS) como indicadora do perigo de sodicidade do solo (AYERS e WESTCOT, 1999).

Segundo o mesmo laboratório, são considerados solos salinos aqueles cuja condutividade elétrica da solução do solo é maior que 4 dS m^{-1} a 25°C e cuja PST é menor que 15%, solos salino-alcálicos ou salino-sódicos, aqueles cuja condutividade elétrica da solução do solo saturado é maior que 4 dS m^{-1} a 25°C e cuja PST é maior que 15% e solos alcálicos ou sódicos aqueles cuja condutividade elétrica da solução do solo saturado é menor que 4 dS m^{-1} a 25°C e cuja PST é maior que 15% (BERNARDO et al., 2008).

Quanto ao risco de salinidade, as águas são classificadas em C1 - águas com baixa salinidade (condutividade elétrica entre 0 e $0,25 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°C), C2 - águas com salinidade média (condutividade elétrica entre 0,25 e $0,75 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°C), C3 - águas com salinidade alta (condutividade elétrica entre 0,75 e $2,25 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°C) e C4 - águas com salinidade muito alta (condutividade elétrica entre 2,25 e $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°C). Quanto ao risco de sodicidade, as águas são divididas em quatro classes segundo a RAS: S1 - águas com baixa concentração de sódio, S2 - águas com concentração média de sódio, S3 - águas com alta concentração de sódio e S4 - águas com concentração de sódio muito alta (MANTOVANI et al., 2009).

Os sais solúveis são provenientes da própria formação geológica do solo, onde a composição química dos minerais do solo tem enorme importância no processo de composição e concentração dos sais na água armazenada, pois, através do processo de intemperização química pela hidrólise, hidratação, oxidação

e carbonatação, os constituintes solúveis são gradualmente liberados (FOTH e TURK, 1972).

Os principais sais encontrados tanto no solo como na água são o cloreto de sódio (NaCl), o sulfato de magnésio (MgSO₄), o sulfato de sódio (Na₂SO₄), o cloreto de magnésio (MgCl₂) e o carbonato de sódio (Na₂CO₃). Tais sais podem ter sua solubilidade afetada em função de alguns fatores, como o pH e temperatura na fonte, razão pela qual esses fatores devem ser levados em consideração no estudo da qualidade das águas, principalmente quando se têm carbonatos e/ou bicarbonatos (ULZURRUN, 2000).

Segundo Bernardo et al. (2008), a qualidade da água de irrigação é definida de acordo com a concentração e quantidade total de sais dissolvidos. No entanto, os parâmetros analisados (concentração total de sais, proporção relativa de sódio em relação aos outros cátions, concentração de elementos tóxicos e aspecto sanitário) devem estar relacionados com os efeitos no solo, na cultura e no manejo da irrigação, os quais serão necessários para o controle dos problemas relacionados. O conjunto de parâmetros a serem considerados na avaliação da qualidade da água para a irrigação deve contemplar o conjunto de características físicas, químicas e biológicas que definem sua adequação ou não para o uso.

As principais características físicas a serem observadas estão relacionadas à presença de sedimentos minerais e substâncias orgânicas em suspensão, as quais podem causar sérios problemas nos sistemas de irrigação, ocasionando entupimento de emissores, desgaste de bombas e tubulações, entre outros. As características biológicas também podem ocasionar entupimento de filtros e gotejadores por algas e plantas aquáticas, bactérias e lodos, além de transmissão de doenças ao homem pelo contato com água poluída, ingestão de alimentos contaminados pela água e às plantas, pelo uso fontes de águas contaminadas (AYERS e WESTCOT, 1999; BERNARDO et al., 2008).

Com relação às características químicas, as determinações realizadas na água são: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), total de sais dissolvidos (TSD), íons: sódio (Na⁺), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), cloretos (Cl⁻), sulfatos (SO₄²⁺), carbonatos (CO₃²⁻) e bicarbonatos (HCO₃⁻). Por sua toxicidade manifesta, é conveniente analisar o íon boro (B⁺) (ALMEIDA, 2010).

Para Ayers e Westcot (1999), os sais contidos na água de irrigação são os principais causadores da salinidade dos solos nas áreas irrigadas. Afirmam ainda que a salinidade dos solos também possa ser causada pela ascensão capilar da água do lençol freático próximo à superfície.

O estudo do crescimento de plantas de milho sob condições de salinidade tem sido relatado por diversos autores. Izzo et al. (1991) verificaram que concentrações de 80 e 160 mol m⁻³ de NaCl em solução nutritiva induziram a uma diminuição na massa seca da parte aérea das plantas. No entanto, as raízes mostraram-se sensíveis apenas às concentrações de 160 mol m⁻³ de NaCl.

Irrigando a cultura do milho com água salina, Garcia et al. (2007c) constataram que o aumento da salinidade do solo reduziu expressivamente a produção de massa seca da parte aérea e das raízes, as taxas de assimilação líquida, a fotossíntese, a condutância estomática e a transpiração.

O processo de salinização dos solos e das águas subterrâneas e superficiais é um dos mais importantes problemas de degradação ambiental, com seus efeitos prejudiciais sendo mais pronunciados nas áreas de regiões áridas e semiáridas, e que vem crescendo rapidamente em diversas partes do globo, causando problemas de grandes proporções na produtividade das culturas agrícolas (BOT et al., 2000).

2.3 Riscos de se utilizar água salina na agricultura

No mundo, estima-se que 19,5% das terras irrigadas (45 milhões de hectares) e 2,1% das não irrigadas (32 milhões de hectares) estejam afetadas pelos sais (SAIRAM e TYAGI, 2004). No Brasil, embora a informação sobre as áreas salinas não esteja bem definida, estima-se que 20 a 25% das áreas irrigadas enfrentem problemas de salinização (FAO, 2006). Esse problema é mais evidente na região Nordeste, a qual possui uma área de 155 milhões de hectares, sendo que 52% dessa superfície é semi-árida.

De acordo com Ongley (2000), com a expansão das áreas irrigadas, crescem também os problemas de degradação dos recursos naturais (solo e água), principalmente os relacionados à salinidade e à sodicidade do solo. Esses problemas ocorrem principalmente em regiões áridas e/ou semiáridas, onde a

precipitação anual não garante a lavagem dos sais acumulados, contribuindo decisivamente para o agravamento da salinização dos solos (VIÉGAS et al., 2001).

A lavagem dos sais na zona radicular deve ser conduzida para manter a concentração salina do solo em um nível aceitável (MEIRELES et al., 2003). Já em regiões onde a precipitação é relativamente alta, a estação chuvosa pode assegurar a lavagem dos sais (BEN-HUR et al., 2001).

Pesquisadores como Smedema e Shiati (2002), afirmam que, mesmo em uma visão conservacionista, de três a cinco toneladas de sais são adicionadas por hectare irrigado por ano, nas regiões secas do globo. Souza et al. (2000) reforçam que, em áreas irrigadas, o processo de salinização pode acontecer mesmo em solos com boas características, em especial nas situações em que não existe manejo de solo e água adequado.

Na realidade, a concentração de sais nos solos irrigados apresenta relação direta com a precipitação total anual, com as características físicas do solo e com as condições de drenagem. Sob condições favoráveis, esses sais poderão voltar ao rio ou ao aquífero de origem (BEN-HUR et al., 2001).

Segundo a FAO (2005), as áreas salinizadas continuam aumentando em função da utilização de sistemas de irrigação. As áreas irrigadas são, particularmente, predispostas à salinização. Isso se deve tanto ao uso de água salina, quanto à elevação do lençol freático decorrente do excesso de rega associado a uma drenagem insuficiente.

Os solos salinos apresentam uma concentração de sais suficientemente alta para reduzir o crescimento da maioria das espécies vegetais (FLOWERS, 2004). A salinização causa efeitos negativos nas plantas pela diminuição do potencial osmótico da solução do solo e/ou pelos efeitos de íons específicos. As espécies e cultivares se comportam diferentemente à salinidade do solo. A tolerância das culturas aos sais é afetada pelo estágio de desenvolvimento, duração da exposição, condições ambientais, propriedades do solo, tipo e intensidade do manejo (MAAS, 1990).

O sódio normalmente é o cátion predominante em solos salinos e sua toxicidade pode ser a maior responsável pelos danos causados pelos sais (NEVES, 1999). De acordo com Marschner (1995), as espécies vegetais são caracterizadas como “não-aversas ao sódio” ou “aversas ao sódio”, dependendo das suas reações

no crescimento, suas capacidades para absorvê-lo pela raiz e o seu transporte a longa-distância para a parte aérea. As diferenças na capacidade de absorver sódio pelas raízes e a translocação para a parte aérea são grandes entre espécies vegetais e também substanciais entre genótipos dentro de uma espécie.

O efeito tóxico é considerado quando a presença do íon na solução causa danos diretos à planta. A injúria é usualmente associada à acumulação de concentrações prejudiciais do íon tóxico nos tecidos da planta, que pode não exibir nenhuma mudança em sua composição mineral. Um incremento no conteúdo de sódio causa distúrbios no balanço nutricional, na regulação osmótica e toxidez específica sob condições salinas (NEVES, 1999).

De acordo com Santos e Muraoka (1997), os excessos de íons de sódio provocam alterações nas propriedades físicas do solo. O elevado poder dispersante do sódio reduz a floculação e a estabilidade dos agregados do solo, reduzindo sua porosidade e a capacidade de retenção e de infiltração de água no solo.

Quando é aplicado ao solo um resíduo ou água de irrigação com grande proporção de cátions de baixa valência, por exemplo, o sódio, em relação aos de mais alta valência é aplicada ao solo, a espessura da dupla camada difusa (DCD) aumenta e, nesse caso, há afastamento dos coloides, de tal forma que as forças de repulsão passem a superar as forças de atração entre partículas, ocorrendo a dispersão dos mesmos (MATOS, 1996).

A característica principal desse efeito é a expansão da argila quando umedecida e a contração quando a água é evaporada ou retirada pelas plantas. Se a expansão for exagerada pode ocorrer a fragmentação das partículas provocando a dispersão da argila (NOVAIS, et al., 2007).

O efeito geral da salinidade sobre as plantas corresponde à redução da taxa de crescimento, com folhas menores e, em menor número, assim como a diminuição do potencial osmótico e dispersão das partículas do solo, dificultando sua capacidade de infiltração, causando problemas de toxicidade (PARIDA e DAS, 2005).

A redução no potencial hídrico dos tecidos causada pelo excesso de sais provoca restrição no crescimento, uma vez que as taxas de alongação e de divisão celular dependem diretamente do processo de extensibilidade da parede celular, dessa forma, o balanço osmótico é essencial para o crescimento dos vegetais em

meio salino e qualquer falha nesse balanço resultará em injúrias semelhantes aos da seca, como a perda de turgescência e a redução no crescimento, resultando em plantas atrofiadas, desidratadas e conseqüentemente levando à morte das células (ASHRAF e HARRIS, 2004).

Por outro lado, como função do sódio na nutrição mineral de plantas, três aspectos têm sido considerados: ele é essencial para algumas espécies vegetais, é a extensão na qual ele pode substituir as funções do potássio na planta e pode aumentar o efeito no crescimento (MARSCHNER, 1995).

De acordo com Taiz e Zeiger (2004), a maioria das espécies que utiliza as rotas C_4 e CAM de fixação do carbono requer íons Na^+ . Nessas plantas, o sódio parece ser vital para a regeneração do fosfoenolpiruvato, substrato da primeira carboxilação nas rotas C_4 e CAM. Sob deficiência de sódio, essas plantas exibem clorose e necrose ou deixam de florescer. Muitas espécies C_3 igualmente se beneficiam de uma exposição a baixos níveis de íons sódio. O sódio estimula o crescimento por meio de uma maior expansão celular, além de poder parcialmente substituir o potássio como um soluto osmoticamente ativo.

Segundo Silva (1992), o sódio é essencial para plantas halófitas, as quais o acumulam no vacúolo, a fim de manter seu turgor e crescimento, sendo, há alguns anos, reconhecido, também como essencial para plantas de ciclo C_4 .

As espécies cultivadas podem ser classificadas em tolerantes ou sensíveis e o nível de tolerância, assim como os níveis de sais que são letais, varia grandemente entre as diferentes espécies vegetais e dentro de uma mesma espécie (PARIDA e DAS, 2005). A redução dos componentes de rendimento da cultura do milho, em função do aumento na salinidade do solo, é relatada por diversos autores, dentre eles Willadino et al. (1992), Katerji et al. (2004) e Blanco et al. (2008), que verificaram que a produtividade da cultura do milho foi reduzida, em função do aumento nos níveis de salinidade da água de irrigação.

Gonçalves et al. (2011), em estudos sobre alterações químicas de um Neossolo Flúvico irrigado com águas salinas, verificaram que o aumento da salinidade da água de irrigação promoveu aumentos dos teores de Ca^{2+} , Na^+ e pequenos incrementos dos teores de Mg^{2+} e K^+ do solo. A condutividade elétrica do extrato de saturação do solo aumentou linearmente com o aumento da condutividade elétrica das águas de irrigação.

Garcia et. al (2008), em estudos sobre alterações químicas de dois solos irrigados com água salina, verificaram que a aplicação de água salina, aumentou a disponibilidade de cálcio e sódio trocáveis, soma de bases, CTC potencial e efetiva, saturação por bases, porcentagens de cálcio e sódio trocáveis, razão de adsorção de sódio e as relações cálcio/magnésio e da porcentagem de sódio trocável com a razão de adsorção de sódio. Por outro lado, as porcentagens de potássio e magnésio trocáveis diminuíram, enquanto que os valores de alumínio, H+Al e a saturação por alumínio não foram afetados.

Segundo Azevedo Neto e Tabosa (2000), a salinidade do solo reduziu a produção de massa seca da parte aérea de plântulas da cultura do milho (56 a 74%), das raízes (42 a 66%), da razão parte aérea: raiz (22 a 27%) e da área foliar (54 a 73%).

Muito se sabe sobre aspectos específicos de salinidade (p. ex., os efeitos físicos e químicos sobre o solo, os efeitos fisiológicos sobre as plantas, e a tolerância ao sal pelas plantas), porém é difícil prever o rendimento relativo de um cultivo, mesmo conhecendo-se as informações sobre a qualidade da água, o solo, o clima, e a gestão (GRATTAN, 1994). Isso não é surpreendente, já que planta, solo e os fatores atmosféricos mudam ao longo do tempo e a tolerância ao sal dos cultivos pode variar dependendo da idade, condições do solo, temperatura, umidade, e contaminação do ar (MAAS, 1990).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de agosto a dezembro de 2010, em vasos de polietileno com volume de aproximadamente 15 litros, com dimensões de 27,0 cm de altura, 30,0 cm de diâmetro superior e 22,0 cm de diâmetro inferior, em casa de vegetação na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES), com coordenadas geográficas de 20° 45' S, 41° 29' W e altitude de 119 m, no município de Alegre, Espírito Santo.

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado no esquema de parcelas subdivididas 5 x 4 com três repetições, em que cada vaso com uma planta correspondeu a uma unidade experimental. As parcelas constituíram-se em cinco condutividades elétricas da água de irrigação, com condutividades de 0,1; 0,8; 1,6; 2,4 e 3,2 dS m⁻¹. As subparcelas foram constituídas de quatro fases fenológicas da cultura correspondentes ao crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

As fases fenológicas da cultura foram caracterizadas, sendo a fase crescimento vegetativo evidente aos 28 dias após emergência, apresentando 8 folhas totalmente desdobradas, a fase floração aos 60 dias após emergência, a fase de enchimento de grãos aos 84 dias após a emergência, com caracterização de grãos leitosos e a fase maturação fisiológica, aos 120 dias após a emergência.

O solo utilizado no experimento foi retirado do perfil natural de um Latossolo Vermelho-Amarelo existente na área experimental do CCA/UFES, que depois de destorroado, seco ao ar e peneirado em malha de quatro milímetros, foi retirada uma amostra que foi encaminhada para o Laboratório de Análise de Fertilizantes, Resíduos, Solo e Plantas (LAFARSOL), para caracterização de seus atributos químicos.

De acordo com a interpretação de Prezotti et al. (2007), com relação aos limites do nível de fertilidade do solo adotados para o Estado do Espírito Santo, os parâmetros analisados, cálcio, magnésio, capacidade de troca de cátions potencial e efetiva, soma de bases e saturação por bases apresentaram valores médios. O potencial hidrogeniônico apresentou acidez média, os teores de fósforo, potássio, alumínio e sódio, índice de saturação por sódio, saturação por alumínio e acidez potencial apresentaram valores baixos, conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química dos atributos do solo utilizado no experimento

Atributos	
Potencial Hidrogeniônico	5,70
Teor de Fósforo (mg dm^{-3})	7,00
Teor de Potássio (mg dm^{-3})	35,00
Teor de Cálcio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,80
Teor de Magnésio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,90
Teor de Sódio (mg dm^{-3})	32,00
Índice de saturação por sódio (%)	2,84
Alumínio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,00
Saturação por alumínio (%)	0,00
Acidez Potencial ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,00
Capacidade de troca de cátions potencial ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	4,90
Capacidade de troca de cátions efetiva ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,90
Saturação por bases (%)	59,18
Soma de bases ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,90

Todos os vasos receberam o mesmo volume de solo. A cultivar de milho utilizada no experimento foi a PL 6880, sendo a semeadura feita manualmente, nos vasos com três sementes por vaso. Aos 10 dias após a semeadura, foi feito o desbaste, permanecendo uma planta por vaso.

A água salina foi preparada mediante a adição de NaCl e CaCl_2 nas quantidades necessárias para se obter as condutividades elétricas descritas anteriormente, com relação iônica em peso equivalente a 3Na:2Ca, relação esta predominante nas águas salinas utilizadas na irrigação, principalmente no nordeste do país, conforme citado por Medeiros (1992).

Para elevar a condutividade elétrica da água de irrigação às condutividades de 0,1; 0,8; 1,6; 2,4 e 3,2 dS m^{-1} utilizou-se 0,03 g de NaCl e 0,02 g de CaCl_2 ; 0,28 g de NaCl e 0,18 g de CaCl_2 ; 0,55 g de NaCl e 0,37 g de CaCl_2 ; 0,82 g de NaCl e 0,55 g de CaCl_2 ; 1,1 g de NaCl e 0,73 g CaCl_2 , respectivamente, para cada litro de água.

A quantidade de água a ser aplicada nos vasos foi determinada utilizando-se a pesagem dos vasos. O solo foi saturado com água e posteriormente foi monitorada

a variação do peso dos vasos. Quando estes atingiram peso constante, teve-se, então, o peso que correspondia à capacidade de campo.

Antes de cada irrigação, eram pesados diferentes vasos de cada tratamento e a diferença entre o peso atual e aquele correspondente à capacidade de campo, correspondia ao peso (volume) da água de reposição. Nas respectivas fases fenológicas estudadas, eram feitas novamente o mesmo procedimento de determinação do peso dos vasos na capacidade de campo, a fim de calibrar os pesos dos vasos e as plantas de milho, visto que as mesmas se desenvolviam, alterando o peso dos vasos.

Os vasos foram submetidos ao regime de irrigação com os cinco níveis de salinidade durante todo o ciclo da cultura, obedecendo a um turno de rega de três dias. A irrigação com água doce e água salina iniciou-se a partir da semeadura. Durante o experimento, as plantas foram regadas de forma manual, utilizando-se um regador com as respectivas águas. Foram realizadas quatro adubações de cobertura, sendo três adubações nitrogenadas aos 20, 40 e 70 dias após o plantio (DAP), na dose de 60 kg/ha de N, na forma de sulfato de amônio e uma adubação potássica aos 30 DAP, na dose de 20 kg/ha de K, na forma de cloreto de potássio (PREZOTTI, et al., 2007).

Foram plantados 60 vasos com as sementes da cultivar de milho PL 6880. Ao final de cada fase fenológica, crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, foram retiradas três amostras de solo para cada condutividade elétrica da água de irrigação (0,1; 0,8; 1,6; 2,4 e 3,2 dS m⁻¹), totalizando 15 amostras de solo nas respectivas fases. Ao final de cada fase fenológica, eliminava-se então 15 vasos com plantas, restando no final da última fase avaliada, maturação fisiológica, 15 vasos com plantas para avaliação.

Para avaliar os efeitos da irrigação com diferentes condutividades elétricas sobre os atributos químicos do solo em cada fase fenológica descrita anteriormente, as amostras de solo foram devidamente identificadas e encaminhadas ao laboratório para determinação da condutividade elétrica do extrato do solo saturado, potencial hidrogeniônico, teor de alumínio, teores de cálcio, sódio, fósforo, magnésio e potássio, segundo metodologia proposta pela EMBRAPA (2009).

A partir dos resultados obtidos pela análise do complexo sortivo, foram calculados a saturação de bases (V), a soma de bases (SB), saturação por alumínio

(m), capacidade de troca de cátions potencial (T) e capacidade de troca de cátions efetiva (t), índice de saturação por sódio (ISNa), conforme as seguintes equações:

$$V (\%) = \frac{SB}{T} \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

$$SB (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ \quad \text{Eq. (2)}$$

$$m (\%) = \frac{\text{Al}^{3+}}{t} \times 100 \quad \text{Eq. (3)}$$

$$T (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = SB + (\text{H} + \text{Al}) \quad \text{Eq. (4)}$$

$$t (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = SB + \text{Al}^{3+} \quad \text{Eq. (5)}$$

$$\text{ISNa} (\%) = \frac{\left(\frac{\text{Na}^+}{230}\right)}{T} \times 100 \quad \text{Eq. (6)}$$

Os efeitos da irrigação com água de diferentes condutividades elétricas sobre o crescimento do milho consistiu-se na determinação da massa seca da parte aérea e das raízes. O material vegetal foi coletado ao final de cada fase fenológica da cultura, retirando-se três amostras para cada condutividade elétrica da água de irrigação (0,1; 0,8; 1,6; 2,4 e 3,2 dS m⁻¹), totalizando 15 amostras de material vegetal nas respectivas fases e posteriormente encaminhado ao laboratório. Ao final de cada fase fenológica, eliminava-se então 15 vasos com plantas, restando no final da última fase avaliada, maturação fisiológica, 15 vasos com plantas para avaliação.

Foi realizada a separação da parte aérea e das raízes, seguidas da pesagem individual da matéria verde em balança semi-analítica. Posteriormente, o material foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e encaminhados para secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C, pelo período de 72 h. Após esse período, determinou-se a massa seca da parte aérea e das raízes, pesando-se o material seco em balança semianalítica.

A área foliar foi determinada na forma de discos de área conhecida, em que seu valor foi igual à relação entre o peso total das folhas secas e peso dos discos secos multiplicada pela área dos discos (cm^2), segundo metodologia proposta por Benincasa (2003). A área foliar foi estimada por intermédio de impressões das folhas em papel de densidade homogênea.

Foram retiradas todas as folhas da cultivar de milho PL 6880. Foram feitos os contornos das impressões das lâminas foliares e os mesmos foram recortados para obtenção da área de cada folha pelo método gravimétrico. Para tanto, pesou-se os recortes impressos dos contornos das folhas sobrepostas em papel de densidade homogênea em balança semianalítica, comparando-os com o peso do recorte de área conhecida do mesmo papel.

Antes das pesagens os contornos foliares e o contorno do quadrado de papel de área conhecida, foram colocados no interior de um dessecador até obtenção de peso constante. Após as pesagens dos recortes de papel, foram feitas as medições das impressões foliares relativas às maiores larguras, na posição mediana do limbo, perpendicularmente às linhas dos maiores comprimentos. De posse dos valores do peso seco dos discos de cada tratamento, a área foliar foi então estimada conforme a equação:

$$AFO = Ad \times \frac{Pd+Pf}{Pd} \quad \text{Eq. (7)}$$

$$Ad = (\pi R^2) \times nd \quad \text{Eq. (8)}$$

Em que:

AFO – área foliar,

Ad – área dos discos,

Pd – peso seco dos discos,

Pf – peso seco do resto das folhas,

nd – número de discos.

Ao final do experimento, determinou-se o número médio de grãos produzidos por planta e o peso de grãos por planta.

Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância, teste de média (Scott e Knott) e regressão, a 5% de probabilidade, em que os modelos escolhidos foram baseados na significância dos coeficientes de regressão e coeficiente de determinação da característica estudada. Toda a análise estatística foi realizada utilizando o software SAEG 9.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Alterações nos atributos químicos do solo, decorrentes do uso de diferentes condutividades elétricas da água de irrigação.

A interação, condutividade elétrica da água de irrigação e fases fenológicas da cultura foi significativa para os atributos químicos do solo estudados: condutividade elétrica do extrato do solo saturado, pH, alumínio, saturação por alumínio, cálcio, sódio, índice de saturação por sódio, soma de bases, saturação por bases, capacidade de troca de cátions potencial e capacidade de troca de cátions efetiva (Tabelas em anexo).

Na Figura 1, está apresentada a condutividade elétrica do extrato do solo saturado (CEes) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

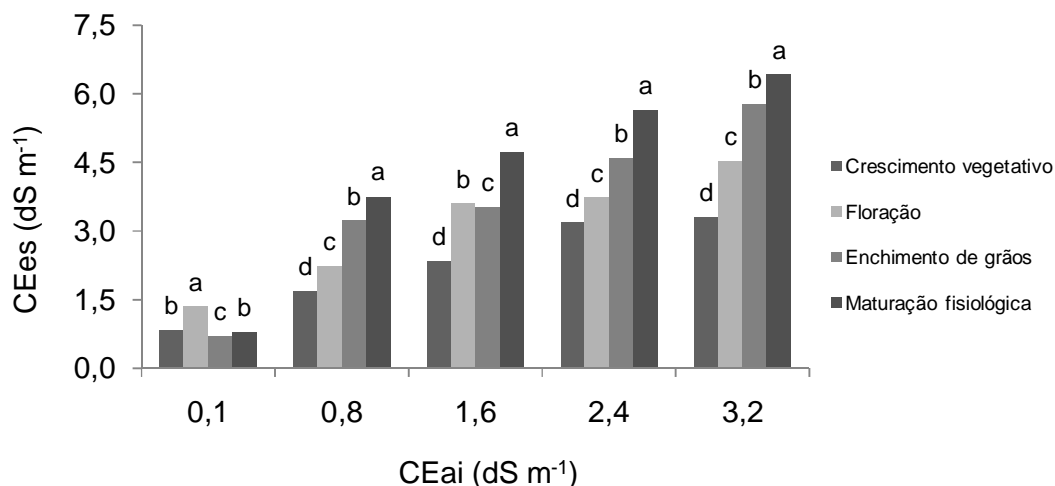


Figura 1 - Valores médios da condutividade elétrica do extrato do solo (CEes) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Scott e Knott.

Observou-se que a condutividade elétrica do extrato do solo diferiu significativamente nas fases fenológicas da cultura para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação, sendo que as maiores condutividades do extrato solo foram obtidas na fase de maturação fisiológica e menores na fase de crescimento vegetativo para as condutividades da água de 0,8; 1,6; 2,4 e 3,2 dS m⁻¹. Com a aplicação da água com condutividade de 0,1 dS m⁻¹, observou-se maior condutividade do extrato do solo na fase da floração e menor condutividade na fase de enchimento de grãos.

O aumento da salinidade do solo foi gradativo nas fases fenológicas crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, com a aplicação das águas com condutividades de 0,8; 2,4 e 3,2 dS m⁻¹.

Com a aplicação das águas com as condutividades de 0,1 e 1,6 dS m⁻¹, houve acréscimo da salinidade do solo até a fase floração e na fase enchimento de grãos houve decréscimo. À medida que a planta vai se desenvolvendo passa a ter maior demanda por nutrientes, principalmente na fase de enchimento de grãos, o que pode explicar tal redução.

Na água com condutividade de 0,1 dS m⁻¹, o aporte de sais no solo é baixo, dessa forma a exigência da planta por nutrientes é evidenciada com a retirada dos sais no solo, principalmente na fase de enchimento de grãos, contribuindo para os menores valores de condutividade nessa fase. No entanto, mesmo a água com condutividade de 1,6 dS m⁻¹, observou-se o mesmo fenômeno, provavelmente pelo mesmo motivo.

Na Figura 2, está apresentado o comportamento da condutividade elétrica do extrato do solo (CEes), em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

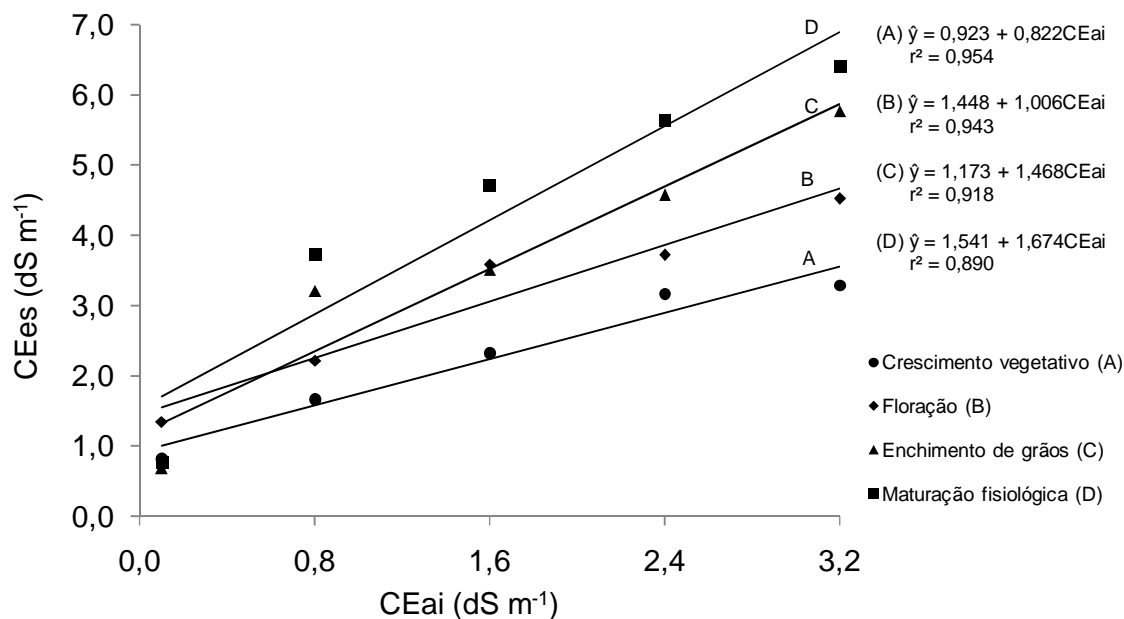


Figura 2 - Comportamento da condutividade elétrica do extrato do solo (CEes) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo (A), floração (B), enchimento de grãos (C) e maturação fisiológica (D).

Observou-se aumento linear da salinidade do solo em todas as fases fenológicas, verificando aumento pronunciado da condutividade do extrato do solo saturado em função do aumento das condutividades elétricas da água de irrigação, conforme observado pelas inclinações das retas das equações de regressão. Em geral, a condutividade elétrica do extrato o solo saturado apresentou valores acima de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, que segundo Bernardo et al., (2008), a partir dessa condutividade, caracteriza-se solo salino.

A composição química do solo é influenciada pelos processos de troca durante o contato solo-água e a aplicação de água salina num solo sem problemas de salinidade pode torná-lo salino. A aplicação de águas com condutividades elétricas diferentes pode promover um aporte de sais no solo, principalmente de sódio e cálcio, que são os sais mais encontrados nas águas de irrigação, demonstrando que a concentração de sais no solo para culturas irrigadas pode ser afetada pela condutividade elétrica da água de irrigação.

Resultados semelhantes foram reportados por Gurgel et al. (2003), na avaliação da evolução da salinidade no solo utilizando diferentes níveis de salinidade das águas no cultivo de melão irrigado.

Santana et al. (2003), analisando o efeito da água de irrigação com diferentes condutividades elétricas, em um solo cultivado com o feijoeiro, encontraram valores semelhantes com acréscimos da salinidade do solo para as condutividades de 1,0 e 2,5 dS m^{-1} . Gervásio et al. (2000), trabalhando com alface-americana e irrigando sob diferentes condutividades elétricas da água de irrigação, também encontraram valores elevados de sais no extrato do solo com o aumento da condutividade elétrica da água, após a colheita da cultura.

Na Figura 3, está apresentado o potencial hidrogeniônico (pH) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

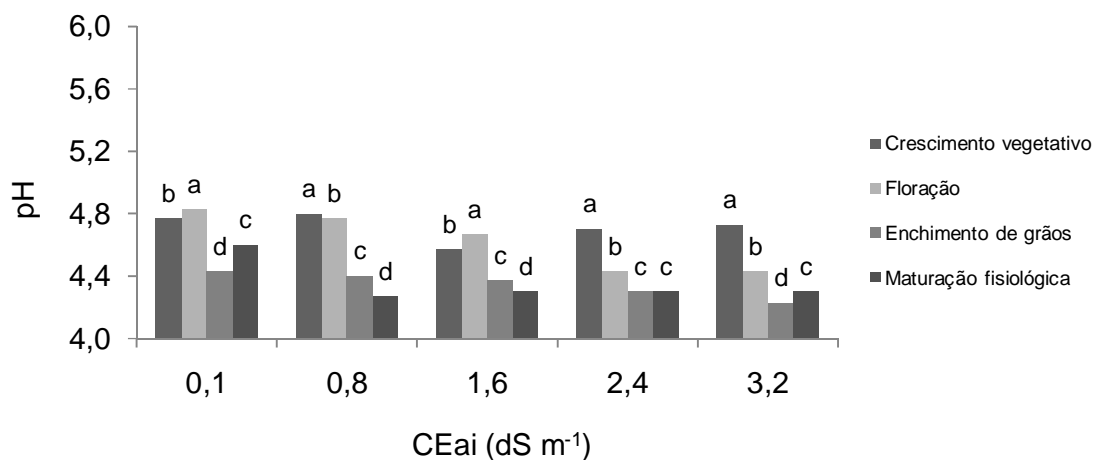


Figura 3 - Valores médios do potencial hidrogeniônico (pH) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott e Knott.

Observou-se que o pH diferiu significativamente nas fases fenológicas para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação, sendo que os maiores

valores foram obtidos nas fases de floração, com a aplicação de água com condutividades de 0,1 e 1,6 dS m⁻¹ e na fase crescimento vegetativo com a aplicação de água com condutividades de 0,8; 2,4 e 3,2 dS m⁻¹. Os menores valores de pH foram obtidos na fase de enchimento de grãos, com a aplicação de água com condutividades de 0,1; 2,4 e 3,2 dS m⁻¹ e na fase da maturação fisiológica, com a aplicação de água com condutividades de 0,8; 1,6 e 2,4 dS m⁻¹.

As variações de pH no solo podem ser atribuídas pela adubação nitrogenada na forma de sulfato de amônio gerando acidez pela liberação de íons H⁺, e raízes que liberam íons H⁺ e OH⁻, em função do balanço entre a absorção de cátions e ânions entre a raiz e o solo.

Na Figura 4, apresenta-se o comportamento do potencial hidrogeniônico (pH) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

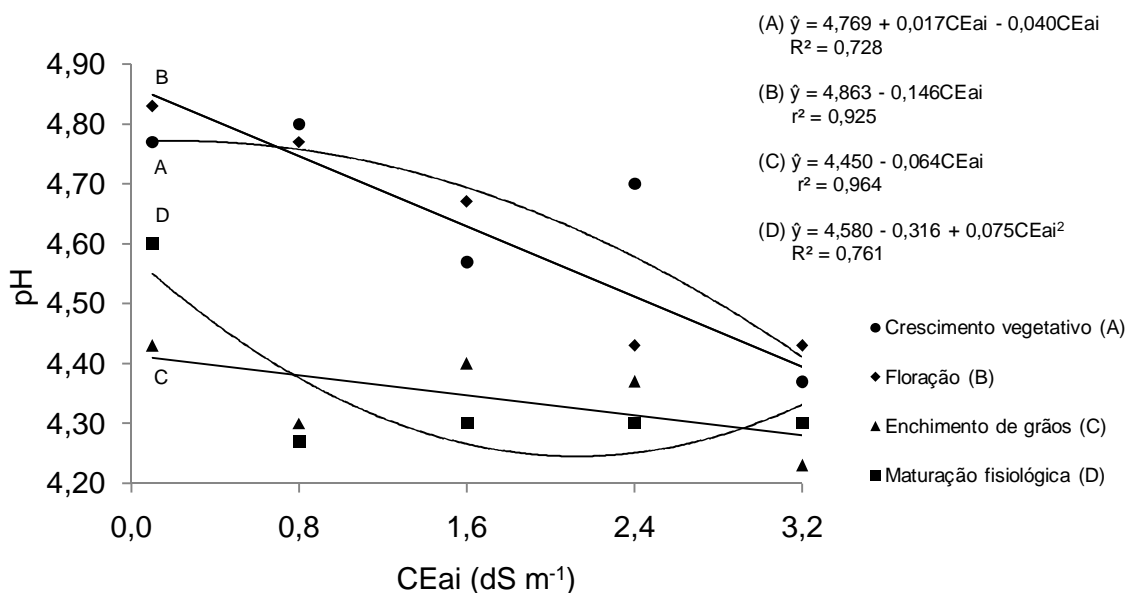


Figura 4 - Comportamento do potencial hidrogeniônico (pH) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo (A), floração (B), enchimento de grãos (C) e maturação fisiológica (D).

Observou-se relação quadrática com redução do pH a partir da condutividade elétrica com $0,2 \text{ dS m}^{-1}$, com o aumento das condutividades elétricas da água de irrigação na fase de crescimento vegetativo (A), redução linear com o aumento das condutividades para as fases de floração e enchimento de grãos (B e C) e relação quadrática na fase de maturação fisiológica (D) com redução do pH até a condutividade de $2,1 \text{ dS m}^{-1}$ e a partir desta, houve acréscimo.

Os valores do pH observados podem ser influenciados por alguns fatores, entre eles, o efeito de sais solúveis, os quais afetam a força iônica da solução do solo, e esta por sua vez afeta a atividade dos íons H^+ . O decréscimo dos valores do pH, com a aplicação de água de irrigação com diferentes condutividades elétricas, pode ser atribuído à adição de CaCl_2 ao solo via água de irrigação, resultando no aumento da concentração dos íons de H^+ na solução do solo em razão da troca iônica entre os cátions presentes na água salina e os íons H^+ e Al^{3+} do complexo de troca (BRADY, 1989).

Resultados semelhantes foram obtidos por Freitas et al. (2007), em estudos sobre alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina e por Gomes et al. (2000), em cultivo de arroz .

Na Figura 5, apresenta-se o teor de alumínio (Al^{3+}) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

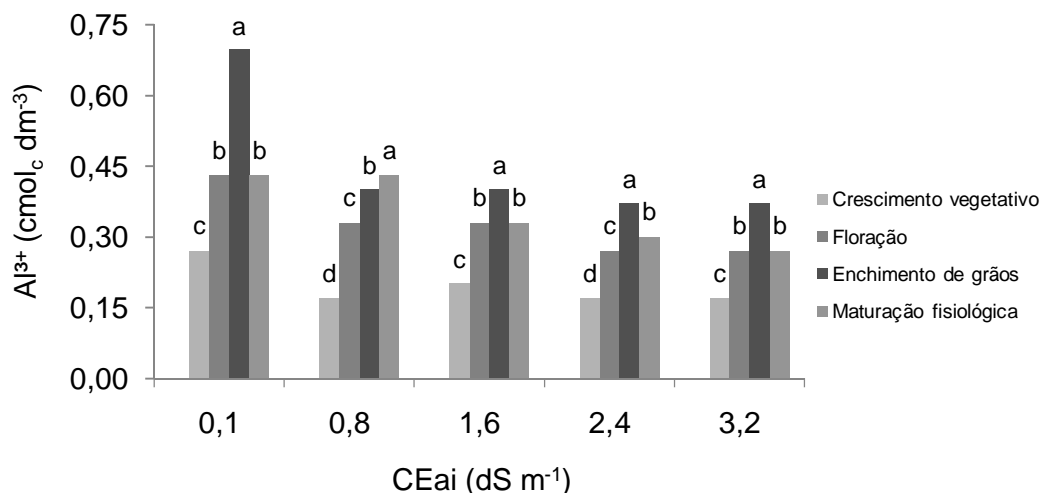


Figura 5 - Valores médios do teor alumínio (Al^{3+}) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott e Knott.

O teor de alumínio (Al^{3+}) diferiu significativamente nas fases fenológicas da cultura para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação, aumentando seus valores da fase crescimento vegetativo ao enchimento de grãos, e decréscimo para a fase seguinte (maturação fisiológica), exceto quando foi utilizada água com condutividade de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$, observando-se crescimento gradativo até a fase da maturação fisiológica. Os menores teores de alumínio foram observados na fase de crescimento vegetativo.

As variações do teor de alumínio estão inversamente relacionadas às variações do pH, conforme apresentado na Figura 3. O aumento dos teores de alumínio, até a fase de enchimento de grãos está relacionado à retirada de nutrientes pela cultura, principalmente na fase de enchimento de grãos, por ser uma fase de grande demanda por nutrientes. Já o decréscimo dos teores de alumínio, pode ser evidenciado na fase de maturação fisiológica, por ser uma fase de baixa demanda de nutrientes, possibilitando que o cálcio e o sódio reajam no solo, deslocando o alumínio.

Na Figura 6, apresenta-se o comportamento do teor de alumínio (Al^{3+}) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

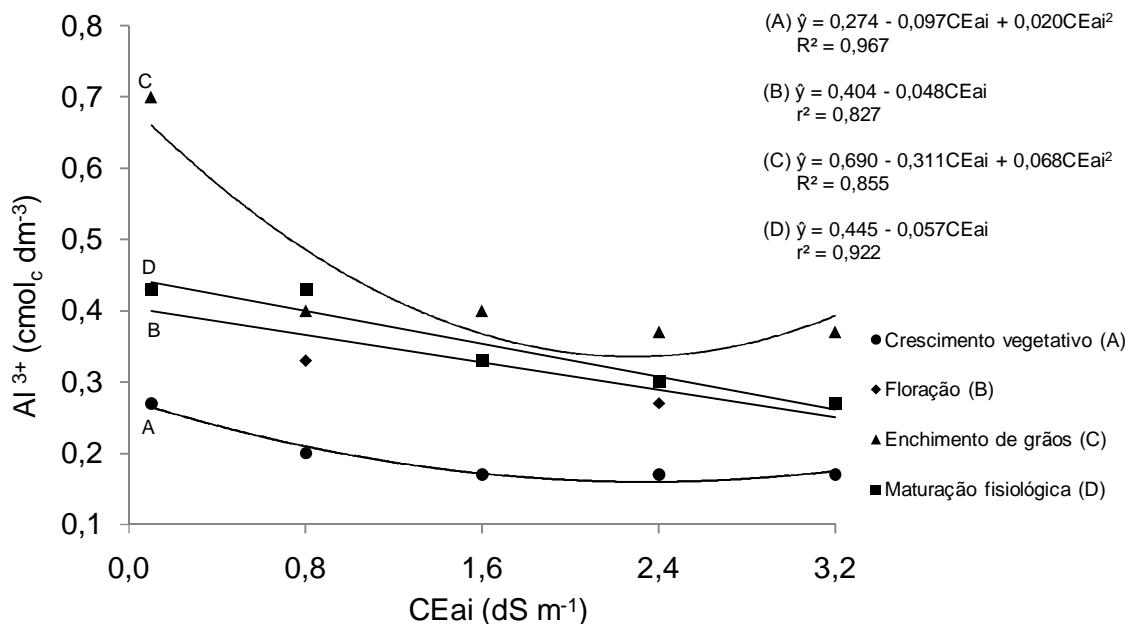


Figura 6 - Comportamento do teor de alumínio (Al^{3+}) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo (A), floração (B), enchimento de grãos (C) e maturação fisiológica (D).

Observou-se relação quadrática com redução do teor de alumínio com o aumento das condutividades elétricas da água de irrigação nas fases de crescimento vegetativo e enchimento de grãos (A e C) até as condutividades de $2,4 \text{ dS m}^{-1}$ e $2,3 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente, e a partir destas, houve acréscimo. Para as fases de floração e maturação fisiológica (B e D), houve redução linear com o aumento das condutividades.

Conforme observado na Figura 6 (A e C), o decréscimo dos teores de alumínio até a condutividade de $2,4$ e $2,3 \text{ dS m}^{-1}$ e a partir destas, acréscimos, podem ser explicados pelo mesmo comportamento observado na Figura 5.

A maioria das plantas cultivadas apresenta dificuldade de crescimento em solos ácidos, fato que se deve principalmente à presença de alumínio solúvel em

níveis tóxicos. Mesmo em pH ácido o decréscimo dos teores de alumínio observados pode ser explicado pelo aporte de cálcio e sódio por meio das águas utilizadas na irrigação, aumentando os teores desses íons na solução do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Freitas et al. (2007), em estudos sobre alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina. Campos et al. (2009) verificaram redução nos teores de alumínio trocável com o aumento da salinidade, fato que provavelmente se deve principalmente ao aumento dos teores de sódio trocável na solução do solo.

Na Figura 7, estão apresentados os valores da saturação por alumínio (m) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

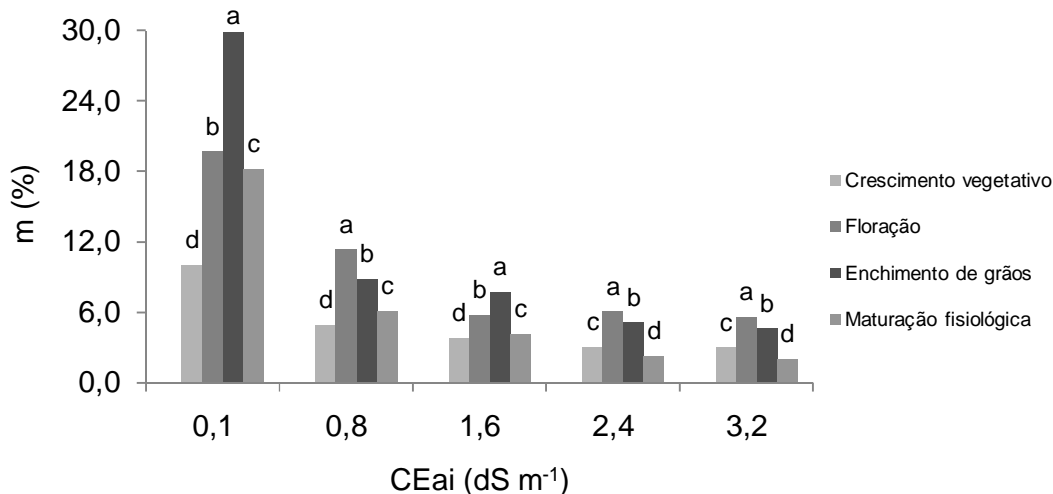


Figura 7 - Valores médios de saturação por alumínio (m) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott e Knott.

A saturação de alumínio (m) diferiu significativamente nas fases fenológicas da cultura para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação, aumentando da fase de crescimento vegetativo ao enchimento de grãos e,

decrecendo para a fase seguinte (maturação fisiológica), nas condutividades 0,1 e 1,6 dS m⁻¹. Quando foi utilizada água com condutividades de 0,8; 2,4 e 3,2 dS m⁻¹, observou-se crescimento até a fase de floração, e decréscimo da fase de enchimento de grãos até a maturação fisiológica.

Os menores valores foram observados na fase de crescimento vegetativo, com aplicação de água com condutividades de 0,1; 0,8 e 1,6 dS m⁻¹, e na fase de maturação fisiológica com aplicação de água com condutividades de 2,4 e 3,2 dS m⁻¹. Tanto para os acréscimos e decréscimos dos valores da saturação por alumínio nas fases fenológicas estudadas, podem ser explicados pelos mesmos motivos explicados para os teores de alumínio, conforme observado na Figura 5.

Na Figura 8, apresenta-se o comportamento da saturação por alumínio (m) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

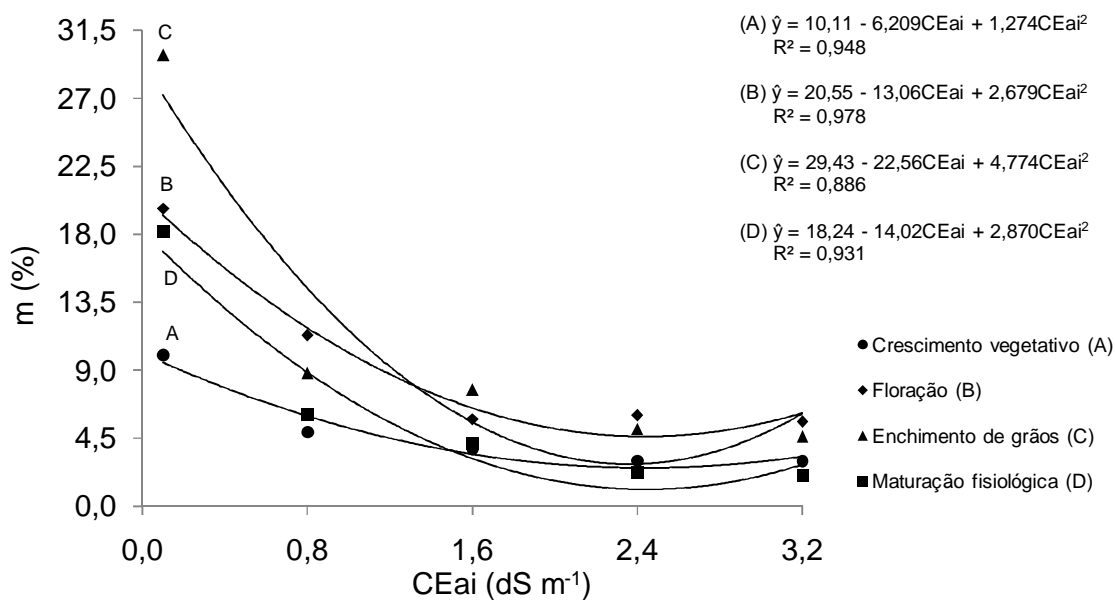


Figura 8 - Comportamento da saturação por alumínio (m) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo (A), floração (B), enchimento de grãos (C) e maturação fisiológica (D).

Observa-se que a saturação por alumínio diminuiu com o aumento das condutividades elétricas da água de irrigação, apresentando relação quadrática, em todas as fases fenológicas, com redução de seus valores até a condutividade de 2,4 dS m⁻¹ para todas as fases fenológicas, a partir dessa condutividade houve acréscimo.

Em geral, observou-se que os resultados encontrados estão abaixo do percentual de 20% recomendado por Prezotti et al. (2007), exceto para a fase de enchimento de grãos (C), que apresentou valor percentual máximo na ordem de 29,87% na condutividade de 0,1 dS m⁻¹ e decréscimos com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação até a condutividade de 2,4 dS m⁻¹ com pequeno acréscimo da saturação por alumínio a partir dessa condutividade, no entanto, todas as fases fenológicas apresentaram reduções abaixo dos 6%, que segundo Osaki (1991), não é prejudicial. Essa redução está associada à adição de sódio e cálcio, que desloca o alumínio trocável através do complexo de troca e por consequência, aumenta os teores desses elementos retidos no solo.

Na Figura 9, está apresentado o teor de cálcio (Ca²⁺) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

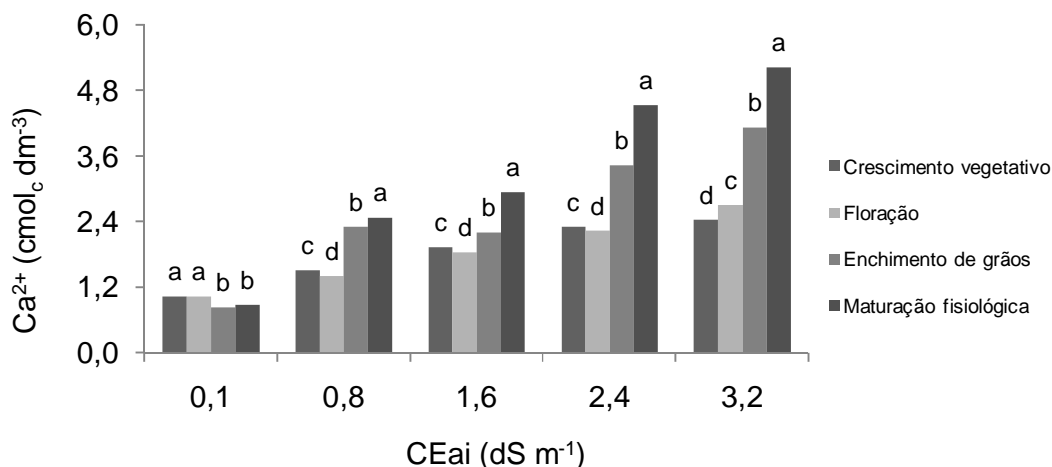


Figura 9 - Valores médios do teor de cálcio (Ca^{2+}) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott e Knott.

O teor de cálcio (Ca^{2+}) diferiu significativamente nas fases fenológicas da cultura para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação, observando-se decréscimo a partir da fase de crescimento vegetativo, na condutividade de 0,1 dS m⁻¹, aumento gradativo da fase crescimento vegetativo à maturação fisiológica com aplicação de água com condutividade de 3,2 dS m⁻¹.

Com a aplicação de água com condutividades de 0,8; 1,6 e 2,4 dS m⁻¹ houve decréscimo dos teores de cálcio da fase de crescimento vegetativo à fase floração, posteriormente, houve aumento dos teores de cálcio nas fases subsequentes, enchimento de grãos e maturação fisiológica. Os decréscimos dos teores de cálcio com a aplicação de com condutividade de 0,1 dS m⁻¹, podem ser explicados pelo fato de que nas fases que apresentaram menores teores, a planta absorveu nutrientes para seu desenvolvimento.

No entanto, mesmo com a aplicação de água com condutividades mais elevadas, 0,8; 1,6 e 2,4 dS m⁻¹, as reduções dos teores de cálcio na fase da floração podem ser explicadas pelo mesmo comportamento da planta. Se a atividade do cálcio decresce em solução, através da absorção pelas plantas, há um

deslocamento de íons Ca^{2+} da fase sólida para a fase líquida. Por outro lado, se a atividade de cálcio na solução aumenta através do incremento via água de irrigação, há uma adsorção dos íons Ca^{2+} pelos coloides.

A Figura 10 apresenta o comportamento do teor de cálcio (Ca^{2+}) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

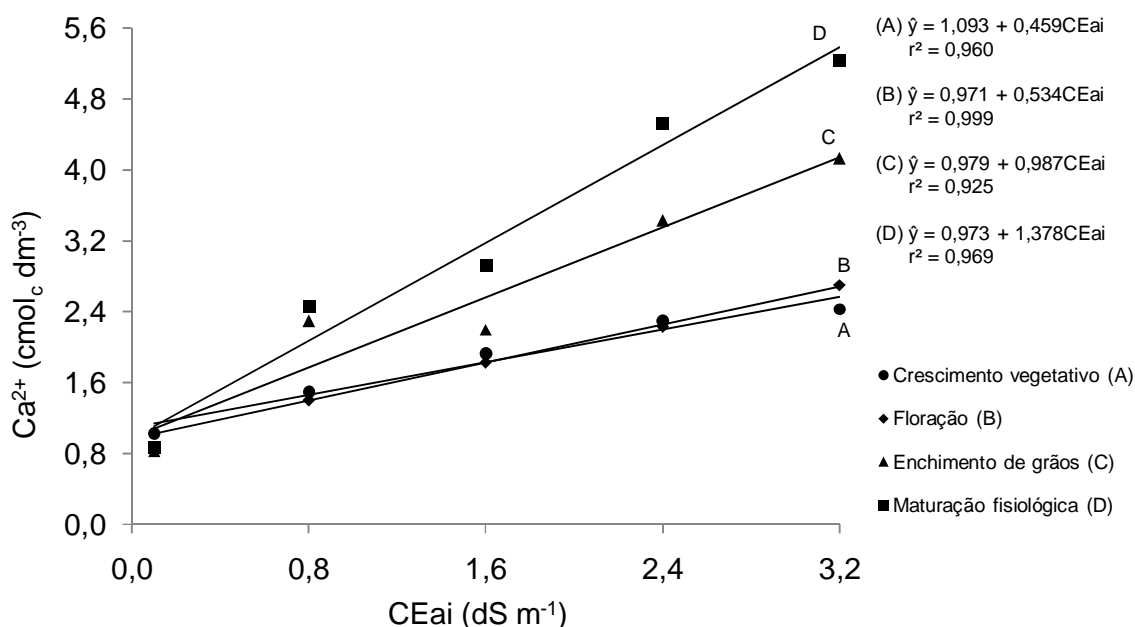


Figura 10 - Comportamento do teor de cálcio (Ca^{2+}) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo (A), floração (B), enchimento de grãos (C) e maturação fisiológica (D).

Observou-se aumento linear dos teores de cálcio no solo em todas as fases fenológicas, verificando aumento pronunciado dos teores de cálcio com o aumento das condutividades elétricas da água de irrigação em função das fases fenológicas, conforme observado pelas inclinações das retas das equações de regressão.

Teores de cálcio no solo entre 1,5 a 4,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ podem ser considerados como médio (PREZOTTI et al., 2007). De maneira geral, observou-se que os resultados encontrados estão dentro do teor médio recomendado, exceto para a fase fenológica, maturação fisiológica (D), que apresentou valor máximo na ordem

de $5,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na condutividade de $3,2 \text{ dS m}^{-1}$, esse aumento é devido à adição de CaCl_2 ao solo via água de irrigação.

Esses resultados corroboram com os obtidos por Almeida e Gisbert (2002), que estudaram o efeito da utilização de água de drenagem em diferentes frações de lixiviação em um solo argiloso; com os obtidos por Gonçalves et al. (2011), em estudos sobre alterações químicas de um Neossolo Flúvico irrigado com águas salinas e, com os obtidos por Lima et al. (2008), que analisaram o desenvolvimento da mamoneira, cultivada em vasos, sob diferentes condutividades elétricas da água em Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico.

A Figura 11 apresenta o teor de sódio (Na^+) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

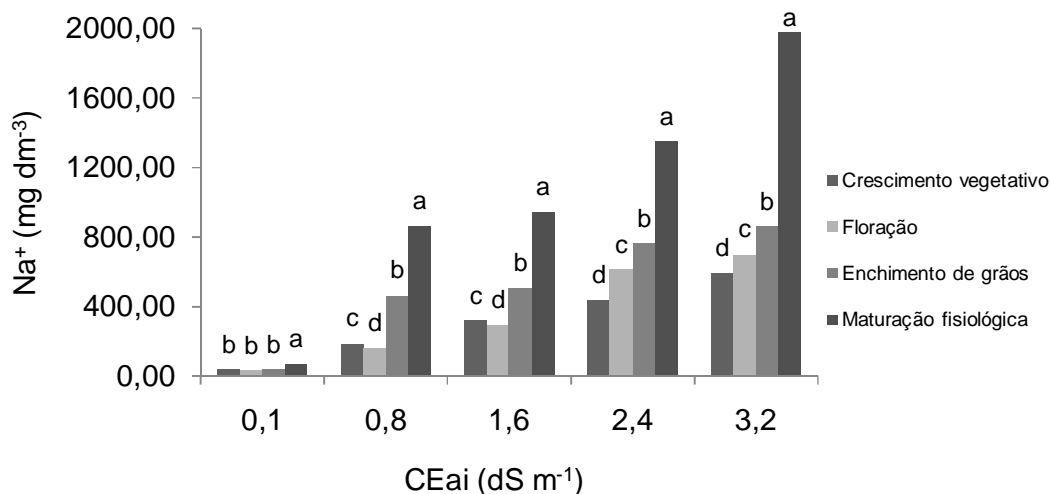


Figura 11 - Valores médios do teor de sódio (Na^+) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott e Knott.

Observa-se que o teor de sódio no solo manteve-se praticamente constante do crescimento vegetativo ao enchimento de grãos, aumentando na maturação fisiológica, quando aplicado água com condutividade de $0,1 \text{ dS m}^{-1}$. Observa-se

diminuição dos teores de sódio da fase crescimento vegetativo à floração e, posteriormente, aumento até a fase maturação fisiológica, com a aplicação de água com condutividades de 0,8 e 1,6 dS m⁻¹. Quando aplicadas águas com condutividades de 2,4 e 3,2 dS m⁻¹, observou-se crescimento gradativo dos teores de sódio. Os maiores valores de teores de sódio foram observados na fase da maturação fisiológica e menores teores na fase crescimento vegetativo, exceto quando aplicadas águas com condutividades de 0,8 e 1,6 dS m⁻¹, observando menores teores na fase da floração.

De modo geral, os teores de sódio tiveram acréscimos significativos com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, devido ao aporte de sódio (NaCl) presentes na composição da água de irrigação, atribuindo esse fato à elevada solubilidade dos cloretos.

A Figura 12 apresenta o comportamento do teor de sódio (Na⁺) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

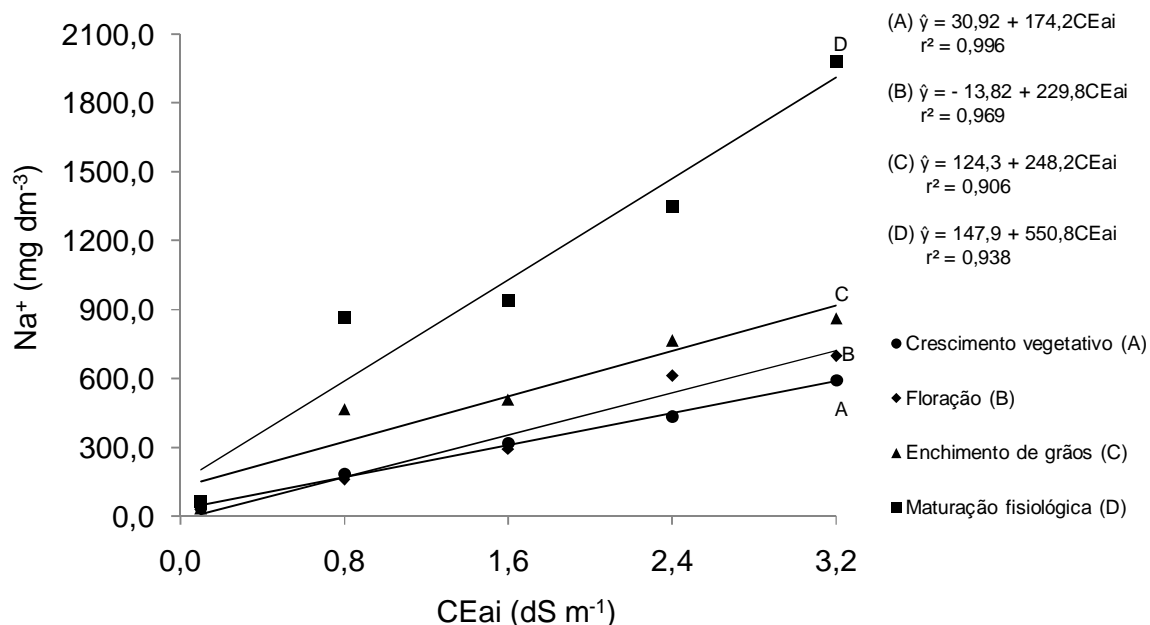


Figura 12 - Comportamento do teor de sódio (Na⁺) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo (A), floração (B), enchimento de grãos (C) e maturação fisiológica (D).

Observou-se incremento linear positivo dos teores de sódio em todas as fases fenológicas, com o aumento das condutividades elétricas da água de irrigação em função das fases fenológicas, conforme observado pelas inclinações das retas das equações de regressão. O aumento dos teores de sódio indica o início da primeira etapa do processo de sodificação, que leva à formação dos solos sódicos, pois quando a concentração de sais de sódio atinge valores muito altos, o Na^+ solúvel começa a ser adsorvido pelo complexo de troca (SILVA et al., 2007).

O aumento do teor sódio pode ser explicado, além da água salina utilizada nas irrigações possuir íons de Na^+ na sua composição, também pela passagem do sódio para o complexo de troca, principalmente quando o mesmo constitui a metade ou mais dos cátions solúveis da solução do solo. Nessas condições, o cálcio por ser menos solúvel, precipita-se à medida que a solução do solo se concentra, em consequência da evaporação, deixando o sódio como o único cátion na solução.

Campos et. al (2009), em estudos sobre alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina, verificaram aumento nos teores de sódio, na razão de adsorção de sódio e na percentagem de sódio trocável em um Latossolo Amarelo Distrófico e um Espodossolo Cárbico Hidromórfico, de forma similar aos resultados obtidos neste trabalho, devido ao incremento da salinidade da água de irrigação.

Holanda Filho et al. (2011) também obtiveram comportamento semelhante aos apresentados neste trabalho, verificando a influência do uso de água salina nos atributos químicos do solo e no estado nutricional da mandiocueira, em que observaram que os teores de sódio foram superiores nos tratamentos que receberam água salina, assim como Freire et al. (2003), que verificaram aumento da porcentagem de sódio trocável em nove solos do estado de Pernambuco, com o aumento da salinidade da água de irrigação.

A Figura 13 apresenta os valores do índice de saturação por sódio (ISNa) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

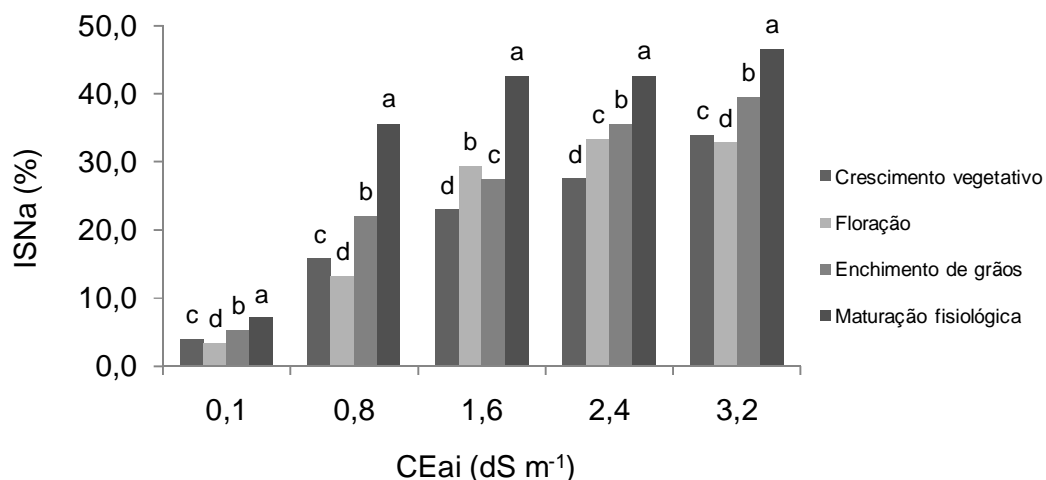


Figura 13 - Valores médios do índice de saturação por sódio (ISNa) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott e Knott.

O índice de saturação por sódio aumentou ao longo das fases fenológicas com aplicação de água de irrigação com diferentes condutividades elétricas, atingindo maiores valores na maturação fisiológica. Menores valores foram observados na fase floração, quando utilizadas águas com condutividades de 0,1; 0,8 e 3,2 dS m⁻¹, e na fase crescimento vegetativo, quando aplicadas águas com condutividades de 1,6 e 2,4 dS m⁻¹.

Com a aplicação das águas com condutividades de 0,1; 0,8; 1,6; 2,4 e 3,2 dS m⁻¹, observaram-se acréscimos, da fase de crescimento vegetativo à fase maturação fisiológica, apresentando maiores valores nesta fase, esse aumento pode ser explicado pelo incremento de sais NaCl presentes na composição da água de irrigação e ao maior tempo de irrigação.

No entanto, com a aplicação das águas com condutividades de 0,1; 0,8; e 3,2 dS m⁻¹ houve decréscimo da fase de crescimento vegetativo à fase da floração e com a aplicação da água com condutividade de 1,6 dS m⁻¹ foi observado decréscimo da fase de floração à fase de enchimento de grãos. Tanto para os acréscimos e

decréscimos dos valores do índice de saturação por sódio nas fases fenológicas estudadas, podem ser explicados pelos mesmos motivos explicados para os teores de sódio, conforme observado na Figura 11.

A Figura 14 apresenta o comportamento do índice de saturação por sódio (ISNa) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

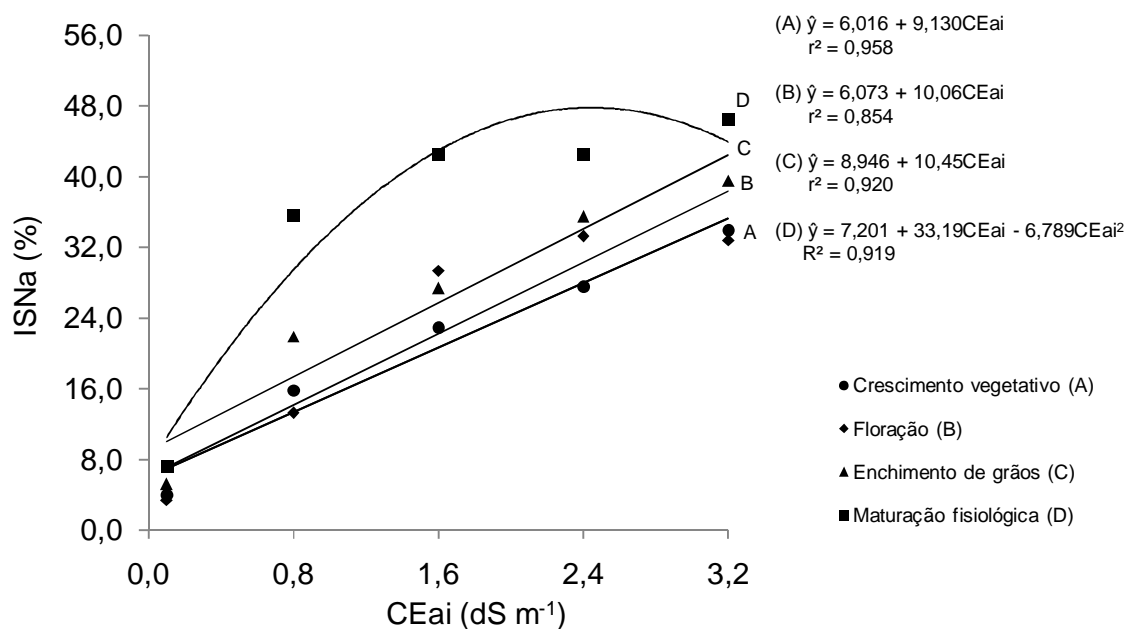


Figura 14 - Comportamento do índice de saturação por sódio (ISNa) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo (A), floração (B), enchimento de grãos (C) e maturação fisiológica (D).

O índice de saturação por sódio nas fases fenológicas, crescimento vegetativo, floração e enchimento de grãos (A, B, e C) aumentou linearmente com aumento da condutividade elétrica da água de irrigação e na fase maturação fisiológica (D) apresentou relação quadrática com aumento da condutividade elétrica da água até a condutividade de 2,4 dS m⁻¹ e a partir desta houve decréscimo.

O aumento dos valores de saturação por sódio no solo, em função da salinidade da água de irrigação nas fases fenológicas, crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação correspondeu a 853,9%, 999,0%, 759,6% e 645,8%, respectivamente (A, B, C e D). Esse aumento deve-se ao aporte de sódio no complexo de troca, em substituição aos íons menos solúveis, ou seja, nessas condições elementos como o cálcio, por exemplo, precipita-se à medida que a solução do solo se concentra, em consequência da evaporação, deixando o sódio como o único cátion na solução (RIBEIRO et al., 2003).

Na Figura 15, estão apresentados os valores da soma de bases (SB) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

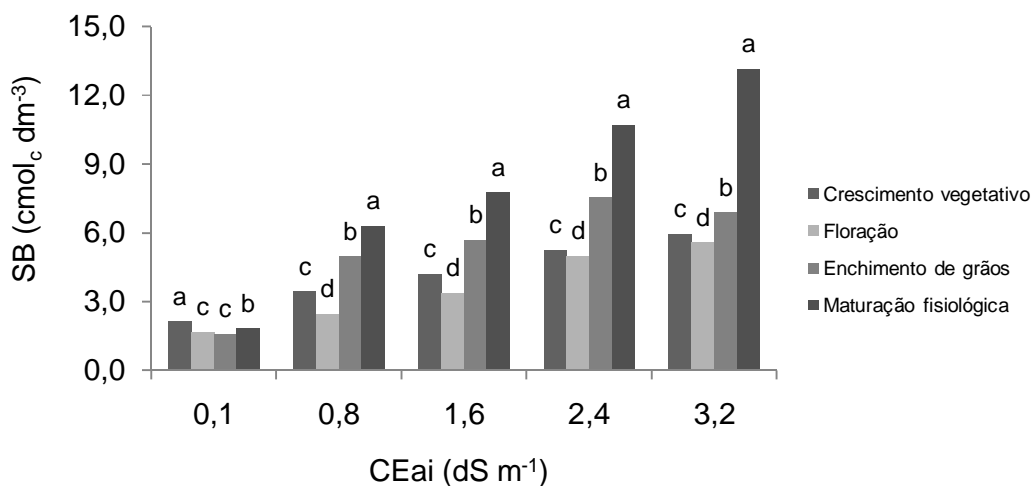


Figura 15 - Valores médios da soma de bases (SB) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott e Knott.

Para a aplicação das águas com condutividades de 0,8; 1,6; 2,4 e 3,2 dS m⁻¹ observou-se decréscimo da soma de bases no solo da fase de crescimento vegetativo à fase floração e nas fases subsequentes houve acréscimos. Com a

aplicação da água com essas mesmas condutividades, os maiores valores de soma de bases foram observados na fase da maturação fisiológica e menores valores na fase da floração. Com a aplicação da água com condutividade elétrica de $0,1 \text{ dS m}^{-1}$, observaram-se maiores valores na fase de crescimento vegetativo e menores valores nas fases floração e enchimento de grãos, com um pequeno acréscimo a partir desta fase até a fase da maturação fisiológica.

A partir da condutividade de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ observa-se que o incremento de bases no solo passa a ser maior devido à presença de sais de Ca^{2+} e Na^+ na composição da água de irrigação. A soma de bases, que expressa os valores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ e Na^+ somados, alcançou níveis crescentes com o acréscimo das condutividades elétricas da água de irrigação.

Na Figura 16, está apresentado o comportamento da soma de bases (SB) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

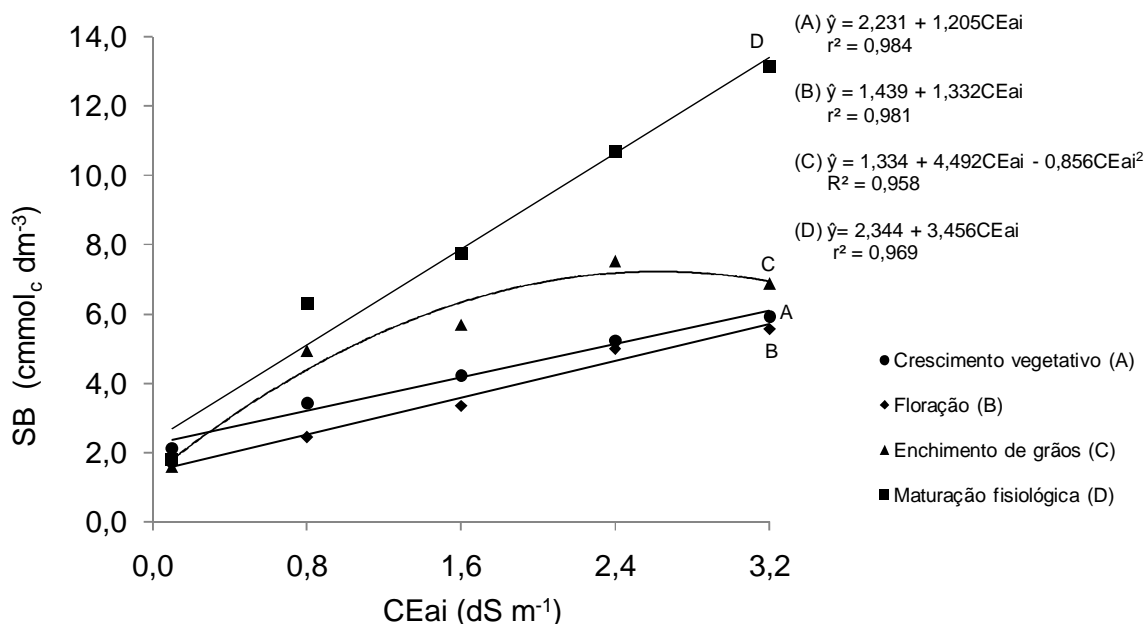


Figura 16 - Comportamento da soma de bases (SB) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo (A), floração (B), enchimento de grãos (C) e maturação fisiológica (D).

Nas fases fenológicas crescimento vegetativo, floração e maturação fisiológica (A, B, e D), houve aumento linear dos valores da soma de bases no solo com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação e na fase de enchimento de grãos (C) apresentou relação quadrática com aumento dos níveis de salinidade até a condutividade de $2,6 \text{ dS m}^{-1}$ e a partir dessa concentração houve decréscimo.

Os maiores valores da soma de bases para as fases, crescimento vegetativo, floração e maturação fisiológica (A, B, e D) foram de 5,93, 5,57 e 13,15 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ respectivamente, observados na aplicação de água com condutividade de $3,2 \text{ dS m}^{-1}$, e 7,52 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para a fase enchimento de grãos (C) observados na aplicação de água com condutividade de $2,6 \text{ dS m}^{-1}$. O maior valor observado na fase maturação fisiológica (D), é devido ao maior tempo de irrigação, concentrando mais sais de cálcio e sódio presentes na água de irrigação.

Esses resultados são considerados altos, segundo Prezotti et al. (2007), pois os valores de soma de bases estão acima de $5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e estão de acordo com os obtidos por Garcia et al. (2009), que verificando os efeitos da irrigação com água salina sobre as características químicas de um Argissolo Vermelho Eutrófico cultivado com milho, verificaram aumento dos valores da soma de bases, em média de $6,29 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, devido ao aumento da disponibilidade de cálcio, pois a água salina possuía elevado teor desse elemento na sua composição.

Esses resultados corroboram com Santana et al. (2003), ao observar que a irrigação com água salina em um solo cultivado com feijoeiro, os valores da soma de bases aumentaram de 4,4; 6,4; 7,2; 8,9 e 9,6 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, com aplicação dos respectivos níveis de água salina, 0,1; 1,0; 2,5; 4,0 e 5,5, respectivamente. Os autores afirmaram, ainda, que os menores valores da soma de bases nos tratamentos com níveis menores de água salina evidenciaram maior absorção de nutrientes pelas plantas de feijoeiro.

Na Figura 17, estão apresentados os valores da saturação por bases (V) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

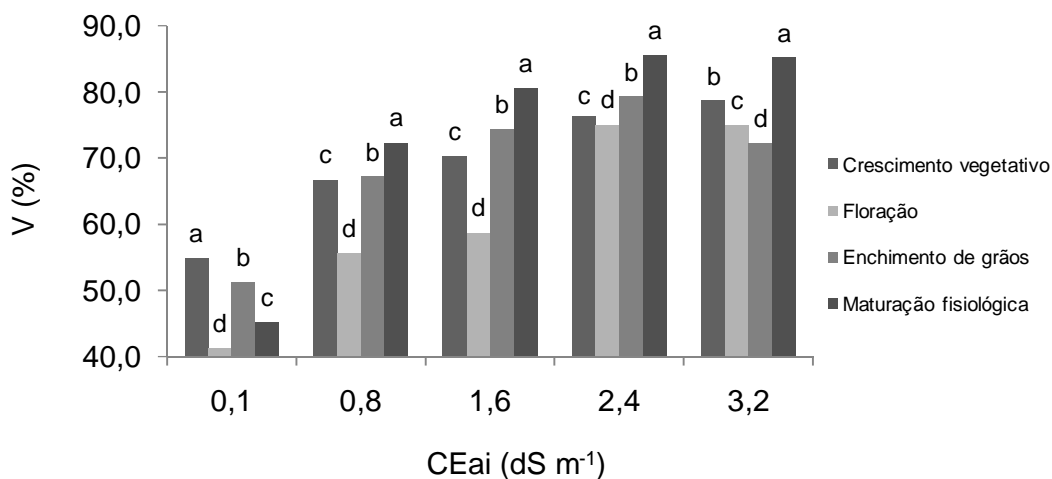


Figura 17 - Valores médios da saturação por bases (V) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Scott e Knott.

A saturação por bases diminui a partir da fase de crescimento vegetativo à fase da floração quando utilizada água com das condutividades elétricas da água correspondente a 0,1; 0,8; 1,6 e 2,4 dS m⁻¹, observando-se menores valores nesta fase, e até a fase de enchimento de grãos quando aplicada água com condutividade de 3,2 dS m⁻¹, observando-se menor valor nesta fase. Posteriormente a essas reduções supracitadas, houve acréscimos até as fases subseqüentes, exceto quando utilizada água com condutividade de 0,1 dS m⁻¹, em que se observou novamente decréscimo da fase de enchimento de grãos à fase da maturação fisiológica.

Os maiores valores de saturação por bases foram verificados na fase da maturação fisiológica, exceto quando aplicada água com condutividade de 0,1 dS m⁻¹, observado na fase de crescimento vegetativo.

Como a soma de bases alcançou níveis crescentes com o aumento da condutividade elétrica da água, conseqüentemente, a saturação de bases apresentou-se crescente com as maiores condutividades elétricas da água. Com o incremento de sais de Ca²⁺ e Na⁺ presentes na composição da água de irrigação, há

maior disponibilidade dos mesmos no solo, proporcionando mais nutrientes para as plantas. Provavelmente devido à maior absorção de nutrientes principalmente na fase da floração, observaram-se menores valores de saturação por bases.

Na Figura 18, está apresentado o comportamento da saturação por bases (V) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

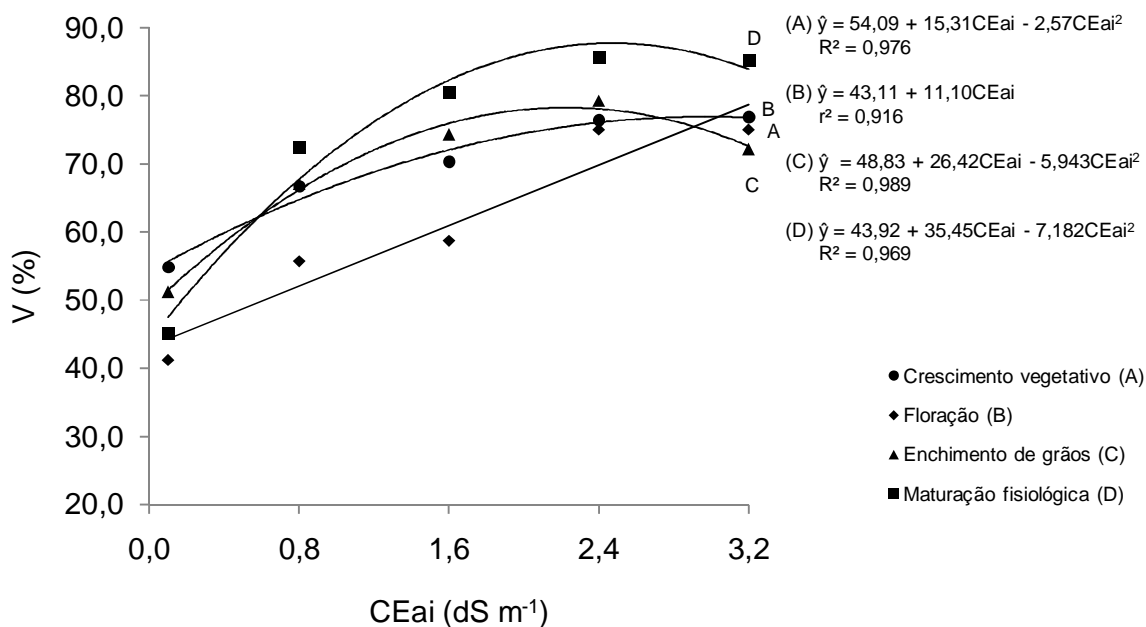


Figura 18 - Comportamento da saturação por bases (V) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo (A), floração (B), enchimento de grãos (C) e maturação fisiológica (D).

Nas fases fenológicas crescimento vegetativo, enchimento de grãos e maturação fisiológica (A, C e D) houve relação quadrática com aumento da condutividade elétrica da água, até a condutividade elétrica de 3,0 dS m⁻¹ e a partir desta houve decréscimo. Para as fases de enchimento de grãos e maturação fisiológica (C e D), houve aumento até as condutividades de 2,2 e 2,5 dS m⁻¹, respectivamente, e a partir destas, houve decréscimo. Para a fase da floração (B), houve aumento linear.

Os valores da saturação de bases para as fases fenológicas, crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica (A, B, C e D) estiveram entre 75 e 85% quando aplicadas águas com condutividades de 2,4 e 3,2 dS m⁻¹ e, estão acima de 70%, que segundo Prezotti (2007), é a faixa em que a maioria das culturas apresenta boa produtividade, pois a porcentagem de saturação por bases reflete o percentual de pontos potenciais de troca de cátions do complexo coloidal do solo, que estão ocupados pelas bases. No entanto, o aumento da saturação por bases é consequência do aporte, principalmente do sódio, o que pode tornar o solo sódico, ocasionando degradação física do solo e toxidez para as plantas.

Esses resultados corroboram com Garcia et al. (2009), que encontraram valores médios de saturação de bases na ordem de 77,83%, em função da aplicação de água salina em um Argissolo Vermelho Eutrófico cultivado com milho. Assim como Figueirêdo et al. (2006), avaliando o crescimento inicial do cafeeiro irrigado com água salina, verificando que a aplicação de água com níveis de salinidade de 0,0; 0,6; 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dS m⁻¹, obtiveram um aumento da saturação por bases variando de 58,7% na primeira condutividade até 77,2% na última condutividade.

Na Figura 19, estão apresentados os valores da capacidade de troca de cátions potencial (T) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

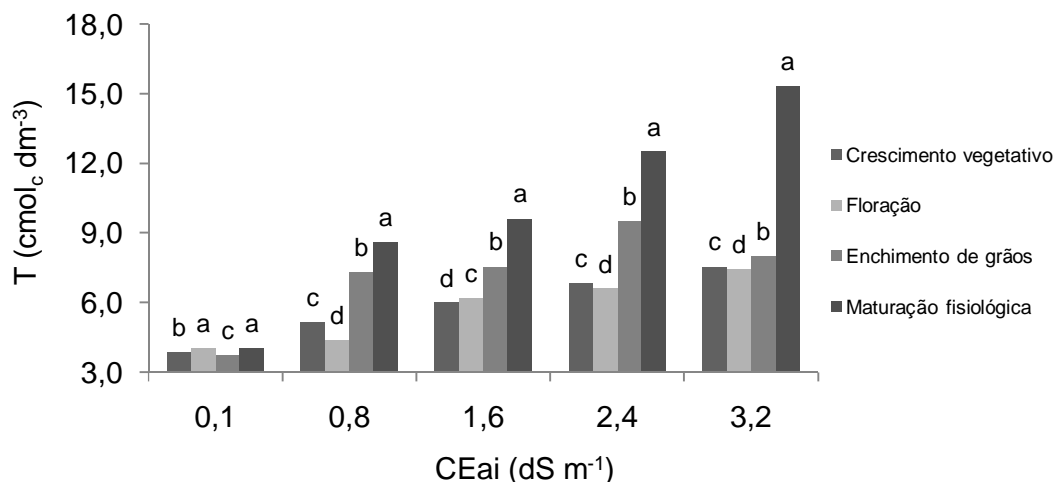


Figura 19 - Valores médios da capacidade de troca de cátions potencial (T) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott e Knott.

Para a aplicação das águas com condutividades de 0,8; 2,4 e 3,2 dS m⁻¹ houve decréscimos da fase de crescimento vegetativo à fase floração, observando-se menores valores nesta fase, a partir desta, houve aumento até a maturação fisiológica. Na condutividade de 0,1 dS m⁻¹, as fases fenológicas, floração e maturação fisiológica apresentaram maior valor de capacidade de troca de cátions potencial e menor valor na fase de enchimento de grãos.

A partir da condutividade de 0,8 dS m⁻¹, observa-se que o incremento de cátions no solo passa a ser maior, apresentando maiores valores na fase fenológica, maturação fisiológica, devido ao maior tempo de irrigação com água salina. Com a aplicação da água com condutividade de 0,1 dS m⁻¹, houve acréscimo da fase de crescimento vegetativo à fase da floração, a partir desta, houve redução até a fase de enchimento de grãos e novamente acréscimo até a fase da maturação fisiológica. Com a aplicação da água com condutividade de 1,6 dS m⁻¹, houve crescimento gradativo dos valores da capacidade de troca de cátions potencial.

De maneira geral, o aumento da capacidade de troca de cátions potencial, é devido ao incremento de sais de Ca²⁺ e Na⁺ presentes na composição da água de

irrigação e pela preferencialidade de troca no solo, de acordo com a densidade de carga dos cátions. Deve-se destacar que o aumento da capacidade de troca de cátions potencial pela neutralização de H^+ adsorvidos será tanto maior quanto mais baixo for o pH natural do solo, o que pode ser relacionado à Figura 3, que apresenta os valores médios do pH.

As reduções dos valores da capacidade de troca de cátions potencial na fase de enchimento de grãos e floração, com aplicação da água de irrigação com condutividades de 0,1 e 0,8; 2,4 e 3,2 $dS\ m^{-1}$, respectivamente, são provavelmente devido à retirada de sais de Ca^{2+} e Na^+ .

Na Figura 20, está apresentado o comportamento da capacidade de troca de cátions potencial (T) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

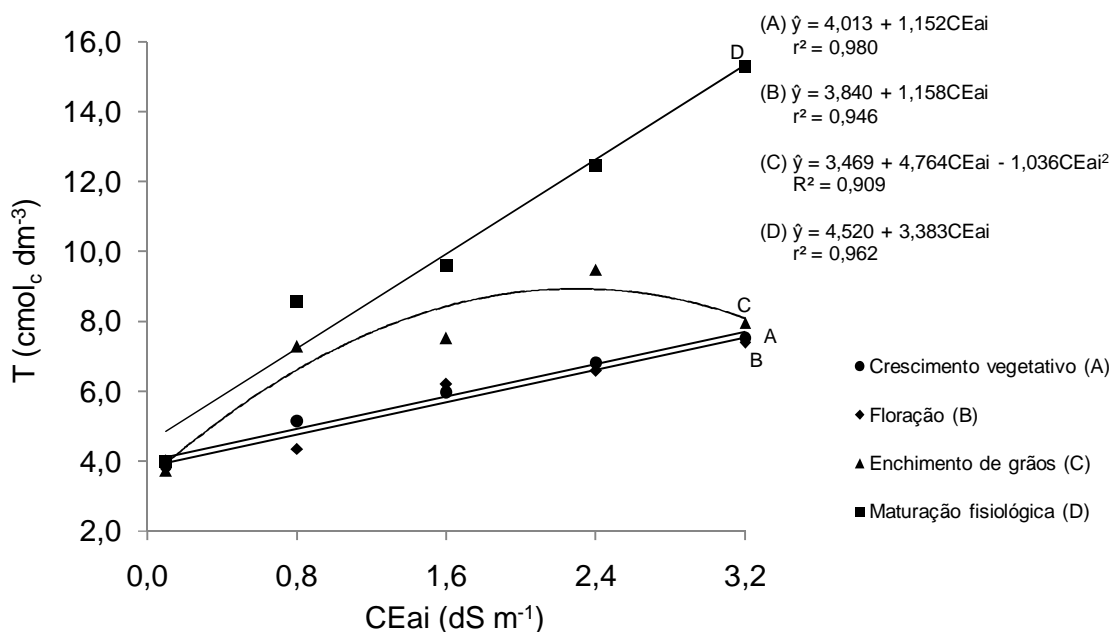


Figura 20 - Comportamento da capacidade de troca de cátions potencial (T) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo (A), floração (B), enchimento de grãos (C) e maturação fisiológica (D).

Nas fases fenológicas crescimento vegetativo, floração e maturação fisiológica (A, B e D), observou-se aumento linear com aumento da condutividade elétrica da água, a fase de enchimento de grãos (C) apresentou relação quadrática com aumento da capacidade de troca de cátions potencial até a condutividade de $2,3 \text{ dS m}^{-1}$, a partir desta, houve decréscimo.

O aumento dos valores da capacidade de troca de cátions potencial (T) no solo, em função das condutividades elétricas da água de irrigação foi verificado nas fases crescimento vegetativo, floração e maturação fisiológica, com acréscimo de 194,8%, 184,3% e 381,7%, respectivamente (A, B e D). Na fase de enchimento de grãos (C), observou-se um aumento de 254% até a condutividade de $2,3 \text{ dS m}^{-1}$ em relação à água com condutividade de $0,1 \text{ dS m}^{-1}$ e posteriormente um decréscimo de 16% até a condutividade de $3,2 \text{ dS m}^{-1}$.

Os valores da capacidade de troca de cátions potencial para as fases fenológicas, crescimento vegetativo, floração e enchimento de grãos (A, B e C), quando aplicadas águas com condutividades de $2,4$ e $3,2 \text{ dS m}^{-1}$, permaneceram dentro dos valores considerados médios de $4,6$ a $10,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, segundo Prezotti et al. (2007).

Para a fase maturação fisiológica (D), atingiu valores de $15,31 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, quando aplicadas águas com condutividade de $3,2 \text{ dS m}^{-1}$, valor este considerado alto, segundo esses mesmos autores. Esse aumento deve-se ao incremento de sais de cálcio e sódio e ao maior tempo de aplicação da água salina no ciclo da cultura do milho.

Esses resultados estão de acordo com Figueirêdo et al. (2006), que avaliando o crescimento inicial do cafeeiro irrigado com água salina e salinização do solo, verificaram que a aplicação de água com níveis de salinidade de $0,0$; $0,6$; $1,2$; $1,8$; $2,4$ e $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, obtiveram aumento dos valores da capacidade de troca de cátions potencial variando de $4,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na primeira condutividade até $8,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na última condutividade.

Na Figura 21, estão apresentados os valores da capacidade de troca de cátions efetiva (t) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

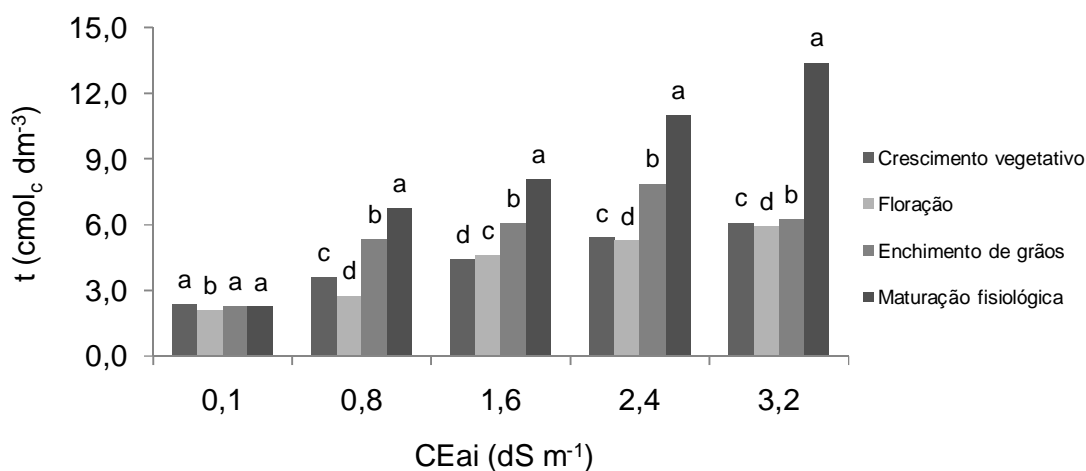


Figura 21 - Valores médios da capacidade de troca de cátions efetiva (t) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott e Knott.

Para a aplicação das águas com condutividades de 0,1; 0,8; 2,4 e 3,2 dS m⁻¹, houve decréscimos da fase de crescimento vegetativo à fase floração, observando-se menores valores nesta fase, a partir desta, houve aumento até a maturação fisiológica. Com a aplicação da água com condutividade de 1,6 dS m⁻¹, houve crescimento gradativo.

Na condutividade de 0,1 dS m⁻¹, as fases fenológicas, crescimento vegetativo, enchimento de grãos e maturação fisiológica apresentaram maior valor de capacidade de troca de cátions efetiva e menor valor na fase da floração. A partir da condutividade de 0,8 dS m⁻¹, observa-se que o incremento cátions no solo passa a ser maior, apresentando maiores valores na fase fenológica, maturação fisiológica, devido ao maior tempo de irrigação com água sob diferentes condutividades elétricas.

Tanto para os acréscimos e decréscimos dos valores capacidade de troca de cátions efetiva nas fases fenológicas estudadas, podem ser explicados pelos mesmos motivos explicados para a capacidade de troca de cátions potencial,

conforme observado na Figura 19, sabendo-se que a capacidade de troca de cátions potencial está referente à quantidade de cátions adsorvidos, caso a calagem elevasse o valor de pH para 7,0, maximizando as cargas negativas passíveis de ser ocupadas pelos cátions. No caso da capacidade de troca de cátions efetiva, esta reflete a capacidade do solo de reter cátions próximo valor do pH natural.

Na Figura 22, está apresentado o comportamento da capacidade de troca de cátions efetiva (t) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

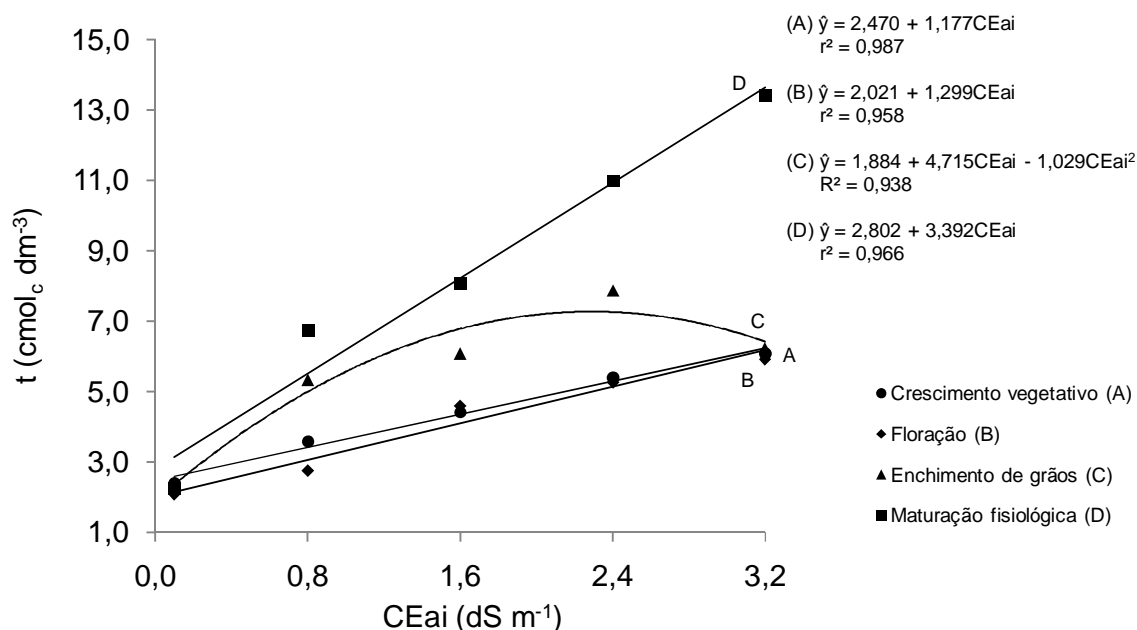


Figura 22 - Comportamento da capacidade de troca de cátions efetiva (t) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo (A), floração (B), enchimento de grãos (C) e maturação fisiológica (D).

Nas fases fenológicas crescimento vegetativo, floração e maturação fisiológica (A, B e D) observou-se aumento linear com aumento da condutividade elétrica da água, a fase de enchimento de grãos (C) apresentou relação quadrática

com aumento da capacidade de troca de cátions potencial até a condutividade de $2,3 \text{ dS m}^{-1}$, a partir desta, houve decréscimo.

O aumento dos valores da capacidade de troca de cátions efetiva (t) no solo, em função da condutividade elétrica da água de irrigação aumentou nas fases do crescimento vegetativo, floração e maturação fisiológica na ordem de 254,8%, 282,7 e 596,0%, respectivamente (A, B e D). Na fase de enchimento de grãos (C), observou-se aumento de 344,5% até a condutividade de $2,3 \text{ dS m}^{-1}$ em relação à água com condutividade de $0,1 \text{ dS m}^{-1}$, e posteriormente, um decréscimo de 21% até a condutividade de $3,2 \text{ dS m}^{-1}$.

O aumento da capacidade de troca de cátions efetiva do solo é semelhante ao ocorrido para a capacidade troca de cátions potencial, esse resultado deve-se ao aporte de cálcio e sódio no solo por meio da água de irrigação.

Nas fases fenológicas, crescimento vegetativo, floração e formação da colheita (A, B e C), os valores de (t) apresentaram-se de acordo com Prezotti et al. (2007), classificado como bom ($2,5 - 6,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e para a fase fenológica, maturação fisiológica (D) apresentaram valores classificados como muito bom (acima de $6,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Esses resultados corroboram com os obtidos por Garcia et al. (2008), que em estudos sobre as alterações químicas de dois solos irrigados com água salina, observaram que a irrigação com água salina aumentou os valores da capacidade de troca de cátions efetiva, pelo mesmo motivo supracitado.

4.2 Desenvolvimento e produção do milho, decorrentes do uso de diferentes condutividades elétricas da água de irrigação.

Na Figura 23, estão apresentados os valores da massa seca da parte aérea (MSPA) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

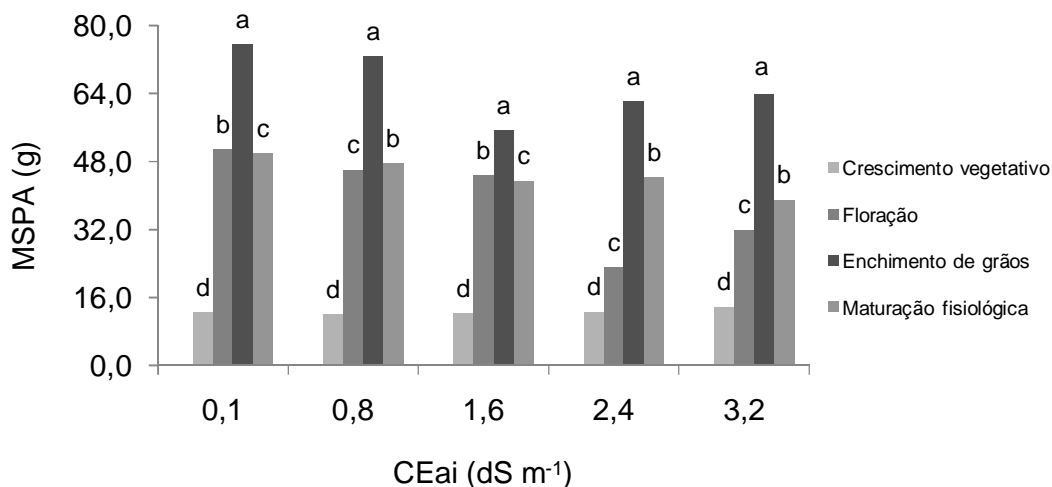


Figura 23 - Valores médios de massa seca de parte aérea (MSPA) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott e Knott.

A massa seca da parte aérea diferiu significativamente nas fases fenológicas da cultura para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação, atingindo maiores valores na fase de enchimento de grãos e menores valores na fase de crescimento vegetativo. Foi observado crescimento gradativo da massa seca da parte aérea até a fase de enchimento de grãos e a partir desta, redução até a maturação fisiológica para todas as condutividades.

Os maiores valores de massa seca da parte aérea na fase formação enchimento de grãos acontecem devido à planta encontrar-se em seu completo desenvolvimento. O decréscimo até a fase da maturação fisiológica pode ser explicado provavelmente, devido ao efeito deletério da salinidade do solo na planta pela redução do potencial osmótico da solução do solo, além da possibilidade de ocorrência de toxicidade iônica, em função da acumulação em excesso dos íons, sódio e cálcio, nos tecidos vegetais.

Além disso, as plantas tendem a fechar os estômatos para reduzir as perdas de água por transpiração, resultando em uma taxa fotossintética menor e contribuindo para a redução do crescimento sob estresse salino.

Na Figura 24, está apresentada a massa seca de parte aérea (MSPA) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

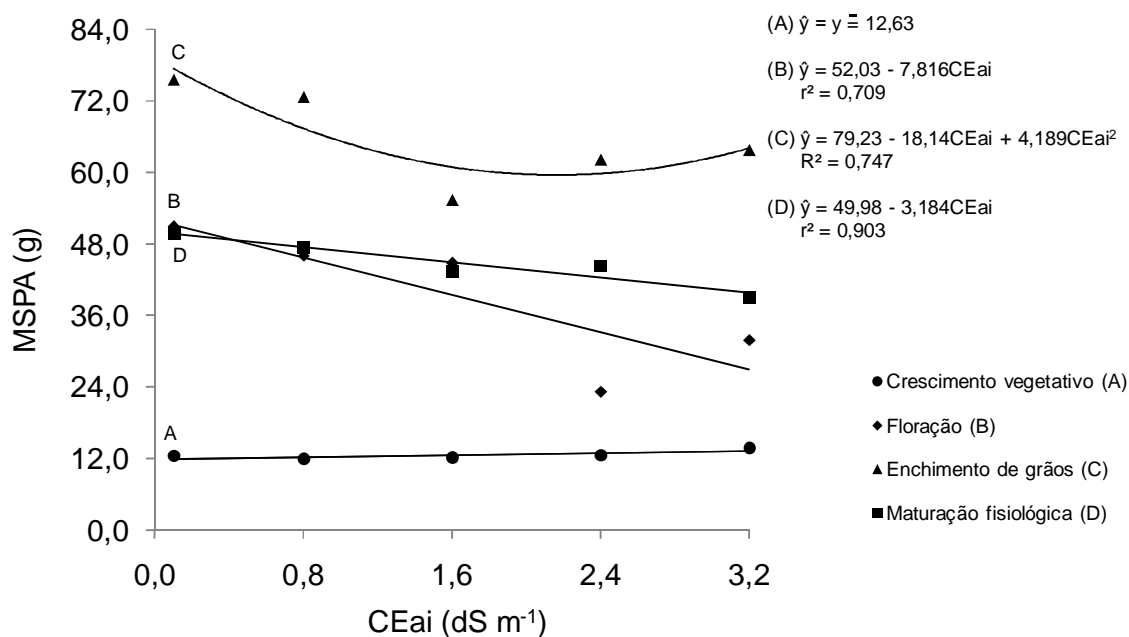


Figura 24 - Massa seca da parte aérea (MSPA) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo (A), floração (B), enchimento de grãos (C) e maturação fisiológica (D).

Na fase de crescimento vegetativo (A), os valores da massa seca da parte aérea não diferiram significativamente. Nas fases fenológicas floração e maturação fisiológica (B e D), observou-se decréscimo linear com aumento da condutividade elétrica da água, na fase de enchimento de grãos (C) apresentou relação quadrática com decréscimo da massa seca de parte aérea até as condutividades de 2,1 dS m⁻¹, a partir desta, houve acréscimo.

O aumento da salinidade decorrentes da irrigação com água de diferentes condutividades elétricas reduziu a massa seca da parte aérea somente a partir da fase de floração (B). Na fase enchimento de grãos (C), a massa seca da parte aérea apresentou relação quadrática com redução de seus valores até a condutividade de $2,1 \text{ dS m}^{-1}$, devido ao ajustamento osmótico da planta em condições de salinidade do solo, evitando perda de turgor e, conseqüentemente, retardo do crescimento celular.

Já a diminuição no crescimento das plantas de milho com o aumento dos níveis de salinidade do solo pode ser explicada pelo desvio de energia do crescimento para a manutenção da planta, refletindo em custo metabólico de energia, associado à adaptação à salinidade (AZEVEDO NETO e TABOSA, 2000).

O estudo do crescimento de plantas de milho sob condições de salinidade tem sido relatado por diversos autores, como Izzo et al. (1991), que verificaram que concentrações de 80 e 160 mol m^{-3} de NaCl em solução nutritiva induziram a diminuição na massa seca da parte aérea das plantas. Azevedo Neto e Tabosa (2000) verificaram que, em dois cultivares com tolerância diferenciada à salinidade, a concentração de 100 mol m^{-3} de NaCl em solução nutritiva reduziu a produção de massa seca da parte aérea em torno de 56 a 74%.

Na Figura 25, estão apresentados os valores da massa seca das raízes (MSRA) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

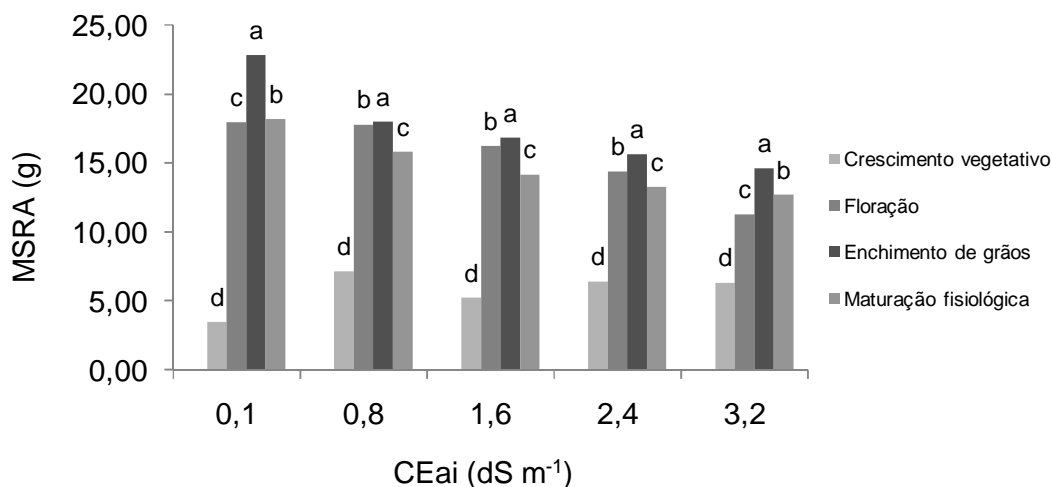


Figura 25 - Valores médios de massa seca das raízes (MSRA) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Scott e Knott.

A massa seca da raiz diferiu significativamente nas fases fenológicas da cultura para cada condutividade elétrica da água de irrigação, atingindo maiores valores na fase de enchimento de grãos e menores valores na fase de crescimento vegetativo para todas as condutividades. Houve decréscimo da massa seca das raízes a partir da fase de enchimento de grãos à maturação fisiológica pela influência da salinidade da água de irrigação.

Observa-se que a aplicação das águas com condutividades de 0,1; 0,8; 1,6; 2,4 e 3,2 dS m⁻¹, a planta apresentou crescimento radicular proporcional às fases fenológicas, com maior valor na fase da enchimento de grãos.

Os efeitos da salinidade sobre o desenvolvimento radicular foram mais pronunciados na fase da maturação fisiológica. Isso porque o estresse por salinidade prejudica a absorção de nutrientes, em face da forte competição química do sódio. A alta exigência, em termos de capacidade de transporte e seletividade, requer, em muitos casos, energia metabólica produzida a partir de carboidratos das raízes, o que pode afetar o seu desenvolvimento (CARMONA et al., 2009).

Na Figura 26, está apresentada a massa seca das raízes (MSRA) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

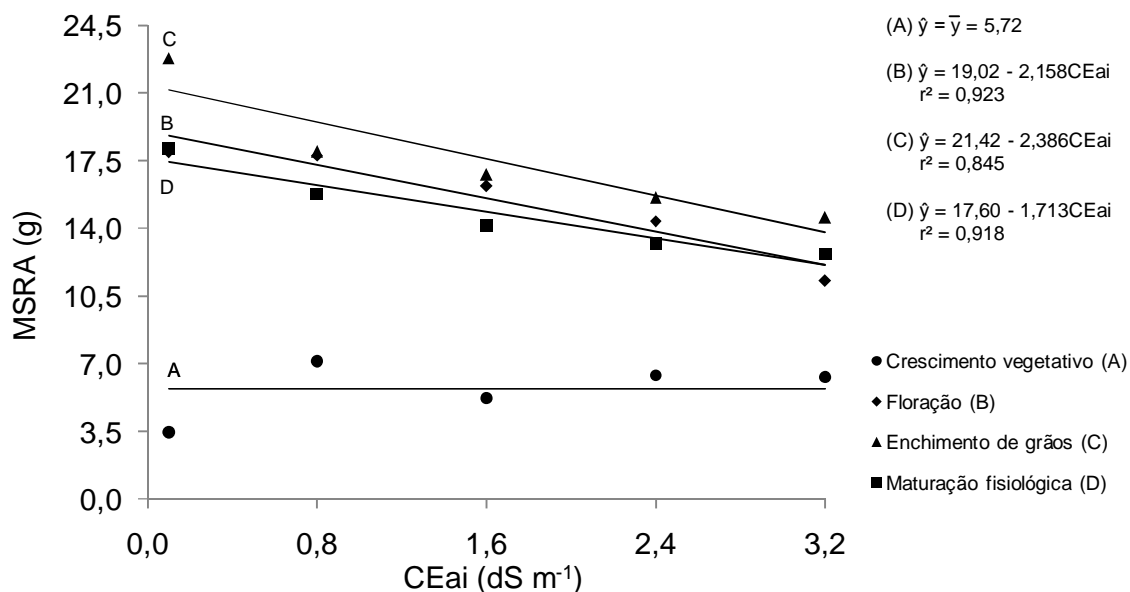


Figura 26 - Massa seca das raízes (MSRA) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo (A), floração (B), enchimento de grãos (C) e maturação fisiológica (D).

Na fase de crescimento vegetativo (A), os valores da massa seca das raízes não diferiram significativamente. Nas fases fenológicas floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica (B, C e D) observou-se decréscimo linear com aumento das condutividades elétricas da água.

Sob condições de estresse hídrico decorrente de um estresse osmótico, a planta emite mais raízes em resposta ao aumento da salinidade do solo, a fim de proporcionar suporte para a mesma no enchimento dos grãos (RENGEL, 1992; LACERDA, 1995). Portanto, os maiores valores de massa seca das raízes na fase de enchimento de grãos (C) correspondem a um mecanismo de resistência com objetivo de sobrevivência em um ambiente desfavorável ao crescimento.

O aumento dos níveis de salinidade do solo decorrentes da irrigação com água de diferentes condutividades elétricas diminuiu a massa seca raízes do cultivar

de milho PL6880 na floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica (B, C e D) na ordem de 37,1%, 36,1% e 30,0%, respectivamente.

Na fase crescimento vegetativo (A), a massa seca das raízes não apresentou alteração significativa, que pode ser explicado por duas razões, a primeira se deve ao efeito osmótico provocado pela salinidade, que reduz a absorção de água e a segunda se dá devido ao efeito específico dos íons ou ao excesso, que entram no fluxo de transpiração e, eventualmente causam injúrias nas folhas, reduzindo o crescimento ou influenciando negativamente na absorção de elementos essenciais.

Esses resultados estão de acordo com Garcia et al. (2007c), que em estudos sobre índices fisiológicos, crescimento e produção do milho irrigado com água salina, verificaram que o aumento nos níveis de salinidade do solo afetou, significativamente, a massa seca das raízes da variedade de milho UFVM 100, com uma redução nos valores na ordem de 81,45% na floração, 61,74% no enchimento de grãos e 63,83% na maturação fisiológica. Assim como Oliveira et al. (2009), em estudos sobre o desenvolvimento inicial do milho-pipoca irrigado com água de diferentes níveis de salinidade, verificaram que massa seca da raiz e da parte aérea reduziram com a salinidade.

Na Figura 27, estão apresentados os valores da área foliar (AFO) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

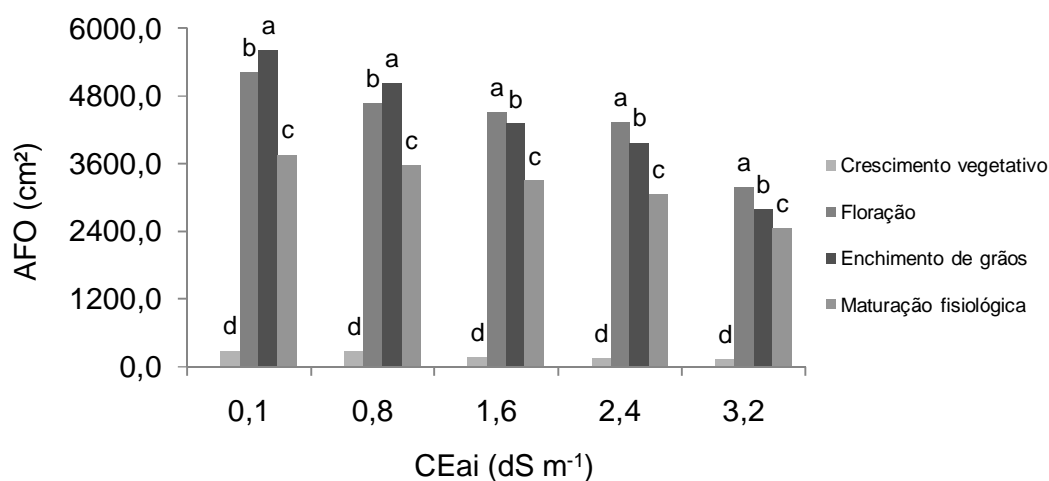


Figura 27 - Valores médios da área foliar (AFO) em função das fases fenológicas: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica, para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott e Knott.

A área foliar diferiu significativamente nas fases fenológicas da cultura para cada nível de condutividade elétrica da água de irrigação, apresentando maiores valores na floração, quando utilizada água com condutividade elétrica de 1,6; 2,4 e 3,2 dS m⁻¹ e na fase de enchimento de grãos com aplicação com águas com condutividade de 0,1 e 0,8 dS m⁻¹. Menores valores foram observados na fase de crescimento vegetativo para todas as condutividades.

A partir das fases supracitadas, houve decréscimo até as fases subsequentes, sendo que tal redução se deve, provavelmente, ao mecanismo fisiológico de ajustamento osmótico. A redução no crescimento foliar representa um mecanismo de defesa das plantas sob condições de estresse hídrico e salino, reduzindo as perdas de água por transpiração.

Na Figura 28, está apresentada a área foliar (AFO) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica.

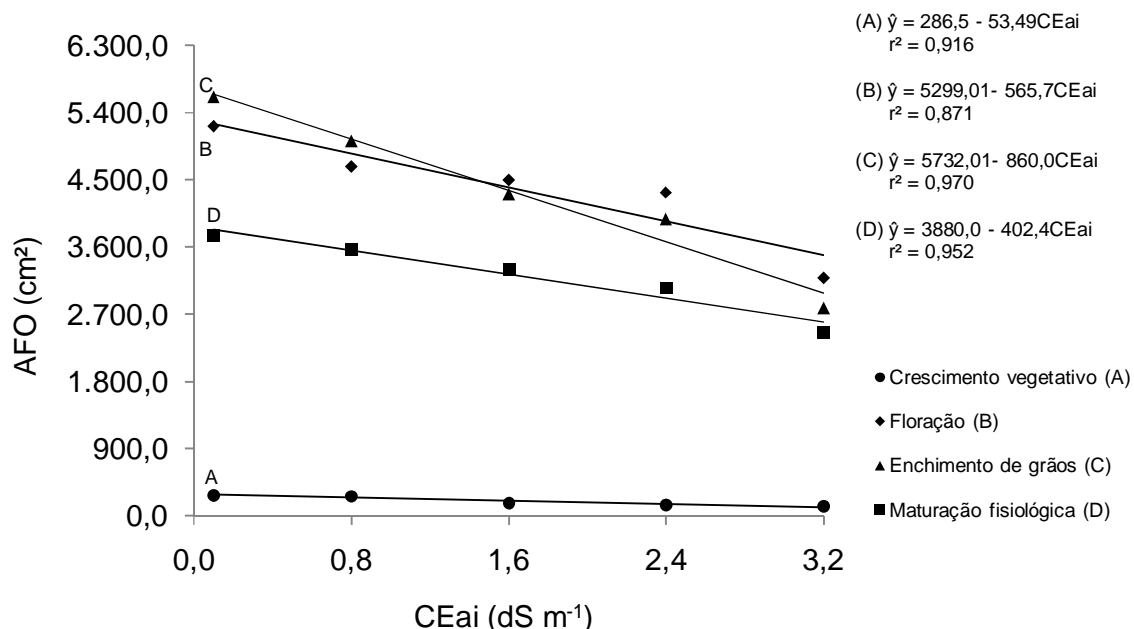


Figura 28 - Área foliar (AFO) em função das condutividades elétricas da água de irrigação, para cada fase fenológica: crescimento vegetativo (A), floração (B), enchimento de grãos (C) e maturação fisiológica (D).

Observou-se decréscimo linear da área foliar em todas as fases fenológicas, com o aumento das condutividades elétricas da água de irrigação, conforme observado pelas inclinações das retas das equações de regressão, evidenciando o efeito prejudicial da salinidade. Associado ao efeito deletério da salinidade, na fase da maturação fisiológica (D) a diminuição foi menos acentuada em relação à fase floração (B) e enchimento de grãos (C), provavelmente também, devido à planta estar no final do ciclo.

O aumento das condutividades elétricas da água de irrigação reduziu linearmente a área foliar na fase crescimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica (A, B, C e D) na ordem de 53,1%, 38,9%, 50,4% e 34,7%, respectivamente. O decréscimo da área foliar é resultante do estresse osmótico seguido do estresse hídrico, os quais são decorrentes do estresse salino, tendo como efeito imediato a diminuição do conteúdo de água da planta proveniente da diminuição do potencial osmótico, devido à elevada concentração iônica, ocasionada, principalmente pelo sódio.

É comum ocorrerem adaptações morfológicas nas plantas sob condições de estresse hídrico e salino, o que caracteriza uma forma de minimizar as perdas de água por transpiração, destacando-se dentre essas adaptações, reduções no tamanho e, conseqüentemente, na área foliar.

Esses resultados corroboram com os de Garcia et al. (2007c), que verificaram que a área foliar foi afetada negativamente, principalmente nas fases fenológicas, floração, formação da colheita e maturação fisiológica. Assim como, Azevedo Neto e Tabosa (2000), que verificaram que em solução nutritiva de $12,0 \text{ dS m}^{-1}$, as plantas de milho apresentaram redução em 73% da área foliar em relação às cultivadas em solução não salina.

Na Figura 29, apresenta-se o número médio de grãos produzidos por planta (NGP) e o peso de grãos por planta (PGP) em função das condutividades elétricas da água de irrigação.

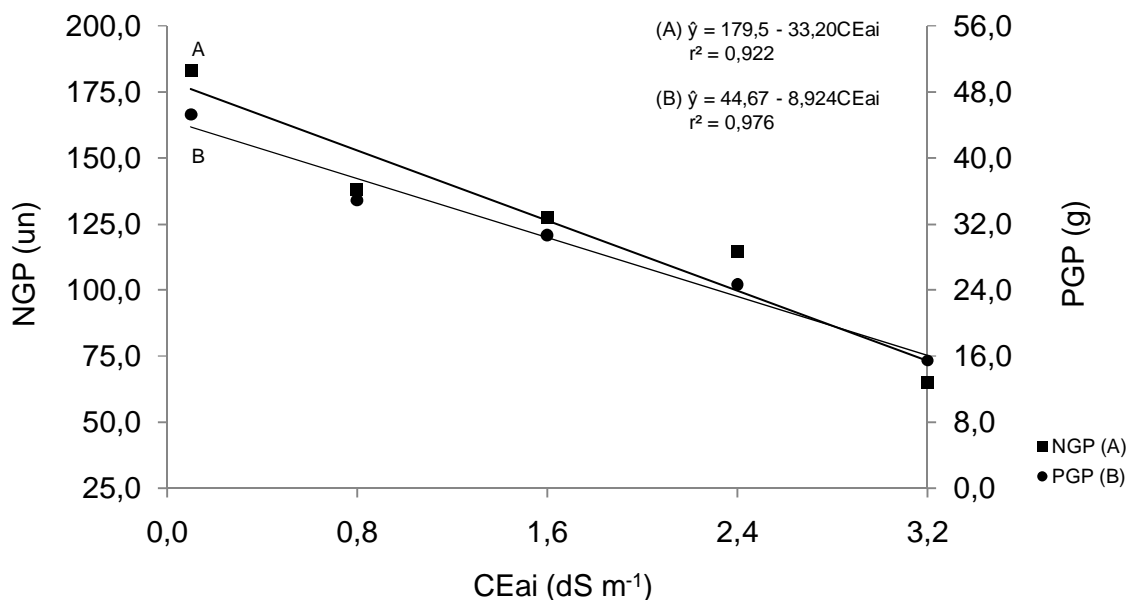


Figura 29 - Comportamento do número médio de grãos produzidos por planta (NGP) (A) e o peso de grãos por planta (PGP) (B), em função das condutividades elétricas da água de irrigação.

Observou-se decréscimo linear do número médio e peso de grãos por planta com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação. O número de grãos

(A) e o peso de grãos por planta (B) diminuíram na ordem de 64,5% e 65,7%, respectivamente, demonstrando assim o efeito simultâneo do estresse hídrico, osmótico, e nutricional, impostos à cultura durante o crescimento, desencadeando alterações fisiológicas que ocasionam o decréscimo na produção.

A diminuição na produção de grãos ocasionados pelo estresse salino progressivo está relacionada ao desvio de energia em decorrência do aumento dos níveis de salinidade do solo, e pelo custo metabólico de energia associada a uma tentativa de adaptação à salinidade (GARCIA et al., 2007c).

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Willadino et al. (1992), que verificaram produção de grãos de oito genótipos de milho, cultivados em área salina, decrescendo de 24 a 60% em relação à área não salina. Semelhantemente Katerji et al. (2004) e Blanco et al. (2008) verificaram que a produtividade da cultura do milho foi reduzida, em função do aumento nos níveis de salinidade da água de irrigação.

O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação pode ser um fator determinante na produção das culturas, sua ação pode ir além de uma simples redução no potencial hídrico no solo até a injúria celular, causada pelo estresse oxidativo na planta. Portanto, a utilização inadequada de água de irrigação com elevados valores de condutividade elétrica, na agricultura, implica comprometer a produção da cultura com o estresse salino progressivo (GARCIA et al., 2007).

5 CONCLUSÕES

- A aplicação de água de irrigação com diferentes condutividades elétricas, aumentou no solo a disponibilidade de cálcio e sódio, bem como os valores da condutividade elétrica do extrato do solo, saturação por bases e saturação por sódio, soma de bases, capacidade de troca de cátions potencial e efetiva, seguindo-se a diminuição nos valores do pH, alumínio e saturação por alumínio. Os teores de fósforo, potássio, magnésio e acidez potencial não foram afetados.
- Os valores da condutividade elétrica do extrato do solo apresentaram-se acima de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, caracterizando-se que os solo utilizado nos vasos tornaram-se salinos com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação.
- A irrigação com água com diferentes condutividades elétricas na cultivar de milho PL 6880 reduziu a massa seca da parte aérea, das raízes e a área foliar.
- O aumento dos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação acarretou na redução do número e peso de grãos por planta de 64,5% e 65,7%, respectivamente, demonstrando os efeitos deletérios da salinidade sobre a produção de milho, cultivar PL6880.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação** [recurso eletrônico] - Dados eletrônicos. - Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

ALMEIDA, O. A.; GISBERT, J. M. Efecto de la utilización del agua de drenaje en suelos argilosos. In: Congresso Brasileiro de Irrigação e Drenagem, XII, 2002, Uberlândia. **Resumos...** Uberlândia: ABID, 2002. p. 1-6.

AMORIM, J. R. A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; AZEVEDO, N. C. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.2, p.167-176, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUAS. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 20 ago. 2011.

ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v. 166, n. 1, p. 3-16, 2004.

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

AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Avaliação de tolerância à salinidade em cultivares de milho na fase de plântula. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 22, Recife, 1998. **Resumos...** Recife: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 1998. 272p.

AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: parte I análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.159-164, 2000.

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

BARNARD, J. H.; RENSBERG, L. D. V.; BENNIE, A. T. P. Leaching irrigated saline sandy to sandy loam apedal soils with water of a constant salinity. **Irrigation Science**, v. 28, n. 02, p. 191-201, 2010.

BEN-HUR, M.; LI, F. H.; KEREN, R.; RAVINA, I.; SHALIT, G. Water and salt distribution in a field irrigated with marginal water under high water table conditions. **Soil Science American Journal**, Madison, v.65, n.1, p.191-8, jan. 2001.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas** (noções básicas). 2. ed. Jaboticabal, FUNEP, 2003, 41p.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008. 611 p.

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, n.6, pp. 574-580, 2008.

BOT, A.; NACHTERGAELE, F.; YOUNG, A. **Land resource potential and constraints at regional and country levels**. Rome: FAO, 2000. (FAO. World Soil Resources Report, 90).

BRADY, N. C. **Natureza das propriedades dos solos**. 7^a ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989, 215p.

CAMPOS, M. C. C.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; FREITAS, E. V. S. Alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, n.2, p.61-67, abril/junho de 2009.

CARMONA, F. C.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; HOLZSCHUH, M. J.; FRAGA, T. I. Estabelecimento do arroz irrigado e absorção de cátions em função do manejo da adubação potássica e do nível de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.33, n.2, Viçosa, mar./abr. 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**, quarto levantamento, janeiro 2010 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: CONAB, 2010, 39 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº. 357**, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 03 jul. 2011.

CRAMER, G. R.; ALBERICO, G. J.; SCHMIDT, C. Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. **Australian Journal of Plant Physiologic**. v.21, p.675-692. 1994.

DAKER, A. **Irrigação e Drenagem; A Água na Agricultura**, 3 vol. 6 ed ver. e ampl., Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1984. cap 1, 2 e 4.

DUARTE, J. O. **Introdução e Importância Econômica do Milho**. Disponível em: <<http://www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/importancia.htm>>. Acesso em: 03 fev. 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

FAO: **Water at a Glance: The relationship between water, agriculture, food security and poverty**. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/topics_irrigation.html>. Acesso em: 20 ago. 2011.

FAO. **Water in agriculture: opportunity untapped**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.

FAO: Global network on integrated soil management for sustainable use of saltaffected soil. Rome, Italy: FAO - **Land and Plant nutrition management service**. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>>. Acesso em: 02 Out. 2005.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

FERREIRA, L. G. R.; REBOUÇAS, M. A. A. Influência da hidratação/ desidratação de sementes de algodão na superação de efeitos da salinidade na germinação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.4, p.609-615, 1992.

FERREIRA, P. A.; GARCIA, G. O.; NEVES, J. C. L.; MIRANDA, G. V.; SANTOS, D. B. Produção relativa do milho e teores folheares de nitrogênio, fósforo, enxofre e cloro em função da salinidade do solo. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.1, p.7-16, 2007.

FIGUEIRÊDO, V. B.; FARIA, M. A.; SILVA, E. L. Crescimento inicial do cafeeiro irrigado com água salina e salinização do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.10, n.1, p.50–57, 2006.

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

FOTH, H. D.; TURK, L. M. **Soil and Agriculture of Ared Regions**. In: Fundaments of soil science. 5.ed. New York. John Wiler e Sons. Cap. 15, p 375 - 393. 1972.

FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ V. V. H.; FREIRE, F. J. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de água salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.227-232, 2003.

FREITAS, E. V. S. FERNANDES, J. G.; CAMPOS, M. C. C.; FREIRE, M. B. G. S. Alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, João Pessoa, v. 7, n. 1, p. 21-28, 2007.

GALINAT, W. C. The origin of maize: grain of humanity. **New York: New York Botanical Garden Journal**, New York, v. 44, p.3-12, 1995.

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, setembro-dezembro, 2007a.

GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R. A.; REIS, E. F. Qualidade Uso e Reuso de Água na Agropecuária, in JÚNIOR, W. C. J. [et al.]. **Novas tecnologias em Ciências Agrárias**. Alegre, ES: UFES, Centro de Ciências Agrárias, 2007b. cap. 5. p. 119 a 141.

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

GARCIA, G. O.; FERREIRA P. A.; MIRANDA, G. V.; NEVES, J. C. L.; MORAES, W. B.; SANTOS, D. B. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 01, p. 7-18, 2008.

GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R. A.; NAZÁRIO, A. A.; MADALÃO, J. C. GONÇALVES, I. Z. Características químicas de um solo argiloso irrigado com água salina. **Revista Verde**, Mossoró, v.4, n.1, p. 103-113, janeiro/março de 2009.

GERVÁSIO, E. S.; CARVALHO, J. A.; SANTANA, M. J. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção da alface americana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 125-128, 2000.

GODOY, L. J. G. **Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho (Zea mays L.) em solo arenoso baseado no índice relativo de clorofila**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

GOMES, E. M. et al. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 355-361, 2000.

GONÇALVES, I. V. C.; FREIRE, M. B. G. S.; SANTOS, M. A.; SANTOS, E. R.; FREIRE, F. J. Alterações químicas de um Neossolo Flúvico irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 589-596, jul-set, 2011.

GRATTAN, S. R. Irrigation with saline water. In: TANJI, K. K.; YARON, Y. B. (Ed.). **Management of water use in agriculture**. Germany: ASAS, 1994. V.22, p. 179-198.

GURGEL, M. T.; MEDEIROS, J. F.; NOBRE, R. G.; NETO, F. C.; SILVA, F. V. Evolução da salinidade no solo sob cultivo de melão irrigado com águas de diferentes salinidades. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.3, n°2, p. 2003.

HOLANDA FILHO, R. S. F. SANTOS, D. B.; AZEVEDO, C. A. V.; COELHO, E. F.; LIMA, V. L. A. Água salina nos atributos químicos do solo e no estado nutricional da mandioqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**: Campina Grande, PB, UAEA/UFCEG, v.15, n.1, p.60–66, 2011.

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

KATERJI, N.; van HOORN, J.W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Comparison of corn yield response to plant water stress caused by salinity and by drought. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.65, p.95-101, 2004.

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

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 529p.

LIMA, C. B. e; SANTOS FILHO, S. V. dos; SANTOS, M. A. dos; OLIVEIRA, M. de; Desenvolvimento da mamoeira, cultivada em vasos, sob diferentes níveis de salinidade da água em Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico. **Revista Caatinga**, v.21, n.5, Dezembro, 2008, p.50-56.

MAAS, E. V. Crop salt tolerance. In: TANJI, K. K. (ed.) Agricultural salinity assessment and management. New York: **American Society of Civil Engineers**, 1990. p.262-304.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 355p.

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

MATOS, A. T. **Física do solo**. Campos dos Goytacazes. UENF. 1996. 63p. (apostila didática).

MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade** nas propriedades assistidas pelo gat, nos Estados do RN, PB, e CE. Campina Grande: UFPE. 1992. 137 p.

MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; CRUZ, M. G. M.; LEMOS FILHO, L. C. A. Avaliação do impacto da fertirrigação em Cambissolos na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.34, n.2, p.207-12, ago./dez. 2003.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2007.

NEVES, L. L. M. N. **Crescimento, trocas gasosas, potencial osmótico e composição mineral da bananeira prata, submetida a diferentes doses de sódio e cálcio, em solução nutritiva**. Viçosa: UFV, 1999. 77p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T. de; LIMA, C. J. G. S.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; AMÂNCIO, M. G. Desenvolvimento inicial do milho-pipoca irrigado com água de diferentes níveis de salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.4, n.2, p. 149-155, 2009.

ONGLEY, E. D. **Controle da poluição da água pelas atividades agrícolas**. Tradução GHEYI, H. R.; DAMASCENO, F. A. V.; BRITO, L. T. L. Campina Grande: UFPB, 2000. 92 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 55).

OSAKI, F. **Calagem e adubação**. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991. 503 p.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. **Salt tolerance and salinity effects on plants: a review**. *Ecotoxicology and Environmental Saafey*, v. 60, n. 3, p. 324-349, 2005.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo - 5ª Aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

RENGEL, Z. The role of calcium in salt toxicity. **Plant, Cell Environ.**, 15:625-632, 1992.

RHOADES, J.P.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **Uso de águas salinas na produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. Solos halomórficos no Brasil: ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. **Tópicos de Ciências do Solo**, Viçosa, v.3, p. 165-208, 2003.

SAIRAM, R. K.; TYAGI, A. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. **Current Science**, v. 86, n. 3, p. 407-421, 2004.

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.). **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 27, n. 02, p. 443-450, 2003.

SANTOS, R. V. MURAOKA, T. Interações salinidade e fertilidade do solo. In: **Simpósio “Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada”**. Gheyi, H. R.; Queiroz, J. E.; Medeiros, J. F. (eds). Campina Grande: UFPB, 1997. p.289-317.

SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. S.; MENDES, A. M. S.; FREIRE, F. J.; DUDA, G. P. SOUSA, C. E. S. Risco de salinização em quatro solos do Rio Grande do Norte sob irrigação com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** v.2, n.1, p.8-14, jan.-mar., 2007.

SILVA, E. F.; ASSIS JÚNIOR, R. M.; SOUSA, J. I. G. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre atributos hídricos de um neossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 03, 389-396, 2005.

SILVA, N. M. A. **Produtividade e composição mineral das gramíneas forrageiras Andropogon cv. Planaltina e Colônião cv. Tobiata submetidas a níveis de potássio, cálcio e sódio.** Tese (Doutorado em Agronomia) – Piracicaba, SP: ESALQ, 1992. 90p.

SMEDEMA, L. K.; SHIATI, K. Irrigation and salinity: a perspective review of the salinity hazards of irrigation development in the arid zone. **Irrigation and Drainage Systems**, Amsterdam, v.16, n.2, p.161-74, maio. 2002.

SOUZA, L. C. QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.2, p.35-40, jan./abr. 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3º ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: Enfrentando a Escassez**. 2. ed. São Paulo: Rima, 2005, 248p.

ULZURRUN, M. D. D. Salinidad e alcalinidad del suelo em relación com el riego de drenaje. In: **V Máster Internacional de Riego y Drenaje**. Madrid: CENTERMAPYA, 161p. 2000.

USDA - United States Department of Agriculture. Disponível em: <<http://www.usda.gov>> **Grain: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service**. Circular Series, United States Department of Agriculture –USDA, Acesso em: mai, 2010.

VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G.; MELO, A. R. B.; LIMA JUNIOR, A. R.; QUEIROZ, J. E.; FAUSTO, M. J. M. Effects of NaCl-salinity on growth and inorganic solute accumulation in young cashew plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 216-222, 2001.

WILLADINO, L.; CAMARA, T.R.; ANDRADE, A.G.; TABOSA, J.N. Tolerancia de cultivares de maiz a la salinidad en diferentes fases de desarrollo. In: Simposio Nacional sobre Nutrición Mineral de las Plantas, 4., Alicante, 1992. **Anais...** Alicant: Universidad de Alicante, p.487-494, 1992.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R.; SANTOS, M. A.; TORNE, J. M. Obtenção de uma linhagem de milho tolerante ao estresse salino mediante a cultura de anteras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, p.1313-1318, 1995.

ANEXO

Tabela 1 - Análise de variância da condutividade elétrica do estrato do solo saturado (CEes), potencial hidrogeniônico (pH), alumínio (Al³⁺) e saturação por alumínio (m)

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		CEes	pH	Al ³⁺	m
Salinidade (S)	4	24,0045*	0,0818*	0,0542*	408,1952*
Resíduo (A)	10	0,1910	0,0084	0,0064	4,9219
Parcelas	14	-	-	-	-
Avaliação (AV)	4	27,6587*	4,6465*	0,4499*	289,3489*
S x AV	16	2,3234*	0,0309*	0,0110*	49,4207*
Resíduo (B)	40	0,3311	0,0124	0,0034	3,8405
Coefficiente de Variação (%)	-	20,75	2,34	22,08	30,23

* significativo a 5% de probabilidade

Tabela 2 - Análise de variância da acidez potencial (H + Al), cálcio (Ca²⁺), sódio (Na⁺) e índice de saturação por sódio (ISNa)

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		H + Al	Ca ²⁺	Na ⁺	ISNa
Salinidade (S)	4	0,1069 ^{ns}	10,5880*	1203530*	1563,099*
Resíduo (A)	10	0,0588	0,2011	9206,493	12,6287
Parcelas	14	-	-	-	-
Avaliação (AV)	4	0,3229 ^{ns}	5,8603*	2085334*	2059,856*
S x AV	16	0,2304 ^{ns}	1,3762*	242713,1*	170,8966*
Resíduo (B)	40	0,0661	0,1786	9431,343	17,1428
Coefficiente de Variação (%)	-	13,51	18,75	21,38	19,39

ns – não significativo; * significativo a 5% de probabilidade

Tabela 3 - Análise de variância da soma de bases (SB), saturação por bases (V), capacidade de troca de cátions potencial (T) e capacidade de troca de cátions efetiva (t)

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		SB	V	T	t
Salinidade (S)	4	55,8292*	1508,335*	47,7761*	49,7903*
Resíduo (A)	10	1,9412	35,7676	2,2470	2,2037
Parcelas	14	-	-	-	-
Avaliação (AV)	4	58,4514*	559,6140*	60,1125*	62,7708*
S x AV	16	7,8657*	142,7720*	8,1927*	7,9236*
Resíduo (B)	40	1,2957	16,8120	1,7878	1,5690
Coefficiente de Variação (%)	-	23,76	6,17	19,83	24,78

* significativo a 5% de probabilidade

Tabela 4 - Análise de variância do fósforo (P), potássio (K⁺) e magnésio (Mg²⁺)

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio		
		P	K ⁺	Mg ²⁺
Salinidade (S)	4	4,0333 ^{ns}	247,0800 ^{ns}	0,01433 ^{ns}
Resíduo (A)	10	5,3667	628,1500	0,0089
Parcelas	14	-	-	-
Avaliação (AV)	4	4,2917 ^{ns}	291,93 ^{ns}	0,07897 ^{ns}
S x AV	16	2,1687 ^{ns}	1093,884 ^{ns}	0,0119 ^{ns}
Resíduo (B)	40	2,3083	595,6093	0,0143
Coefficiente de Variação (%)	-	19,99	28,90	22,39

ns – não significativo

Tabela 5 - Análise de variância da massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSRA) e área foliar (AFO)

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio		
		MSPA	MSRA	AFO
Salinidade (S)	4	238,3778*	10,9363*	485507,7*
Resíduo (A)	10	32,4471	2,1799	471240
Parcelas	14	-	-	-
Avaliação (AV)	4	10382,09*	849,7509*	71158790*
S x AV	16	102,2745*	15,8867*	1365677*
Resíduo (B)	40	49,4596	4,6480	270634,3
Coefficiente de Variação (%)	-	21,60	20,10	21,40

* significativo a 5% de probabilidade

Tabela 6 - Análise de variância do número de grãos por planta (NGP) e peso dos grãos por planta (PGP)

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio	
		NGP	PGP
Tratamento	4	1420,933*	131,7935*
Repetição	2	16,2667*	393,631*
Resíduo	8	46,4333	23,7138
Coefficiente de Variação (%)	-	19,53	22,37

* significativo a 5% de probabilidade