

**HIDELBLANDI FARIAS DE MELO**

**STATUS HÍDRICO EM SOLO E *ATRIPLEX NUMMULARIA* LINDL SOB  
CONDIÇÕES DE ESTRESSES SALINO E HÍDRICO**

**RECIFE- PE**

**2014**

HIDELBLANDI FARIAS DE MELO

**STATUS HÍDRICO EM SOLO E *ATRIPLEX NUMMULARIA* LINDL SOB  
CONDIÇÕES DE ESTRESSES SALINO E HÍDRICO**

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de Mestre

Orientador:

Prof. Edivan Rodrigues de Souza,

Co-orientadores:

Prof. Brivaldo Gomes de Almeida,

Profa. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire

RECIFE-PE

2014

Ficha catalográfica

M528r      Melo, Hidelblandi Farias de  
              Status hídrico em solo e *Atriplex nummularia* Lindl.  
              sob condições de estresses salino e hídrico/  
Hidelblandi Farias de Melo. – Recife, 2014.  
              82 f. : il.

              Orientador: Edivan Rodrigues de Souza.  
              Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento  
de Agronomia, Recife, 2014.  
              Referências.

              1. Halófitas 2. Potencial hídrico 3. Teor relativo de água  
4. Extração de sais 5. Estado nutricional 6. Semiárido  
              Brasileiro I. Souza, Edivan Rodrigues de, orientador  
              II. Título

CDD 631.4

HIDELBLANDI FARIAS DE MELO  
**STATUS HÍDRICO EM SOLO E *ATRIPLEX NUMMULARIA* LINDL SOB  
CONDIÇÕES DE ESTRESSES SALINO E HÍDRICO**

Dissertação defendida e aprovada em 12 de março de 2014 pela banca  
examinadora:

Orientador: \_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza,  
DEPA/UFRPE

Examinadores: \_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida  
DEPA/UFRPE

\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Emilia Cristina Pereira de Arruda  
Departamento de Botânica/UFPE

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mauro Guida dos Santos  
Departamento de Botânica/UFPE

Aos meus pais: Gleisineis Maria e Adrovandi Farias

Aos meus irmãos: Glaicy Shyenne e Styver Lennon

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus e pai, senhor criador de tudo que existe e mantenedor da vida que nos cerca, pela minha vida, dos meus familiares e preciosos amigos.

À minha mãe Gleisineis Maria Silva de Melo pelos grandes ensinamentos, entusiasmo pela vida e a forma simples e bela de encarar o mundo. Ao meu pai Adrovandi Farias de Melo pelo apoio e presença.

Aos meus avós maternos Maria Severina e José Luiz (*in memoriam*). - Ela libera doçura e simplicidade aonde chega e olha cada ser humano como alguém digno de compreensão, um verdadeiro anjo aqui na terra, além de preencher minha infância de doces e receitas gostosas.

Aos meus avós paternos Maria José de Melo e Davino Farias (*in memoriam*). Ela foi uma mulher de Deus, guerreira que sempre tinha um grande sorriso para aqueles que tomavam lugar à mesa com ela.

Aos meus irmãos e eternos cúmplices, Glaicy Sheynne e Styver Lennon pelas lembranças maravilhosas que escrevemos durante toda nossa infância e aos meus geniais sobrinhos que cantam, dançam, tocam flauta e violão. Em especial à pequena Raquel com seus malabarismos aéreos.

Aos meus amigos e jóias preciosas que alegam minha vida e me dão força sempre que preciso. Em casa, Thays Priscila, Adélia Cristina, Magno Souza e Jonatha Luís; na Universidade, Jocelane Alves, Juliet Emília (amigona), Ana Luíza, e Rodrigo Cândido Passos; na turma de mestrado, Juliana Alves, Rosângela Maria, Kairon Rocha, Luis Antônio, Glêvia Kamila, Eloá e Thiago Lira.

Em especial à Cíntia Lins e Diego Maranhão, presentes de Deus na minha vida desde 2008, e que seja pra sempre! (Amo vocês).

Ao meu orientador professor Edivan Rodrigues de Sousa e aos meus coorientadores professor Brivaldo Gomes de Almeida e Maria Betânia G. dos S. Freire pelo direcionamento e apoio concedidos.

À professora Isabel Galindo, grande conselheira e amiga, digníssima pessoal que tenho o prazer de conhecer.

Aos meus amigos que me ajudaram diretamente no desenvolvimento deste trabalho. A você Henrique Guerra, Fabíola Estrela, Arthur Evaristo,

Evanilson, Laércio, e tantos que nem dá para citar todos. A ajuda de vocês foi indispensável para o êxito deste trabalho.

À CAPES pelo financiamento da bolsa que possibilitou o desenvolvimento dessa pesquisa.

## **BIOGRAFIA**

HIDELBLANDI FARIAS DE MELO, filho de Gleisineis Maria Silva de Melo e Adrovandi Farias de Melo, nasceu em 03 de agosto de 1987, na cidade de Recife, Pernambuco.

Cursou o ensino fundamental e médio na Escola Estadual do Jovem Professor Moacyr de Albuquerque na cidade de Jaboatão dos Guararapes.

Em 2006 iniciou o curso de Engenharia Agrônoma na Universidade Federal Rural de Pernambuco/UFRPE, Recife - PE, graduando-se em 2011.

Em março de 2012 iniciou o Mestrado em Agronomia - Ciências do Solo na Universidade Federal Rural de Pernambuco.



## SUMARIO

Introdução geral .....	09
<b>CAPÍTULO I: Status Hídrico Em Solo e <i>Atriplex nummularia</i> Lindl Sob Condições De Estresses Salino E Hídrico</b>	<b>11</b>
Resumo .....	12
Abstract .....	13
Introdução .....	14
Material e Métodos .....	17
Resultados e Discussão .....	23
Potenciais do solo .....	23
Potenciais de água nas plantas determinados na madrugada (Predawn) .....	26
Potenciais de água na planta determinados ao meio-dia .....	34
Conclusões .....	41
Referências bibliográficas .....	42
<b>CAPÍTULO II: Crescimento, Produção e Acumulação de Íons em <i>Atriplex nummularia</i> Lindl Sob Condições de Estresses Salino e Hídrico</b>	<b>46</b>
Resumo.....	47
Abstract.....	48
Introdução.....	49
Material e Métodos.....	51
Resultados e Discussão.....	57
Crescimento e produção de biomassa.....	57
Teores e conteúdos de Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> e Cl <sup>-</sup> .....	63
Conclusões.....	77
Considerações finais.....	78
Referências Bibliográficas.....	79

## **Introdução Geral**

O estudo de espécies halófitas tem ganhado grande destaque na comunidade científica nos últimos anos, impulsionados, principalmente, pela necessidade de conhecer e entender os mecanismos responsáveis pela sobrevivência destas espécies em ambientes onde a maioria das culturas não sobreviveriam. Pesquisas têm sido desenvolvidas abordando os estresses abióticos salino e hídrico, por afetarem o desenvolvimento, metabolismo e ciclo de vida dessas espécies.

As halófitas, além de sobreviverem em ambientes salinos, são capazes de acumular grandes quantidades de sais em suas células e têm sido utilizadas na recuperação de áreas degradadas em solos afetados por sais e podem servir de objeto de estudo para compreensão dos mecanismos e estratégias de adaptação e sobrevivência.

Muitas áreas têm sido abandonadas em virtude da degradação do solo pela salinização e limitações nos recursos hídricos, mesmo apresentando-se potencialmente produtivas. Esse problema se agrava, essencialmente, em regiões áridas e semiáridas, onde ocorre irregularidades na distribuição das precipitações pluviométricas, levando a utilização de água de qualidade inferior nos períodos de estiagem, adicionando-se o manejo inadequado da irrigação, quando presente.

O estresse hídrico afeta diretamente o estado nutricional e a produtividade das culturas, visto ser do meio aquoso (solução do solo) de onde as plantas retiram os nutrientes necessários para seu desenvolvimento. O estresse salino, por sua vez, causa efeitos deletérios direta e indiretamente nas plantas. Quando presente no solo, sais que contenham sódio em sua composição, a estrutura do solo é modificada e ocorre redução da condutividade hidráulica e da porosidade, afetando a aeração do solo e dificultando a oxigenação das raízes, necessária para que haja absorção de nutrientes, afetando indiretamente o desenvolvimento das plantas. Além disso, o excesso de sais no solo pode levar a um desequilíbrio nutricional nas plantas pela toxicidade de alguns íons que podem ocorrer em grandes quantidades nesses ambientes, como o sódio e o cloreto.

Esses dois estresses abióticos constituem-se os fatores mais agravantes em condições climáticas semelhantes as do semiárido, podendo ser a chave para a produção agrícola em tais ambientes.

Faz-se importante o estudo de variáveis relacionadas as respostas fisiológicas das plantas quando submetidas a estas condições, tais como os potenciais de água na planta e o teor relativo de água, que encontram-se diretamente relacionados ao seu status hídrico e que possibilita identificar o grau de adequação das plantas e os mecanismos de sobrevivência destas, permitindo seu desenvolvimento, mesmo em condições de estresse salino e hídrico.

Estas pesquisas podem ser complementadas com estudos que retratem a tolerância das plantas a diferentes níveis de salinidade e a influência das espécies iônicas presentes na água de irrigação sobre o metabolismo das plantas, tendo em vista a utilização de água de baixa qualidade, comumente destinada para a irrigação na maior parte dos perímetros irrigados do semiárido nordestino.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência dos estresses hídrico e salino sobre as reações hídricas, crescimento, produção de biomassa e estado nutricional em *Atriplex nummularia* Lindl. cultivada em dois regimes de umidade (37 e 70% da umidade referente à capacidade de campo) e irrigada com água de diferentes níveis de salinidade (0, 5, 10, 20, 30 e 40 dS m<sup>-1</sup>), elaboradas a partir de duas fontes (NaCl e uma mistura de Ca, Mg, K, Na, K e Cl).

## **CAPÍTULO I**

### **STATUS HÍDRICO EM SOLO E *ATRIPLEX NUMMULARIA* LINDL SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSES SALINO E HÍDRICO**

## RESUMO

O estado energético da água determina o movimento da mesma no contínuo solo-planta-atmosfera e os fenômenos resultantes desta movimentação, além de estar relacionado com mecanismos de adaptação dos principais estresses abióticos que acometem a região semiárida. Essa pesquisa tem como objetivo avaliar o estado energético da água em sistema solo-planta sob condição de estresse salino e hídrico. Para isso, cultivou-se a espécie halófito *Atriplex nummularia* Lindl., em Neossolo Flúvico, sob condições controladas por um período de 100 dias. Os tratamentos adotados foram: dois regimes de umidade, 0,17 g g<sup>-1</sup> (70% da capacidade de campo, -0,06 MPa) e 0,09 g g<sup>-1</sup> (37 % da capacidade de campo, -0,52 MPa), irrigadas com soluções salinas confeccionadas com duas diferentes fontes de sais (NaCl e uma mistura de NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub> e CaCl<sub>2</sub>), reproduzidas em seis valores de condutividades elétricas (0; 5; 10; 20; 30; e 40 dS m<sup>-1</sup>). Assim, formou-se um fatorial de 2 x 2 x 6, instalados em bloco ao acaso com quatro repetições. Aos cem dias após o transplante das mudas, foram avaliados o potencial total de água na planta ( $\Psi_t$ ) com auxílio da Câmara de Scholander, durante a madrugada e ao meio dia; extraída a seiva das folhas, e determinado o potencial osmótico ( $\Psi_o$ ). Calculou-se ainda o potencial de pressão ( $\Psi_p$ ) e o teor relativo de água (TRA). No solo foram determinados o potencial matricial ( $\Psi_m$ ), osmótico ( $\Psi_o$ ) e total ( $\Psi_t$ ). Neste, as fontes de sal não influenciaram os valores dos potenciais. A maior umidade apresentou capacidade de reduzir o  $\Psi_o$  do solo, enquanto na menor umidade, o  $\Psi_t$  das plantas foi reduzido por influência do estresse hídrico. O maior estresse salino diminuiu os  $\Psi_o$  e  $\Psi_t$  na madrugada e meio-dia, enquanto os valores de  $\Psi_p$  foram elevados juntamente com os níveis de salinidade; todos os potenciais foram influenciados pelas umidades, exceto o  $\Psi_p$  influenciado apenas pelos níveis de salinidade; é provável que a CE suportada pela *Atriplex* esteja próximo de 40 dS m<sup>-1</sup> em virtude da diminuição da capacidade de reduzir o  $\Psi_t$  da planta em valores muito negativos de  $\Psi_o$  da solução do solo.

**Palavras-chave:** Halófitas, Potencial hídrico, Teor Relativo de Água.

## ABSTRACT

The energetic state of water determines the movement of the same in the soil-plant-atmosphere continuum and the phenomena resulting from this movement. It is related to adaptation mechanisms of the major abiotic stresses affecting the semiarid region. This research aims to evaluate the energy status of water in soil-plant system under the condition of saline and water stress. For this, the halophyte species *Atriplex nummularia* Lindl was cultivated in an Entisol under controlled conditions for a period of 100 days. The following treatments were adopted: two regimes of moisture, 0,17 g g<sup>-1</sup> (70 % of field capacity , -0.06 MPa) and 0.09 g g<sup>-1</sup> (37 % of field capacity, -0,52 MPa), irrigated with saline solutions prepared with two different sources of salt (NaCl and a mixture of NaCl, KCl , MgCl<sub>2</sub> and CaCl<sub>2</sub>) reproduced in six electrical conductivities values (0, 5, 10, 20, 30 and 40 dS m<sup>-1</sup>). Thus, we have formed a 2 x 2 x 6 factorial, installed in randomized block with four replications. After one hundred days after transplantation, the total water potential in the plant (  $\Psi_t$  ) were evaluated during the morning and at noon using a Scholander Pressure Chamber; sap were extracted from leaves, than determined the osmotic potential ( $\Psi_o$ ). We also calculated the pressure potential ( $\Psi_p$ ) and relative water content (RWC). Matric potential ( $\Psi_m$ ), osmotic ( $\Psi_o$ ) and total ( $\Psi_t$  ) were determined in soil. At this, the sources of salt did not affect the values of the potential. The greatest humidity had the ability to reduce  $\Psi_o$  soil, while in the lowest- moisture,  $\Psi_t$  of plants was reduced by the influence of water stress. The greatest salt stress decreased  $\Psi_o$  and  $\Psi_t$  at dawn and noon, while the values of  $\Psi_p$  were elevated along with salinity levels; all potentials were influenced by humidity, except  $\Psi_p$  only influenced by salinity levels. Is likely that *Atriplex* supports a EC around 40 dS m<sup>-1</sup> due to the decreased ability to reduce plant  $\Psi_t$  in terms of very negative  $\Psi_o$  on the soil solution.

**Keywords:** halophytes , water potential , Relative Water Content.

## INTRODUÇÃO

Os principais estresses abióticos que acometem as regiões áridas e semiáridas são o hídrico e o salino. Assim, pesquisas que enfatizem esta temática são de grande receptividade, uma vez que melhoram o entendimento da dinâmica no sistema solo-planta.

A salinidade do solo afeta o desenvolvimento das plantas devido ao efeito prejudicial de alguns íons e o estresse hídrico causado pela redução do potencial osmótico na solução do solo (Silva, 2008), influenciando diretamente na absorção de água e, conseqüentemente, nas condições nutricionais da planta (Ben-Gal et al., 2009), além de reduzir significativamente a produtividade das lavouras comerciais e restringir áreas potencialmente produtivas (Nepomuceno et al., 2001).

No Brasil, a problemática da salinidade afeta principalmente a região semiárida do Nordeste, isto, em virtude das suas taxas de evapotranspiração maiores que de precipitação. Grande parte dos solos nessa região apresenta-se propensa à salinidade, ou com problemas de acúmulo de sais em superfície, afetando tanto propriedades físicas e químicas do solo quanto da água, influenciando nas espécies iônicas presentes na solução (Ribeiro, 2010).

Os estresses osmótico e hídrico podem levar a uma redução na produção de biomassa das plantas (Loutfy et al., 2012) e, conseqüentemente, à redução da produtividade de culturas em sistemas agrícolas, por afetarem processos fisiológicos e por ocasionarem a redução da área foliar, reduzindo a área potencialmente fotossintetizante destas (Belkheiri & Mulas, 2011), além de provocar reduções nos teores das clorofilas *a* e *b*, pigmentos responsáveis pelo desempenho fotossintético da planta. Para resistir ao estresse ocasionado pelo déficit hídrico e excesso de sais na solução do solo, algumas espécies apresentam grandes reduções no potencial total de água e no potencial osmótico na presença de altas concentrações de sais ou quando submetidas a estresse hídrico (Ben-Gal et al., 2009; Ma et al., 2011).

Pesquisas mais recentes acentuam a importância do conhecimento e utilização do potencial osmótico como ferramenta para a avaliação do status hídrico da planta e monitoramento, principalmente de culturas desenvolvidas

sob condições de estresse hídrico e salino, como é o caso de muitas áreas no semiárido nordestino (Silveira, 2009; Ma et al., 2011; Souza et al., 2012).

O estudo de espécies resistentes à seca e ao estresse salino é fundamental para a compreensão dos mecanismos e processos fisiológicos envolvidos nesta resistência, principalmente de espécies halófitas, onde tais mecanismos comumente encontram-se presentes (Flowers & Colmer, 2008).

As plantas do gênero *Atriplex* são espécies que têm sido amplamente pesquisadas devido a sua capacidade de sobrevivência sob condições adversas para a maioria das espécies (Azevedo et al., 2005; Araújo et al., 2005). A *Atriplex nummularia*, por exemplo, é uma espécie adaptada à seca e a salinidade do solo, visada principalmente por produzir grande quantidade de biomassa consumível em áreas onde outras culturas não conseguem se desenvolver (Ben Salem et al., 2010; Araújo et al., 2005).

Além de apresentar grande potencial fitoextrator e acumulador de íons, principalmente de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  (Azevedo et al., 2005), a *A. nummularia* também apresenta-se como um excelente suplemento nutricional na dieta de pequenos ruminantes (Ben Salem et al., 2010); como alternativa para a fitorremediação de solos afetados por sais (Souza et al., 2011), características que têm levado esta espécie a ser alvo de muitas pesquisas.

Estudos como De Souza et al. (2012), têm direcionado o foco das pesquisas com plantas de *Atriplex nummularia* para entender os mecanismos envolvidos em sua adaptabilidade a condições de estresses abióticos, envolvendo as relações hídricas do solo e planta. Entretanto, são necessários estudos relacionados ao nível máximo de salinidade suportado por esta espécie, suas limitações fisiológicas e como seu status hídrico é afetado em decorrência aos estresses hídrico e salino.

Mesmo se tratando de uma halófita, as plantas de *Atriplex nummularia* apresentam um nível de salinidade limite suportado pelas plantas sem que haja efeitos deletérios na fisiologia e ciclo de vida destas. Onde, a partir deste valor, se expostas, as plantas apresentam respostas como reduções na área foliar, no teor relativo de água, concentração de íons e outros parâmetros indicadores do estado fisiológico em que as plantas se encontram (Belkheiri & Mulas, 2011).



Contudo, faz-se necessário pesquisas que envolvam não apenas a condutividade elétrica, como também o estudo das espécies iônicas presentes na água de irrigação ou solução do solo, e que podem, de semelhante modo, afetar o estado fisiológico das plantas e seu desenvolvimento, seja por efeitos benéficos advindos de afinidade da espécie vegetal com íons presentes em solução, ou por efeitos deletérios, causado pela ação antagônica destes no interior da planta. Em campo, tais condições podem ser agravadas pelos períodos de estiagem, onde ocorre a concentração da solução do solo e aumento do estresse osmótico e efeito tóxico de certos íons (Ahmed et al., 2013).

A maioria dos estudos envolvendo condições controladas de estresse salino em plantas, utiliza-se de NaCl como sal base para a confecção das soluções salinas dos tratamentos (Casas, Bressan & Hasegawa, 1991; Khedr et al., 2011; Bouchenak et al., 2012; Glenn et al., 2012; Nedjimi, 2014), condição diferente da encontrada em campo pelas plantas. Faz-se necessário o desenvolvimento de estudos envolvendo estresse salino com base em soluções elaboradas com outros tipos de sais e espécies iônicas que simulem as condições reais encontradas pelas plantas na água de irrigação ou na solução do solo (Ramos, López & Benlloch, 2004; Matinzadeh et al., 2013; Belkheiri & Mulas, 2013).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o estado energético da água no solo e na planta de *Atriplex* cultivada em condições de estresse hídrico (37 e 70% da capacidade de campo) e salino (0; 5; 10; 20; 30; e, 40 dS m<sup>-1</sup>). Com o intuito de avaliar a qualidade da água de irrigação, os níveis de salinidade foram elaborados utilizando-se duas fontes: cloreto de sódio e uma mistura de sais incluindo cálcio, magnésio, sódio e potássio. Foram avaliados os potenciais total, osmótico e mátrico do solo e os potenciais total, de turgor e osmótico de folhas de *Atriplex nummularia*, além do teor relativo de água.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Coleta e preparo do solo

O solo utilizado no experimento foi coletado no Município de Pesqueira - PE, na profundidade de 0-30 cm e classificado como NEOSSOLO FLÚVICO (EMBRAPA, 2013), isento de problemas de salinidade e sodicidade. Posteriormente, o solo foi seco ao ar, destorroado, homogeneizado e passado em peneira de 4 mm seus, conservando-se assim microagregados.

### Caracterização inicial do solo

Para a caracterização química do solo (Tabela 1), foram determinados na terra fina seca ao ar (TFSA), o  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  na relação solo:água de 1:2,5; os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  trocáveis extraídos por acetato de amônio  $1 \text{ mol L}^{-1}$  (Thomas, 1982). O extrato de saturação foi obtido por meio do preparo da pasta de saturação (Richards, 1954), medindo-se neste a condutividade elétrica e o pH, determinando-se as bases solúveis e o íon cloreto, pelo método da titulação com  $\text{AgNO}_3$  (EMBRAPA, 1997). A capacidade de troca de cátions (T) foi determinada pelo método do cátion índice (Richards, 1954). A partir dos resultados obtidos do complexo de troca, foram calculados os valores de soma de bases (SB) e Percentagem de Sódio Trocável (PST).

**Tabela 1.** Caracterização química inicial do NEOSSOLO FLÚVICO utilizado no preenchimento dos vasos no experimento em casa de vegetação

Extrato de Saturação		Complexo Sortivo		Relação (solúveis)	
Variáveis	Valores	Variáveis	Valores	Variáveis	Valores
$\text{pH}_{\text{es}}$	8,17	$\text{pH}_{(1:2,5)}$	7,70	Na/Ca	1,42
CE ( $\text{dS m}^{-1}$ )	1,17	$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	5,53	Na/Mg	7,09
$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	19,07	$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	2,22	Na/K	19,31
$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	3,81	$\text{Na}^+$ ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	0,26	Na/Cl	10,24
$\text{Na}^+$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	27,04	$\text{K}^+$ ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	0,50	Cl/Ca	0,14
$\text{K}^+$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	1,40	SB ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	8,51	Cl/Mg	0,69
$\text{Cl}^{-1}$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	2,64	PST (%)	3,00	Cl/Na	0,10
				Cl/K	2,54

$\text{pH}_{\text{es}}$ : pH determinado no extrato de saturação; PST: Percentagem de sódio trocável; SB: Soma de Bases.

Para a caracterização física (Tabela 2) foi feita a análise granulométrica e a argila dispersa em água na TFSA pelo método do densímetro; calculando-se os índices de dispersão e floculação da argila; a densidade do solo pelo método da proveta e de partículas pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997). A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente foram determinados com base na curva característica de retenção de água no solo (CRRAS). A estimativa da porosidade total foi feita utilizando-se os valores de densidades de partícula e do solo.

**Tabela 2.** Caracterização física inicial do NEOSSOLO FLÚVICO utilizado no preenchimento dos vasos no experimento em casa de vegetação

Areia			Silte	Argila	ADA	Ds	Dp	IF	ID	PT	CC	PMP
Fina	Grossa	Total										
g Kg <sup>-1</sup>			g cm <sup>-3</sup>				%		g g <sup>-1</sup>			
435	17	452	386	162	117	1,36	2,66	0,28	0,72	49,57	0,24	0,05

ADA: argila dispersa em água; Dp: densidade de partículas; Ds: densidade do solo; ID: ADA/Argila; IF: (1 – ID); ID: índice de dispersão; IF: índice de floculação; PT: Porosidade total.

### Montagem do experimento e definição dos tratamentos

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, durante os meses de março a junho de 2013, totalizando 100 dias de acompanhamento. Foram cultivadas plantas de *Atriplex nummularia* em vasos com capacidade para dez quilogramas de solo, sendo uma planta por vaso, estes preenchidos com o solo peneirado em malha de 4 mm. Após o transplântio, as plantas foram submetidas a duas umidades gravimétricas do solo: 0,17 g g<sup>-1</sup> (-0,06 MPa), referente a 70% da capacidade de campo do solo; e 0,09 g g<sup>-1</sup> (-0,52 MPa) referente a 37% da capacidade de campo. A escolha das umidades baseou-se na curva característica de retenção de água no solo (CCRAS). Também foram instalados tensiômetros para o monitoramento da tensão de água nos tratamentos com maior umidade, estabelecidas dentro da faixa de leitura dos tensiômetros; as águas utilizadas para a irrigação das plantas foram confeccionadas em laboratório e

provenientes de duas fontes distintas de sais, uma composta apenas por NaCl e, outra composta por uma mistura de sais em proporções semelhantes as encontradas em campo. Estas, foram confeccionadas em seis valores de condutividade elétrica: 0, 5, 10, 20, 30 e 40 dS m<sup>-1</sup> (Araújo et al., 2005; Belkheiri & Mulas, 2011; Silveira et al., 2009).

### Confeção das águas para irrigação das plantas

Para fundamentar a composição da mistura de sais necessária para os tratamentos, foram coletadas duas amostras de água de um poço artesiano localizado na área próximo a coleta do solo. As amostras foram submetidas à análises para a determinação do pH, condutividade elétrica e dos elementos Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, pelo método do espectrofotômetro de absorção atômica, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>, pelo método do fotômetro de chama, e cloreto pelo método de Mohr (Almeida, 2010).

Após determinação da composição química e da proporção de cada elemento nas amostras, foram pesados sais de NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub> e CaCl<sub>2</sub>, de modo a manter a mesma proporção encontrada no poço (Tabela 3), e mediu-se a condutividade elétrica da solução.

**Tabela 3.** Quantidades necessárias de sal (g L<sup>-1</sup>) para a obtenção dos valores de condutividade elétrica utilizadas para as águas de irrigação de ambas as fontes de sais e o potencial osmótico das soluções (MPa)

CE	Fontes de água							
	— Cloreto de Sódio —		— Mistura de Sais —					
dS m <sup>-1</sup>	NaCl	Ψ <sub>o</sub>	NaCl	KCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	Total	Ψ <sub>o</sub>
0	-	-0,02	-	-	-	-	-	-0,02
5	2,2202	-0,21	1,6688	0,0100	0,4705	0,3769	2,5263	-0,19
10	5,2591	-0,30	4,3744	0,0262	1,2333	0,9881	6,6222	-0,58
20	13,279	-1,24	10,619	0,0637	2,9941	2,3988	16,0760	-1,17
30	23,128	-2,21	20,454	0,1228	5,7672	4,6206	30,9655	-2,31
40	37,672	-2,99	28,914	0,1736	8,1524	6,5315	43,7721	-3,07

## **Produção de mudas**

Para garantir a uniformidade genética das plantas, utilizou-se clones de uma única planta, produzidos a partir de estaquia e cultivadas em substrato (material leve composto por barro de jardim, areia e húmus), obtido em sementeira. As estacas foram produzidas e cultivadas em casa de vegetação, sendo transplantadas 90 dias após a propagação. Durante o cultivo as mudas não foram submetidas a nenhuma prática de adubação, sendo irrigadas apenas com água de torneira.

## **Condução do experimento**

Para evitar perdas de água por evaporação durante o estabelecimento da umidades dos vasos, a água de cada vasos foi colocada após o pôr do sol e os vasos deixados em repouso para o equilíbrio da umidade durante toda noite.

O transplântio das mudas foi realizado no dia posterior ao estabelecimento e equilíbrio da umidade requerida em cada vaso. As plantas foram irrigadas inicialmente, com água destilada por um período de 20 dias, realizando-se elevação gradual da condutividade elétrica para evitar choque osmótico nas plantas transplantadas. Durante todo o experimento, a umidade nos vasos foi mantida mediante pesagens realizadas todos os dias, sempre aos fins de tarde, para possibilitar que o solo durante a noite equilibrasse na umidade desejada, sem a possibilidade de perdas por evaporação.

## **Determinação do *status* hídrico das plantas**

A medição do potencial hídrico das plantas foi realizada 100 dias após o transplântio (DAT) em dois horários, antes do amanhecer (predawn), e ao meio dia, a fim de contemplar os extremos dos valores dos potenciais nas plantas.

Foram coletados ramos apicais uniformes e envolvidos em filme plástico para evitar perdas por evaporação, e acondicionados sob refrigeração até o momento da leitura. A determinação do potencial hídrico ( $\Psi_i$ ) da plantas foi medido diretamente por meio da utilização da câmara de pressão de

Scholander, (modelo 1515D Pressure Chamber Instrument - PMS Instrument Company).

Para a determinação do potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) das plantas foram coletadas as folhas dos mesmos ramos utilizados para determinar o potencial total. As folhas foram maceradas com nitrogênio líquido e filtradas com tecido de musseline com auxílio de seringa. A seiva obtida foi acondicionada em eppendorfe centrifugada a 10.000 g por 10 minutos a 4°C. Foi feita coleta do sobrenadante e leitura da osmolalidade em osmômetro (VAPRO WESCOR Modelo 5600) [Silveira et al., 2009].

A estimativa do potencial osmótico foi realizada por meio da aplicação da equação de Van't Hoff, conforme equação (01).

$$\psi_o = -R T C \quad \text{Equação.(01)}$$

Onde, R é a constante geral dos gases ( $0,00831 \text{ kg MPa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ), T é a temperatura (K), e, C é a concentração de soluto, expressa em  $\text{mol kg}^{-1}$  (Gimenez, Gallardo & Thompson, 2005; Ben-Gal et al., 2009; Silveira et al., 2009).

De posse dos valores dos potenciais hídrico e osmótico, o potencial de pressão foi obtido pela diferença entre o potencial hídrico e o osmótico, uma vez que o potencial hídrico ( $\psi_t$ ) é o somatório dos potenciais de pressão e osmótico, como mostra a equação (02).

$$\psi_t = (\psi_o) + (\psi_p) \quad \text{Equação. (02)}$$

Na qual,  $\psi_t$  é o potencial total de água na planta,  $\psi_o$ , o potencial osmótico, e  $\psi_p$ , o potencial de pressão. Desse modo o potencial de pressão de acordo com a seguinte equação (03) conforme (Gimenez, Gallardo & Thompson, 2005; Dias & Blanco, 2010):

$$\psi_p = (\psi_t) - (\psi_o) \quad \text{Equação. (03)}$$

Por ocasião da coleta de ramos para a determinação do potencial hídrico, foram também coletadas folhas para a determinação do Teor Relativo de Água (TRA) no tecido vegetal (Silveira et al., 2003). Das folhas coletadas, foram recortados discos de mesma área e feitas pesagens antes (Peso da Massa Fresca - PMF) e depois do completo turgor (Peso da Massa Túrgida -

PMT), sendo levados à estufa de circulação de ar forçada, à 80°C por 48 h para secagem, e obtenção do Peso da Massa Seca (PMS).

A determinação do TRA foi feita por meio da equação (04):

$$\text{TRA} = [(PMF - PMS)/(PMT - PMS)] \times 100 \quad \text{Equação. (04)}$$

### **Potenciais de Água no Solo**

O Potencial mátrico do solo foi estabelecido por intermédio da curva característica de retenção de água no solo, mediante uso das umidades referentes às tensões de água no solo desejadas; Os vasos contendo TFSA foram pesados e feita a quantificação da água presente no solo acrescentando-se a água necessária para o alcance da umidade desejada.

Para a determinação do potencial osmótico foram retiradas amostras de solo de cada vaso e postas à secagem e destorroamento para a obtenção da TFSA, elaboradas as pastas de saturação para cada tratamento e obtidos os extratos de saturação, onde a osmolalidade foi determinada para cada tratamento, com posterior aplicação dos valores na equação de Van't Hoff e estimado o potencial osmótico do solo para cada tratamento.

O potencial total do foi obtido por intermédio do somatório dos potenciais mátrico e osmótico do solo.

### **Delineamento experimental**

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro blocos em arranjo fatorial triplo 2 x 2 x 6, sendo duas tensões matriciais (0,06 e 0,52 MPa), duas fontes de sais e seis níveis de condutividade elétrica. Os dados foram analisados por meio de análise de variância e teste de comparação de médias e ajustes de regressões para as interações com os níveis de salinidade.

## Resultados e Discussão

Para todos os potenciais de água no solo, observou-se interação significativa CE x Umidade (Tabela 4). Para as plantas avaliadas durante a madrugada apenas o potencial hídrico ( $\psi_t$ ) apresentou interação entre a CE e Umidade e interação simples para os três fatores em questão. O potencial osmótico apresentou efeito significativo para a umidade e CE, enquanto que a pressão de turgor ( $\psi_p$ ) apresentou apenas significância para a condutividade elétrica (Tabela 4).

**Tabela 4.** Resultados da análise de variância dos potenciais avaliados no solo e nas plantas, durante a madrugada (predawn) e o meio-dia aos 100 dias após o transplântio

TRATAMENTOS	SOLO			PLANTA					
				Madrugada			Meio-dia		
	$\Psi_t$	$\Psi_o$	$\Psi_m$	$\Psi_t$	$\Psi_o$	$\Psi_p$	$\Psi_t$	$\Psi_o$	$\Psi_p$
CE	NS	**	NS	**	**	**	**	**	**
F.S.	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS
U	NS	**	NS	**	*	NS	NS	NS	NS
CE X F.S.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS
CE X U	**	**	**	**	NS	NS	**	NS	NS
F.S. X U	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CE X F.S. X U	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

\*\*= Significativo a 1%; \*= Significativo a 5%; CE= Condutividade elétrica; FS.= Fonte de sal; NS= Não significativo; U= Umidade gravimétrica do solo;  $\Psi_m$  = Potencial mátrico;  $\Psi_o$ =Potencial osmótico;  $\Psi_p$ = Potencial de pressão;  $\Psi_t$ = Potencial total.

Para os potenciais das plantas avaliados durante o meio-dia, o hídrico apresentou interação significativa para CE X umidade, enquanto que o osmótico apresentou significância para a CE e fonte de sal. O potencial de pressão se mostrou semelhante à condição observada na madrugada.

### O potencial osmótico do Solo ( $\Psi_o$ )

O potencial osmótico do solo ( $\Psi_o$ ) apresentou diferença significativa para os valores de condutividade elétrica da água de irrigação e para os dois níveis de umidade estabelecidos nos tratamentos. Em ambas as umidades, o



comportamento linear dos valores encontrados diminuíram mediante o aumento da CE da água (Figura 1).

Quanto maior a CE da água de irrigação, maior a quantidade de sais solúveis e rebaixamento do potencial osmótico da solução (Ben-Gal et al., 2009). A maior concentração de sais, e conseqüente rebaixamento do potencial osmótico da solução do solo foi responsável pelo comportamento linear das regressões obtidas (Figura 1). Como não foi encontrada diferenças significativas entre as fontes de sais (Tabela 4), pode-se concluir que o tipo de sal presente na solução não influenciaram no potencial osmótico.

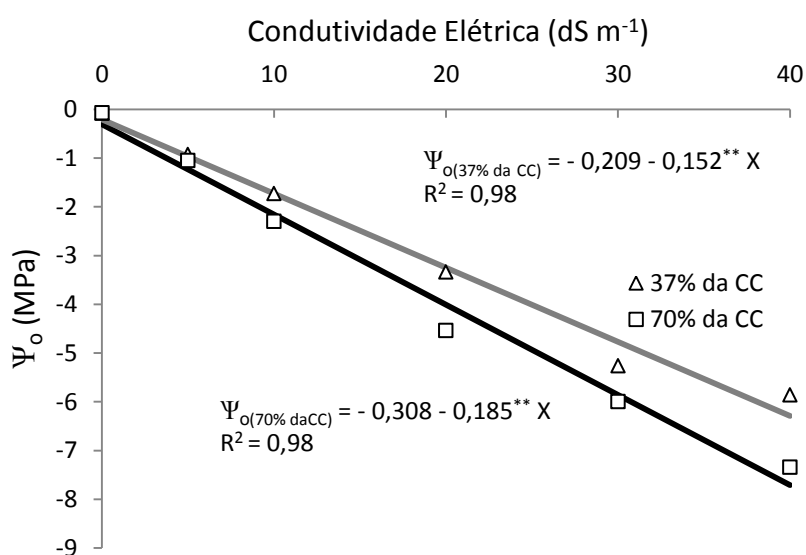


Figura 1. Relação do potencial osmótico do NEOSSOLO FLÚVICO com os valores de condutividade elétrica da água de irrigação e as umidades do solo (70 e 37% da capacidade de campo) aos 100 dias após o transplântio.

Os valores encontrados para a umidade de 70% da CC, foram mais negativos que os da condição de maior déficit hídrico, em virtude da maior entrada de sais via água de irrigação. Esse comportamento também foi observado por (De Souza et al., 2012).

Foram encontrados elevados coeficientes de determinação para ambas umidades aplicadas ao solo,  $R^2 = 0,98$  para a umidade de 70% da CC, e  $R^2 = 0,98$  para a umidade de 37% da CC, possibilitando a estimativa do potencial osmótico por meio dos valores de CE, para condições semelhantes as

utilizadas nesse experimento, tornando mais viável a obtenção deste atributo já que os custos são menores pelo uso apenas do condutímetro.

O potencial mátrico ( $\Psi_m$ ), apresentou interação significativa entre CE e Umidade (Tabela 4). Apesar disto, não foi possível a determinação de uma regressão com equação que descrevesse o comportamento desta variável, uma vez que esta depende da matriz do solo e quantidade de água, cuja a intensidade de retenção aumenta conforme o conteúdo de água diminui (Libardi, 2005).

Dessa forma, os tratamentos que receberam apenas 37% da capacidade de campo apresentaram  $\Psi_m$  mais negativo, em virtude da maior retenção da água na rede porosa do solo.

### O potencial total ( $\Psi_t$ )

Os valores de potencial total do solo ( $\Psi_t$ ) apresentaram interação significativa entre a CE da água de irrigação e a umidade do solo (Tabela 4), apresentando comportamento linear (Figura 2).

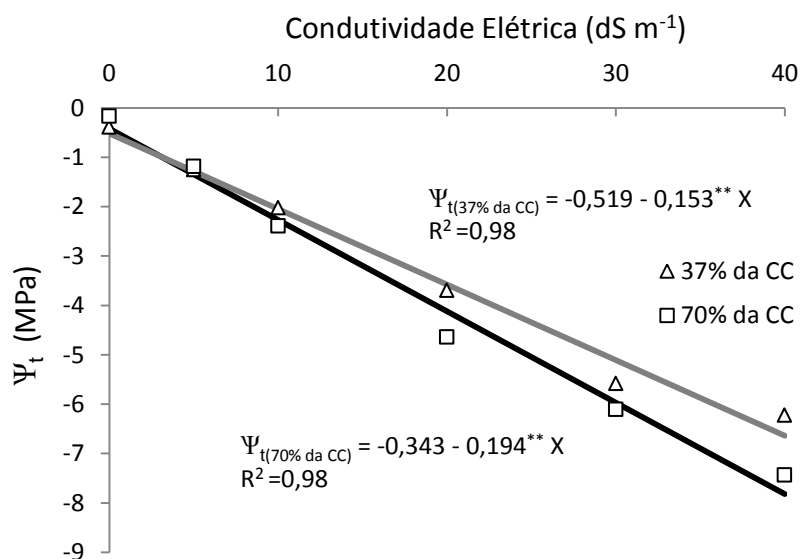


Figura 2. Potencial total de água no solo e sua relação com a condutividade elétrica da água de irrigação e as umidades do solo (70 e 37% da capacidade de campo) aos 100 dias após o transplante.

As similaridades entre as regressões para o  $\Psi_t$  e  $\Psi_o$  indicam que o potencial osmótico foi o componente de maior contribuição para o potencial

total do solo, nas condições experimentais avaliadas. Uma vez que fixando-se a umidade do solo, o constante incremento de sais resulta na redução do potencial osmótico aumentando gradativamente a contribuição deste em relação ao potencial total.

A determinação do potencial osmótico em solos com aplicação de águas salinas é indispensável para a avaliação do estado energético da água no solo. Caso este componente do potencial não seja considerado, os valores do potencial total apresentariam um comportamento completamente diferente das condições reais encontradas e que, influenciam diretamente no potencial encontrado nas plantas.

Por exemplo, considerando os pontos amostrais na Figura 1, o tratamento com CE de  $40 \text{ dS m}^{-1}$  (umidade de 70% da CC), o  $\Psi_o$  é de  $-7,34 \text{ MPa}$  e o  $\Psi_m$  de  $-0,06 \text{ MPa}$ . Observe que o potencial total do solo é de  $-7,40 \text{ MPa}$ , onde o mátrico só corresponde a 0,81% do total.

## **Potenciais de água na planta determinados na madrugada (predawn)**

### **Potencial osmótico ( $\Psi_o$ )**

O potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) apresentou diferença significativa para os níveis de umidades e condutividades elétricas aplicadas, não apresentando diferença para os tipos de sal introduzidos via água de irrigação (Tabela 4).

O  $\Psi_o$  das plantas durante a madrugada, caracterizou-se pela redução de seus valores em resposta ao aumento da condutividade elétrica da água utilizada para irrigação em ambas tensões de água no solo (Figura 3).

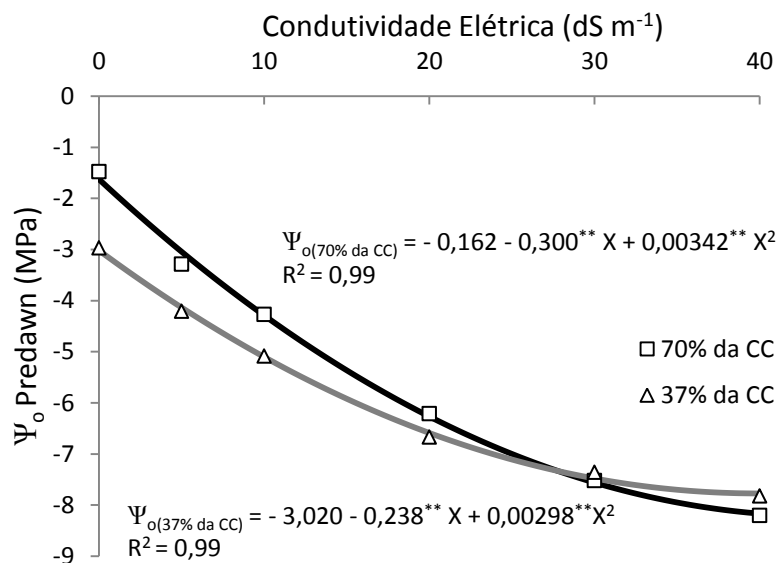


Figura 3. Relação do potencial osmótico na planta com os valores de condutividade elétrica (CE) da água de irrigação e de umidade do solo (70 e 37% da capacidade de campo) aos 100 dias após o transplântio para a condição na madrugada.

Pelo fato do  $\Psi_o$  ser inversamente proporcional ao volume de água no interior da célula (Gimenez; Gallardo & Thompson, 2005), as plantas submetidas à umidade de 37% da CC apresentaram  $\Psi_o$  mais negativos que aquelas submetidas a 70% da CC, uma vez que a reidratação da planta é feita com base na disponibilidade de água presente no solo. Comportamento atenuado para os valores mais elevados de CE (30 e 40 dS m<sup>-1</sup>), causando conseqüente aumento da inflexão da curva, pela tendência à estabilização dos valores (Figura 3).

Na CE de 30 dS m<sup>-1</sup>, a convergência dos valores de  $\Psi_o$  deu-se possivelmente pelo alto incremento de sais ao solo e absorção destes pelas plantas, superando a diferença da quantidade de água presente nos tratamentos.

Outra explicação para este comportamento pode ser devido a acumulação de íons nos vacúolos de *Atriplex nummularia* intensamente salinizadas e aos solutos orgânicos sintetizados, utilizados como mecanismo para manter o equilíbrio do potencial hídrico no interior das células (Silveira et

al., 2009). Estes fatos, provavelmente, levaram as plantas com melhor condições hídricas (70% da CC) a apresentarem valores mais negativos.

É possível inferir que a CE tolerada pela planta de *Atriplex* seja próxima a 40 dS m<sup>-1</sup>, uma vez que houve uma tendência de estabilização após o tratamento 30 dS m<sup>-1</sup>, indicando que a partir desse momento ela perde sua capacidade de ajustar-se osmoticamente. Outro resultado interessante é que o estresse hídrico desempenhou maior influência para o rebaixamento do potencial osmótico na planta até 30 dS m<sup>-1</sup>, possivelmente porque a partir deste valor de CE o potencial do solo (Figura1) já estava bem mais negativo e próximo daquele encontrado na planta.

### Potencial de pressão ( $\Psi_p$ )

O potencial de pressão ( $\Psi_p$ ) das plantas, apresentou valores crescentes diretamente proporcionais aos valores de CE, não diferindo estatisticamente para as umidades e fonte de sais (Figura 4), apresentando diferença significativa apenas para a CE da água de irrigação.

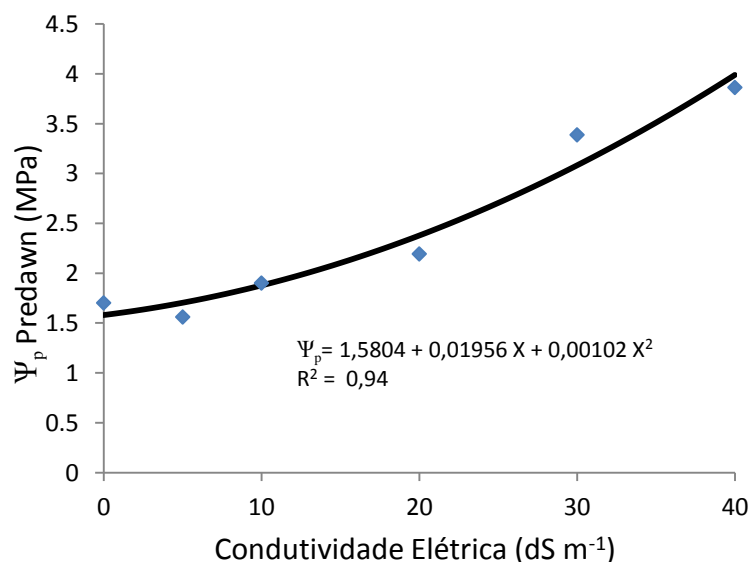


Figura 4. Relação do potencial de pressão na planta com os valores de condutividade elétrica da água de irrigação aos 100 dias após o transplante.

O  $\Psi_p$  é um parâmetro que pode apresentar-se com considerada variação, por estar ligado a muitos processos fisiológicos, e por ser uma

medida estimada por diferença entre outros dois parâmetros (potencial total e osmótico).

Os valores encontrados não apresentaram diferença significativa para as fontes de sais, o que pode ser justificado pela presença de outros solutos orgânicos (Ramos et al., 2004), e que podem estar envolvidos na manutenção do turgor celular. Mesmo assim, com base nos valores obtidos, foi possível o ajustamento da regressão (Figura 4) com alto coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,94$ ).

A elevação dos valores de  $\Psi_p$  como resultante do aumento nos valores de CE (figura 4), encontram-se relacionados com a acumulação de solutos, principalmente íons de  $\text{Na}^+$ , que assume importante papel na manutenção do ajustamento osmótico e do turgor celular (Martinez et al., 2003; Khedr et al., 2011).

Segundo Ramos et al. (2004) a adaptação interna ao estresse salino em *Atriplex nummularia* ocorre, preferencialmente, devido a sua capacidade de acumulação de íons, de evitar toxicidade por determinados íons e manutenção da absorção de água com altas concentrações salinas.

Outro fator que encontra-se associado a manutenção do turgor em plantas de *A. nummularia* são as mudanças na anatomia celular. De Souza et al. (2012), detectaram reduções no diâmetro e no volume das células vesiculares por unidade de área, associadas a redução no conteúdo de água do solo e aumento do estresse salino, o que possibilita a manutenção de alto turgor celular. Entretanto, mesmo com altos valores de potencial de turgor nos tratamentos irrigados com 30 e 40  $\text{dS m}^{-1}$ , as concentrações elevadas de sais no citoplasma das células podem acarretar sérios danos a planta, dentre estes, à redução da produção de biomassa.

### **Potencial hídrico ( $\Psi_t$ )**

Como o potencial hídrico na planta ( $\Psi_t$ ), durante a madrugada, apresentou interação significativa entre CE x umidade e efeito significativo para as fontes (Tabela 4), foi necessário apresentar de forma isolada os efeitos dos sais (Figuras 5 e 6). A partir da CE 20  $\text{dS m}^{-1}$ , os valores do  $\Psi_t$  para ambas as umidades convergiram, havendo sobreposição das curvas (Figura 5). Dessa forma, observou-se que a influência na diferença de umidade no solo afetou,

principalmente, as plantas submetidas aos valores mais baixos de CE ( $0 - 20 \text{ dS m}^{-1}$ ). E que, quando submetidas a valores acima de  $20 \text{ dS m}^{-1}$ , as plantas apresentaram potenciais hídricos semelhantes.

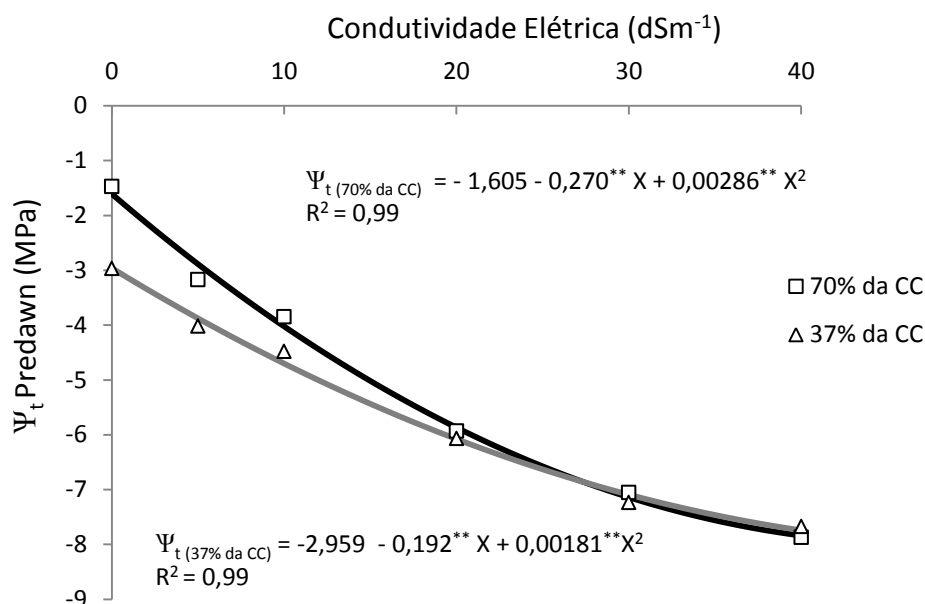


Figura 5. Relação do potencial hídrico nas plantas com os valores de condutividade elétrica da água de irrigação produzidas com NaCl e as umidades do solo (70 e 37% da capacidade de campo) aos 100 dias após o transplântio.

Este rebaixamento do  $\Psi_t$  em plantas de *Atriplex spp.* advem da acumulação de solutos, principalmente de íons inorgânicos como o  $\text{Na}^+$ , a medida em que as plantas vão sendo submetidas a níveis mais elevados de salinidade. No trabalho realizado por Khedr et al. (2011), a acumulação de íons de  $\text{Na}^+$  nas folhas de *Atriplex halimus* apresentou comportamento diretamente proporcional ao aumento das concentração de NaCl nos tratamentos, sendo os menores valores relatados para o tratamento controle (0 mmol de NaCl).

Para a as plantas irrigadas com a mistura de sais (Figura 6), o potencial hídrico apresentou comportamento bem próximo daquele observado para o potencial osmótico (Figura 3).

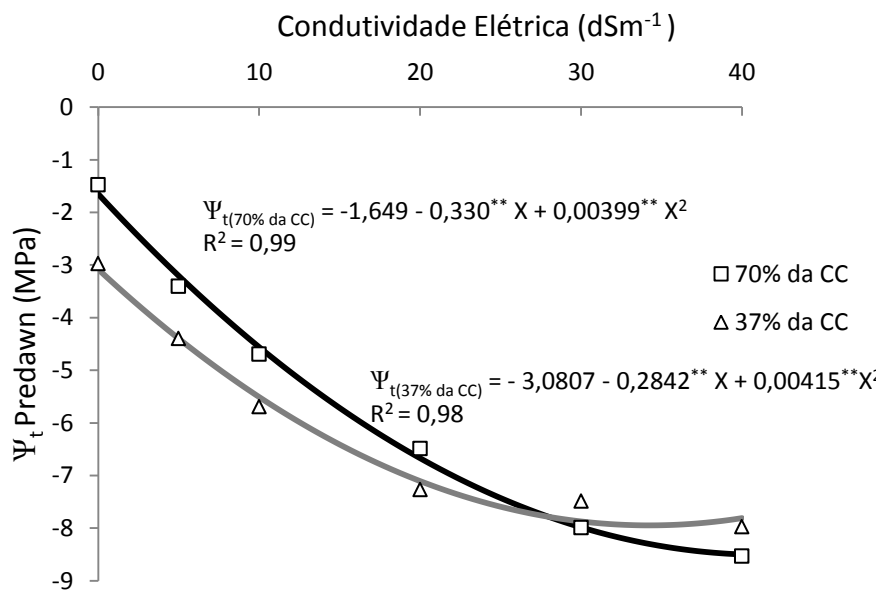


Figura 6. Relação do potencial hídrico com os valores de condutividade elétrica da água de irrigação produzidas com mistura de sais e as umidades do solo (70 e 37% da capacidade de campo) 100 dias após o transplantio.

A diferença na inflexão da curva para os dois últimos pontos de CE ocorre, possivelmente, em virtude da maior entrada de sais para a umidade de 70% da CC e, conseqüentemente, maior absorção de íons, que auxiliam no rebaixamento do potencial total. Essa diferença, nas plantas menos estressadas, pode ser explicada também pela presença das diferentes espécies iônicas na mistura de sais, como o K<sup>+</sup> em solução, que pode afetar o desenvolvimento principalmente das plantas já submetidas a um elevado e prolongado estresse hídrico (Ramos et al., 2004).

### Panorama geral dos potenciais

O rebaixamento do potencial hídrico da planta à medida que aumenta a CE da água de irrigação é estabelecido como mecanismo resposta à redução do potencial total de água no solo que, nesse caso, apresenta-se fortemente influenciado pelo potencial osmótico (Figura 7).



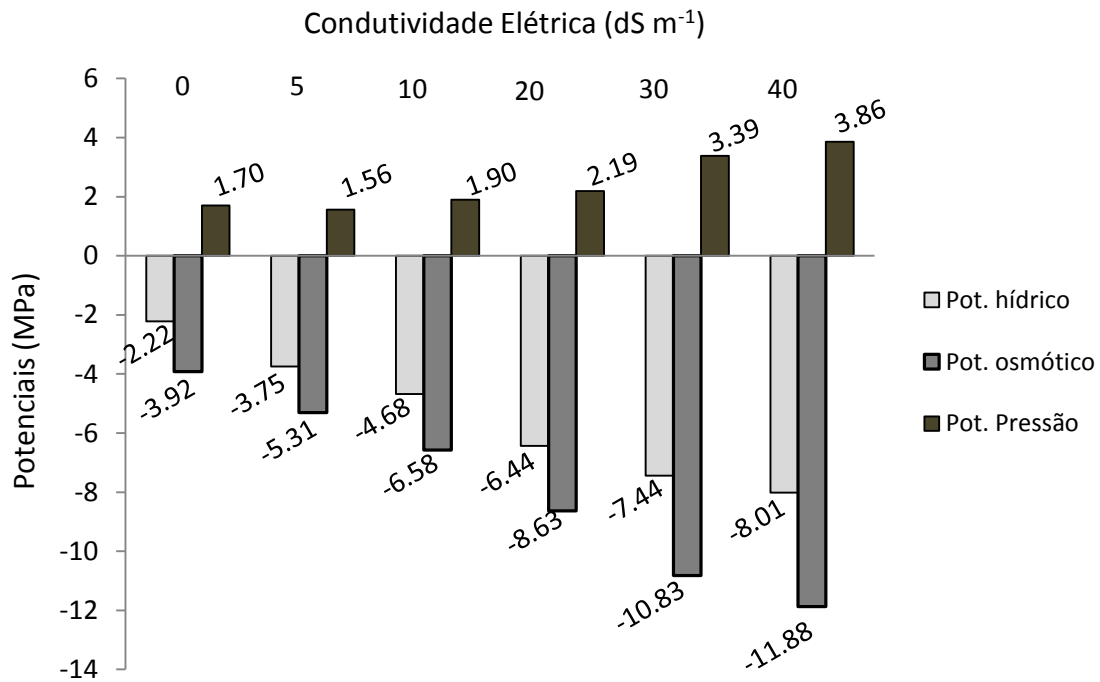


Figura 7. Valores médios dos potenciais hídrico, osmótico e de turgor (MPa) das plantas de *Atriplex nummularia*, avaliados durante a madrugada (predawn) aos 100 dias após o transplante.

O gradiente osmótico diminui no interior das células favorecendo, portanto, a entrada de água na célula (Gimenez; Gallardo & Thompson, 2005). Dessa forma, enquanto os valores do potencial osmótico reduzem com a elevação da CE, a pressão de turgor, ou potencial de pressão, apresentou comportamento inverso, tendo seus valores crescentes em resposta à elevação no nível de salinidade.

Tal mecanismo possibilita a manutenção de um elevado grau de hidratação na planta, mesmo em condições de déficit hídrico e altas concentrações de sais em solução. Estas estratégias encontram-se associadas aos mecanismos de tolerância à seca e à salinidade e podem ser comprovadas pela manutenção de altos valores de TRA encontrados em determinadas halófitas submetidas a essas condições (Bajji et al., 1998; Silveira et al., 2009; Bouchenak et al., 2012).

A capacidade de redução do potencial osmótico da *Atriplex nummularia* é superior ao de outras culturas, mesmo quando esta não encontra-se sob estresse salino. Ma et al. (2011), por exemplo, trabalharam com plantas de *Zygophyllum xanthoxylum* sob estresse salino de 150 mmol de NaCl

(CE ~ 15 dS m<sup>-1</sup>), e encontraram  $\Psi_t$  referente a -1.92 MPa após o período de estresse de 7 dias, valor inferior aos das plantas de *A. nummularia* (- 2,22 e -3,75 MPa), na ausência de estresse salino, quando tratadas com água de CE de 0 dS m<sup>-1</sup> e 5 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente, durante 100 dias; Silva et al. (2008), encontraram valores de -0,96 e -0,89 MPa para o  $\Psi_t$  de plantas jovens de Umbu estressadas com 75 e 100 mM de NaCl, respectivamente, durante 28 dias. Em valores de  $\Psi_t$  próximos a estas culturas mais sensíveis, como o *Zea mays* L., têm o seu desenvolvimento estagnado ao alcançar -1, 00 MPa (Westgate & Boyer, 1985).

### Teor Relativo de Água (TRA)

Os valores dos TRA encontrados para o período da madrugada mantiveram-se relativamente constantes entre os tratamentos. O maior valor foi observado para as plantas submetidas a irrigação com água de CE 5 dS m<sup>-1</sup> (72,9%), contudo não diferiu estatisticamente das plantas submetidas as condutividades elétricas de 5, 10, 20 e 30 dS m<sup>-1</sup> (figura 8).

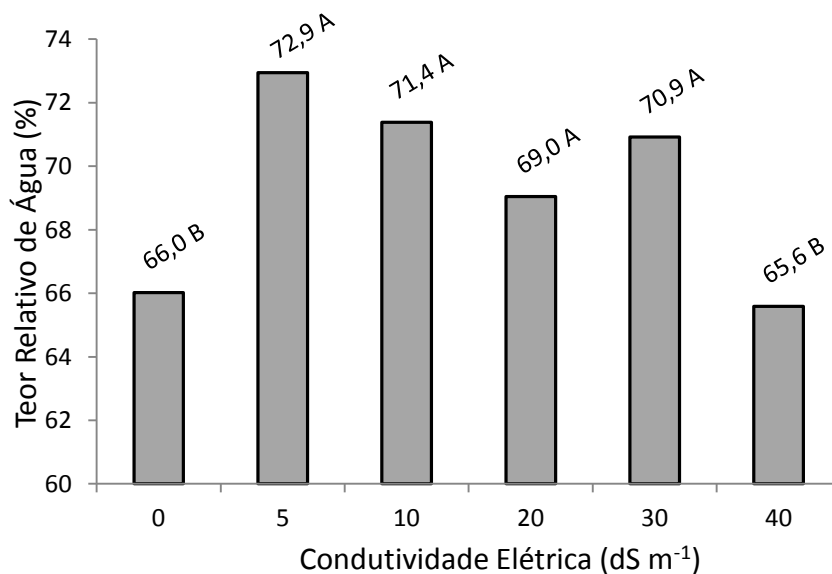


Figura 8. Valores dos Teores Relativos de Água analisados durante a madrugada (predawn), para os seis níveis de salinidade aplicados (0; 5; 10; 20; 30 e 40 dS m<sup>-1</sup>) avaliadas pelo teste de Scott-Knott.

As plantas submetidas aos tratamentos 0 e 40 dS m<sup>-1</sup> apresentaram os menores valores de TRA encontrados, não diferindo estatisticamente entre si.

O baixo TRA apresentado pelas plantas no nível mais elevado de salinidade pode ser atribuído a alta concentração de sais no solo, limitando a hidratação do tecido. Enquanto que, os valores encontrados nas plantas da CE 0 dS m<sup>-1</sup>, podem estar associados a ausência de estresse salino, levando à taxas de transpiração maiores do que as das plantas estressadas e, portanto, o menor teor relativo de água nos tecidos.

No trabalho realizado por Silveira et al. (2009), as plantas de *Atriplex nummularia*, quando submetidas a estresse salino, apresentaram bom desenvolvimento e mantiveram crescentes seus valores de TRA quando irrigadas com água de até 300 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl, valor equivalente a CE de 30 dS m<sup>-1</sup>, de acordo com Richards (1954), estabilizando seus valores. Contudo, Khedr et al. (2011), trabalhando com plantas de *Atriplex halimus* submetidas a estresses salino e hídrico, encontraram redução nos valores de TRA para o tratamento controle, e para 500 mmol de NaCl (CE ~ 50 dS m<sup>-1</sup>), aproximadamente 70% para ambos os tratamentos, onde estes, não diferiram estatisticamente. Tal comportamento, foi semelhante ao encontrado nas plantas avaliadas no período da madrugada, onde, o TRA foi mantido estável enquanto submetidas a CE de até 30 dS m<sup>-1</sup>, reduzindo seus valores quando irrigadas com água de CE mais elevada, passando de 70,9 para 65,6%.

## **Potenciais de água na planta determinados ao meio dia**

### **Potencial osmótico ( $\Psi_o$ )**

É importante destacar que, diferentemente de quando determinado a madrugada, o  $\Psi_o$  medido ao meio-dia não apresentou efeito significativo para a umidade (Tabela 4). Isso pode ser indicativo da intensa redução da umidade do solo, da maior demanda da atmosfera e alta transpiração. Entretanto observou-se efeito significativo da interação CE X Fonte de sal (Tabela 4).

As plantas tratadas com solução de NaCl apresentaram comportamento linear, tendo seus valores de  $\Psi_o$  reduzidos a medida em que os níveis de salinidades da água de irrigação foram maiores. Enquanto que, para as plantas irrigadas com a solução salina proveniente da mistura de sais, os valores de  $\Psi_o$  apresentaram comportamento quadrático (Figura 9).

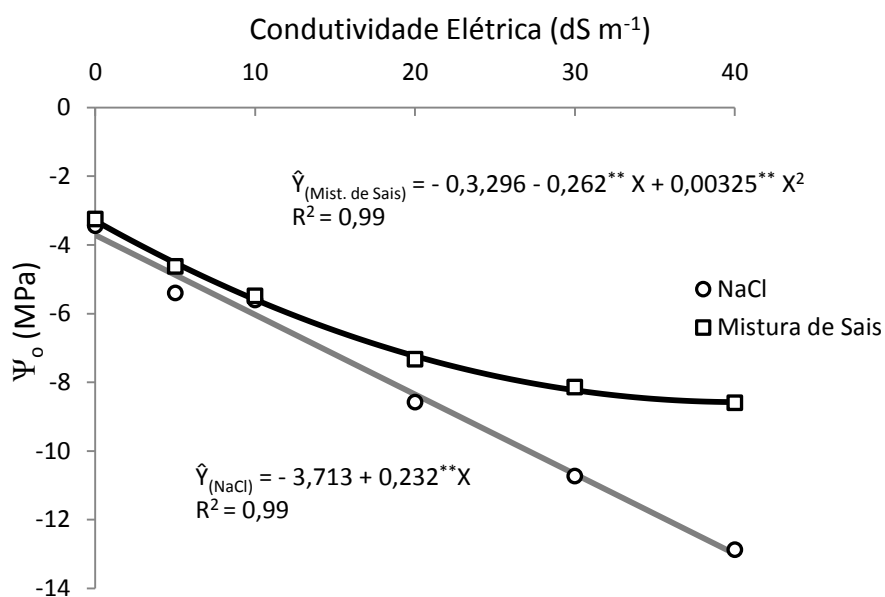


Figura 9. Relação do potencial osmótico determinado ao meio dia com os valores de condutividade elétrica (CE) da água de irrigação e de umidade do solo (70 e 37% da capacidade de campo) aos 100 dias após o transplântio.

Esse comportamento pode está relacionado a estimulação da produção de solutos orgânicos nos tratamentos irrigados com água salina confeccionada somente com cloreto de sódio.

Silveira et al. (2009), trabalhando com a mesma espécies obteve resultados semelhantes. Bouchenak et al. (2012) utilizando plantas de *Atriplex halimus* sob condições de estresse hídrico e salino encontraram reduções nos valores de K<sup>+</sup> e aumentos nos valores de Na<sup>+</sup> com o rebaixamento do potencial hídrico e osmótico das plantas a medida em que os níveis dos estresses foram aumentando (Brivaldo).

Este comportamento foi bem explanado por Ramos et al. (2004), que afirmando que, em plantas de *A. nummularia* a adaptação interna ao estresse salino ocorre, principalmente, pelo aumento da concentração de íons inorgânicos, estes correspondendo a maior contribuição do ajustamento osmótico, e de solutos orgânicos osmoticamente ativos, que atuam como osmo-protetores.

Com base em trabalhos abordando estresse salino em plantas de *Atriplex spp.*, pode-se dizer que, sob níveis de salinidade acima de  $40 \text{ dS m}^{-1}$ , a tendência é encontrar valores de  $\Psi_o$  no solo cada vez mais negativos em relação aos valores do  $\Psi_o$  encontrados nas raízes. Bajji et al. (1998), por exemplo, trabalhando com amplas faixas de salinidade, encontraram valores de  $\Psi_o$  mais negativos na solução externa (-2,8 MPa) que nas raízes (-1,5 MPa). Resultados semelhantes foram encontrados por Silveira et al. (2009), onde o  $\Psi_o$  do solo foi próximo (-0,64 MPa) ao valor encontrado na raiz (-0.83 MPa), além da superior redução no desenvolvimento destas em comparação as folhas, apontando o ajustamento osmótico como um mecanismo crítico para as halófitas, um vez que precisam absorver água sob condições adversas.

### Potencial de pressão ( $\Psi_p$ )

Diferente dos valores encontrados durante a madrugada, a pressão de turgor ao meio-dia apresentou ajustamento linear, aumentando a medida em que os níveis de salinidade foram sendo elevados, com alto coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,98$ ) quando relacionado com a condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 10), não apresentando influência das umidades, nem das fontes de sal sobre seus valores (Tabela 4), sendo influenciado apenas pelos níveis de salinidade a que as plantas foram submetidas.

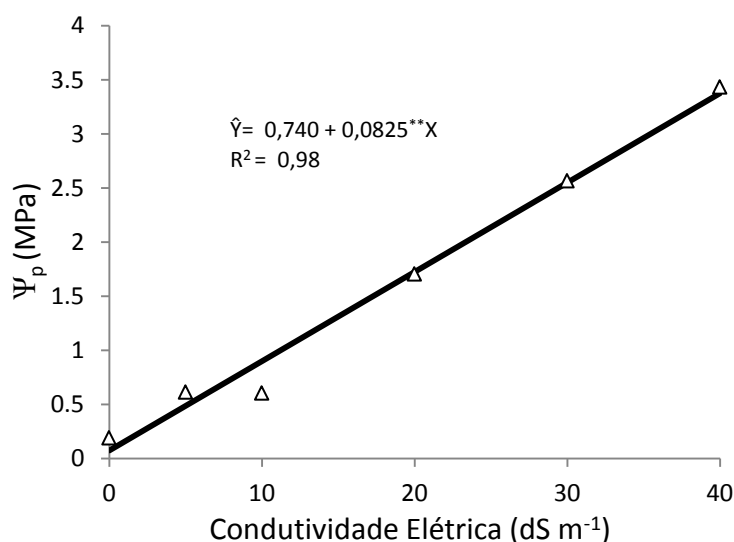


Figura 10. Relação do potencial de pressão estimado ao meio-dia com os valores de condutividade elétrica da água de irrigação aos 100 dias após o transplântio.

Dessa forma, ao meio-dia, a manutenção do turgor celular foi diretamente proporcional ao estresse salino, demonstrando a capacidade da *Atriplex nummularia* em manter o teor de água nas células mesmo sobre altos níveis de salinidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Bouchenak et al. (2012), trabalhando com plantas de *Atriplex halimus* cultivadas sob estresse salino durante 18 dias, onde os valores da pressão de turgor praticamente dobraram quando o nível de salinidade passou de 300 mM para 600 mM de NaCl, passando de 3,39 para 6,66 MPa, onde por ocasião, registrou-se concomitante aumento nas concentrações de íons inorgânicos nos órgãos das plantas, principalmente nos teores de Na<sup>+</sup> nas folhas, onde os valores foram de 21,18 para 34,02 g Kg<sup>-1</sup> de peso seco, como parte do mecanismo de adaptação interna da *A. nummularia* ao estresse salino (Ramos et al., 2004).

Esse aumento na concentração de íons inorgânicos nas células da planta resultam na formação de um gradiente osmótico, favorecendo o movimento de entrada de água na célula e manutenção da pressão de turgor e pela quantidade de água no interior da célula (Gimenez, Gallardo & Thompson, 2005).

### **Potencial hídrico ( $\Psi_t$ )**

O potencial hídrico das plantas ( $\Psi_t$ ) avaliado ao meio-dia, apresentou diferença significativa para a interação CE x Umidade (Tabela 4), com ajustamento quadrático (Figura 11).

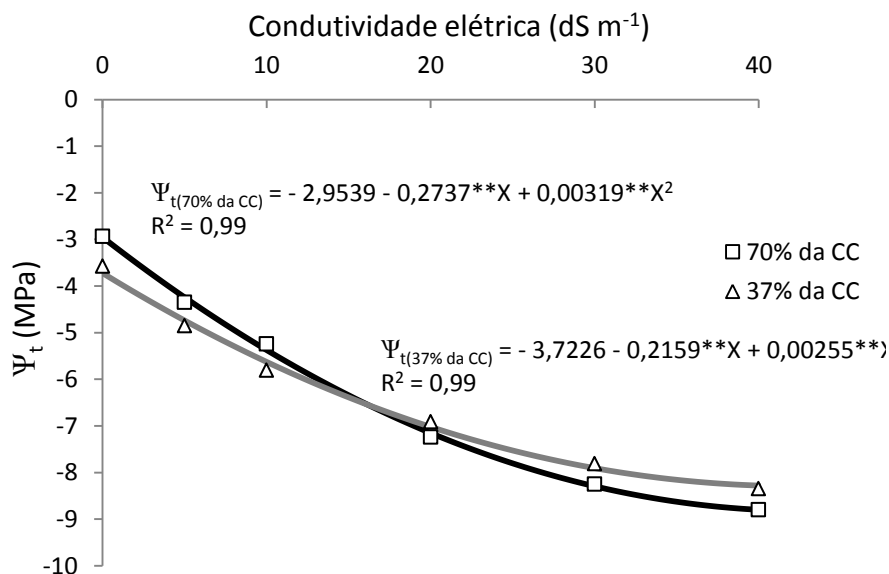


Figura 11. Relação do potencial hídrico nas plantas com os valores de condutividade elétrica da água de irrigação produzidas para as umidades do solo (70 e 37% da capacidade de campo) aos 100 dias após o transplântio, determinados ao meio-dia.

Para os resultados obtidos em muitas das relações hídricas de plantas avaliadas neste trabalho, os valores dos tratamentos mais úmidos foram mais negativos que daqueles com maior déficit hídrico. A diferença entre as fontes de sal encontrada para os valores da madrugada não permaneceram para a avaliação ao meio-dia, provavelmente por se tratar do horário mais crítico para as plantas. Dessa forma, as umidades dos tratamentos estabeleceram-se como o fator de maior influência sobre esta variável.

Vale ressaltar que os valores encontrados ao meio-dia foram mais negativos que o avaliado nas plantas durante a madrugada. Para a umidade de 0,17 g g<sup>-1</sup>, onde os valores de potencial hídrico, em geral, foram mais negativos, os valores para a CE de 40 dS m<sup>-1</sup> foram de -7,87 MPa para as plantas irrigadas com solução de NaCl, e, -8,53 MPa para as irrigadas com a mistura de sais, enquanto que, ao meio-dia o valor foi de -8,79 MPa para a mesma umidade. Para a umidade de 0,09 g g<sup>-1</sup>, obteve-se o mesmo comportamento, onde na madrugada os valores para a CE de 40 dS m<sup>-1</sup> nos tratamentos NaCl e mistura de sais foram de -7,67 e 7,97 MPa, respectivamente, e de -8,34 MPa ao meio dia, uma vez que, neste horário, o

potencial do solo torna-se mais negativo, pela perda de água por evapotranspiração e conseqüente concentração dos solutos presentes na solução do solo, exigindo da planta maior energia para reduzir seu potencial para possibilitar a manutenção do gradiente de potencial e absorção de água.

### Teor Relativo de Água (TRA)

Os valores do TRA não apresentaram diferenças significativas para os quatro primeiros tratamentos, com as plantas submetidas a CE de  $5 \text{ dS m}^{-1}$  na água de irrigação, apresentando o maior valor (76,5%). As plantas submetidas ao nível mais elevado de salinidade (CE de  $40 \text{ dS m}^{-1}$ ) apresentaram os menores valores (64,2%), não diferindo, contudo, das plantas submetidas ao tratamento imediatamente anterior (CE 30 de  $\text{dS m}^{-1}$ ). Dessa forma, as plantas mais afetadas pelos estresses salino e hídrico do meio dia foram aquelas submetidas aos dois últimos níveis de CE (Figura 12).

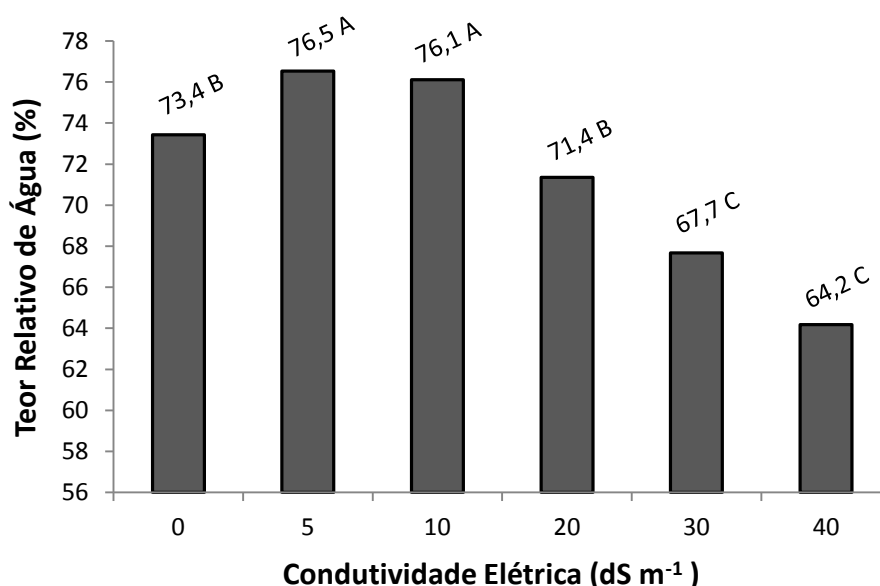


Figura 12. Valores dos Teores Relativos de Água analisados durante o meio-dia, para os seis níveis de salinidade aplicados (0; 5; 10; 20; 30 e  $40 \text{ dS m}^{-1}$ ), avaliados pelo teste de Scott-Knott.



A redução nos valores de TRA para as plantas submetidas ao maior nível de salinidade (CE de 40 dS m<sup>-1</sup>), coincidem com o comportamento encontrado por Khedr et al. (2011), quando submeteram plantas de *Atriplex halimus* aos estresses salino e hídrico simultaneamente, onde os valores caíram praticamente pela metade em comparação ao tratamento composto apenas pelo estresse salino.

Os valores de TRA das plantas submetidas a CE de 40 dS m<sup>-1</sup> praticamente não apresentaram diferença entre os valores determinados no horário predawn e ao meio-dia, com 64,2 e 65,6%, respectivamente. Logo, sob tais condições de estresse, as plantas mantiveram praticamente a mesma faixa de hidratação dos tecidos foliares, mesmo com as condições mais críticas do meio dia, não permitindo que os valores de TRA nos tecidos sofressem grandes alterações com as mudanças de temperatura e umidade, que ocorrem entre a madrugada e o meio-dia.

## CONCLUSÕES

- A fonte de sal não influenciou o estado energético de água no solo comprovados pelos potenciais total, osmótico e mátrico;
- A fonte de sal influenciou significativamente o potencial osmótico das plantas quando medido ao meio-dia;
- A maior umidade do solo (70% da capacidade de campo) apresentou maior capacidade de reduzir o potencial osmótico da solução do solo. Entretanto, é na menor umidade que as plantas reduzem o seu potencial de água, indicando a forte influência do estresse hídrico e capacidade de adaptação da *Atriplex* ao mesmo;
- O aumento do estresse salino diminuiu os valores dos potenciais osmótico e hídrico de folhas de *Atriplex nummularia* na madrugada e no meio dia, enquanto os valores de pressão de turgor foram elevados em função dos níveis de salinidade;
- O rebaixamento do potencial hídrico e aumento da pressão de turgor é um indício de ajustamento osmótico para plantas de *Atriplex nummularia* submetidas aos estresses salino e hídrico;
- As umidades influenciaram todos os potenciais avaliados em planta, com exceção dos valores de pressão de turgor, que foram influenciados apenas pelos níveis de salinidade;
- É provável que a CE suportada pela *Atriplex nummularia* esteja próxima de  $40 \text{ dS m}^{-1}$  em virtude da diminuição da capacidade de reduzir o potencial hídrico da planta em valores muito negativos do potencial osmótico da solução do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, C. B., MAGDICH, S., ROUINA, B. B., BOUKHRIS, M., ABDULLAH, F. B. **Saline water irrigation effects on soil salinity distribution and some physiological responses of field grown Chemlali olive.** Journal of Environmental Management, 113, 538e544, 2012.

ALMEIDA, O. A., Qualidade da água de irrigação. EBRAPA - Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas, BA, 2010.

ARAÚJO, S. A. M.; SILVEIRA, J. A. G.; ALMEIDA, T. D.; ROCHA, I. M. A.; MORAIS, D. L. & VIÉGAS, R. A. **Salinity tolerance of halophyte *Atriplex nummularia* L. grown under increasing NaCl levels.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB, v.10, n.4, p.848-854, 2005.

AZEVEDO, C. M. S. B., PEDROSA, G. P., MEDEIROS, J. F. & NUNES, G. H. S. **Uso de *Atriplex nummularia* na extração de sais de solos irrigados com efluentes salinos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, p.300-304, Campina Grande, PB, 2005.

BAJJI, M., KINET, J. B., LUTTS, S. **Salt stress effects on roots and leaves of *Atriplex halimus* L. and their corresponding callus cultures.** Plant Science 137 (1998) 131–142.

BELKHEIRI, O. & MULAS, M. **The effects of salt stress on growth, water relations and ion accumulation in two halophyte *Atriplex* species.** Environmental and Experimental botany, p. 1-12, 2011.

BEN SALEM, H., NORMAN, H.C., NEFZAOU, A., MAYBERRY, D.E., PEARCE, K.L., D.K. REVELL. **Potential use of oldman saltbush (*Atriplex nummularia* Lindl.) in sheep and goat feeding.** Small Ruminant Research 91 (2010) 13–28

BEN-GAL, A.; BOROCHOV-NEORI, H.; YERMIYAHU, U. & SHANI, URI. **Is osmotic potential a more appropriate property than electrical conductivity**

**for evaluating whole-plant response to salinity?** Environmental and Experimental botany, v. 65, p. 232-237, 2009.

BOUCHENAK, F., HENRI, P., BENREBIHA, F.Z., REY, P. **Differential responses to salinity of two *Atriplex halimus* populations in relation to organic solutes and antioxidant systems involving thiolreductases.** Journal of Plant Physiology, 169, (2012) 1445– 1453, 2012.

CASAS, A. M., BRESSAN, R. A., HASEGAWA, P. M. **Cell growth and water relations of the halophyte, *Atriplex nummularia*L., in response to NaCl.** Plant Cell Reports, 10:81-84, 1991.

DIAS, N. da S. & BLANCO F. F. **Efeitos dos sais no solo e na planta.** In: GHEYI, H. R.; DIAS N. da S.; LACERDA, C. F. Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza -CE. INCTSal - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, p. 129-141, 2010.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 212p, 1997.

FLOWERS, T. J. & COLMER, T. D. **Salinity tolerance in halophytes.** New Phytologist, 179: 945-963, 2008.

GIMENENZ, C., GALLARDO, M. & THOMPSON, R. B. **Plant - Water relations.** In: HILLEL, D.; HATFIELD, J. L.; POWLSON, D. S.; ROSENZWEIG, C.; SCOW, K.; SINGER, M.; SPARKS, D. L. Encyclopedia of soil in the environment, v. 3, p. 230-238, 2005.

GLENN, E. P., NELSON, S. G., AMBROSE, B., MARTINEZ, R., SOLIZ, D., PABENDINSKAS, V., HULTINE, K. **Comparison of salinity tolerance of three *Atriplex* spp. in well-watered and drying soils.** Environmental and Experimental Botany, 83, 62– 72, 2012.

KHEDR, A. H. A., SERAG, M. S. NEMAT-ALLA, M. M., EL-NAGA, A. Z. A., NADA, R.M. QUICK, W. P., ABOGADALLAH, G. M. **Growth stimulation and**

**inhibition by salt in relation to Na<sup>+</sup> manipulating genes in xero-halophyte *Atriplex halimus* L.** Acta Physiol Plant (2011) 33:1769–1784.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo.** USP - Universidade de São Paulo. São Paulo, 100-157, 2005.

LOUTFY, N.; EL-TAYEB, M. A.; HASSANEN, A. M.; MOUSTAFA, M. F. M.; SAKUMA, Y. & INOUE, M. **Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four different cultivars of wheat (*Triticum aestivum*).** J. Plant Res. 125:173–184, 2012.

MA, Q.; YUE, L. J.; ZHANG, J. L.; WU, G. Q.; BAO, A. K. & WANG S. M. **Sodium chloride improves photosynthesis and water status in the succulent xerophyte *Zygophyte xanthoxylum*.** Tree physiology., v 32, p 4-13, 2011.

MARTÍNEZ, J.P., LEDENT, J.F., BAJJI, M., KINET, J.M. & LUTTS, S. **Effect of water stress on growth, Na and K accumulation and water use efficiency in relation to osmotic adjustment in two populations of *Atriplex halimus* L.** Plant Growth Regulation 41: 63–73, 2003.

MATINZADEH, Z., BRECKLE, S. W., MIRMASSOUMI, M. AKHANI, H. **Ionic relationships in some halophytic Iranian Chenopodiaceae and their rhizospheres.** Plant Soil, 372:523–539, 2013.

NEDJIMI, B. **Effects of salinity on growth, membrane permeability and root hydraulic conductivity in three saltbush species.** Biochemical Systematics and Ecology 52, 4–13, 2014.

NEPOMUCENO, A. L., NEUMAIER, N., FARIAS, J. R. B., OYA, T. **Tolerância à seca em plantas.** Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento - nº 23 - novembro/dezembro 2001.

RAMOS, J., LÓPEZ, M. J. & BENLLOCH, M. **Effect of NaCl and KCl salts on the growth and solute accumulation of the halophyte *Atriplex nummularia*.** Plant and Soil 259: 163–168, 2004.

RIBEIRO, M. R. **Origem e Classificação dos solos Afetados por Sais**. In: GHEYI, H. R.; DIAS N. da S.; LACERDA, C. F. Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza -CE. INCTSal - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, p. 129-141, 2010.

SILVA, E. C., NOGUEIRA, R. J. M. C., ARAÚJO, F. P., MELOC, N. F., AZEVEDO NETO, A. D. **Physiological responses to salt stress in young umbu plants**. Environmental and Experimental Botany 63 (2008) 147–157

SILVEIRA, J. A. G.; ARAÚJO, S. A. M.; LIMA, J. P. M. S. & VIÉGAS, R. A. **Roots and leaves contrasting osmotic adjustment mechanisms in responses to NaCl-Salinity in *Atriplex nummularia***. Environmental and Experimental Botany., v 66, p 1-8, 2009.

SILVEIRA, J. A. G.; VIÉGAS, R. A.; ROCHA, I. M. A.; MOREIRA, A. C. D. M.; OLIVEIRA, J. T. A. **Proline accumulation and glutamine synthetase activity are increased by salt-induced proteolysis in cashew leaves**. J. Plant Physiol., v. 160, p. 115-123, 2003.

SOUZA, E. R.,FREIRE, M. B. G. DOS S., NASCIMENTO, C. W. A., MONTENEGRO, A. A. A., FREIRE, F. J. & MELO, H. F. **Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico**.Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.5, p.477–483, Campina Grande, PB, 2011.

SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G. S.; CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; RUIZ, H. U. & LINS, C. M. T. **Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress**. Environmental and Experimental Botany., v 82, p 20-27, 2012.

UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF - **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils**. Agriculture Handbook n°60, L. A. Richards Edit., Washington, 1954, 159 p.

WESTGATE, M.E. & BOYER, J.S. **Osmotic adjustment and the inhibition of leaf, root, stem and silk growth at low water potentials in maize**. Planta, 164:540-549, 1985.

**CAPÍTULO II**  
**CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E ACUMULAÇÃO DE ÍONS EM *ATRIPLEX***  
***NUMMULARIA* LINDL SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSES SALINO E**  
**HÍDRICO**

## RESUMO

A salinidade do solo associada ao estresse hídrico afeta o desenvolvimento e a produtividade das culturas pelo desbalanceamento nutricional e/ou fitotoxicidade de determinados íons como o  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  presentes no meio. Essa pesquisa tem como objetivo avaliar o desenvolvimento, produção de biomassa e acumulação de íons em *Atriplex nummularia* Lindl sob condições de estresses salino e hídrico. Para isso, cultivou-se essa halófito em Neossolo Flúvico sob condições controladas por um período de 100 dias. Os tratamentos adotados foram dois regimes de umidades:  $0,17 \text{ g g}^{-1}$  (70% da capacidade de campo,  $-0,06 \text{ MPa}$ ) e  $0,09 \text{ g g}^{-1}$ , (37 % da capacidade de campo,  $-0,52 \text{ MPa}$ ) irrigadas com soluções salinas confeccionadas com duas diferentes fontes de sais ( $\text{NaCl}$  e uma mistura de  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$  e  $\text{CaCl}_2$ ), reproduzidas em seis valores de condutividades elétricas (0; 5; 10; 20; 30; e  $40 \text{ dS m}^{-1}$ ). Assim, formou-se uma fatorial de  $2 \times 2 \times 6$ , instalados em bloco ao acaso com quatro repetições. Foram feitas medições das alturas das plantas aos 45, 65 e 85 dias após o transplântio (DAT). Aos 100 DAT as plantas foram coletadas e fracionadas em folhas, caule e raiz; pesadas e determinada a massa fresca (MF), massa seca (MS) e estimada a área foliar (AF); digeriu-se o material vegetal e determinou-se os teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$  e o conteúdo destes acumulados nas folhas, caules e raízes. A fonte de sal não influenciou o crescimento da *Atriplex nummularia* Lindl; o estresse hídrico inibiu o crescimento, a área foliar e a produção de biomassa da *Atriplex nummularia* Lindl para todos os níveis de salinidade, enquanto que os níveis mais altos de salinidade reduziram o crescimento das plantas; A fonte de sal influenciou nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas folhas e nos teores de magnésio, potássio e cloreto encontrados na raiz; o aumento nos níveis de salinidade reduziu o conteúdo dos elementos  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$  para todas as partes da planta.

**Palavras-chave:** Extração de sais, estado nutricional, halófitas, semiárido Brasileiro



## ABSTRACT

The soil salinity associated with water stress affects the growth and yield of crops by nutritional imbalance and/or phytotoxicity of certain ions such as  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  in the medium. This research aims to evaluate the development, production and biomass accumulation of *Atriplex nummularia* Lindl ions under salt and water stress. To this, was cultivated this halophyte in an Entisol under controlled conditions for a period of 100 days. The applied treatments were: two regimes of moisture,  $0,17 \text{ g g}^{-1}$  (70 % of field capacity ,  $-0,06 \text{ MPa}$ ) and  $0,09 \text{ g g}^{-1}$  (37 % of field capacity,  $-0,52 \text{ MPa}$ ), irrigated with saline solutions prepared with two different sources of salt ( $\text{NaCl}$  and a mixture of  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$  ,  $\text{MgCl}_2$  and  $\text{CaCl}_2$ ) reproduced in six electrical conductivities values (0, 5, 10, 20, 30 and  $40 \text{ dS m}^{-1}$ ). Thus formed a factorial  $2 \times 2 \times 6$  , installed in randomized block with four replications. Measurements of plant height were made at 45, 65 and 85 days after transplant (DAT). At 100 DAT plants were harvested and fractionated into leaves, stems and roots; weighed and given a fresh mass (FM), dry matter (DM) and leaf area (LA) was estimated; plant material was digested to determine the concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Cl}^-$  so as the content of these salts accumulated in leaves, stems and roots. The source of salt did not affect the growth of *Atriplex nummularia* Lindl; water stress inhibited the growth, leaf area and biomass of *Atriplex nummularia* Lindl for all salinity levels, while higher levels of salinity reduced plant growth. The source of salt influenced the levels of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  in leaves and concentrations of magnesium, potassium and chloride found in the root; the increase of salinity levels reduced the content of elements  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Cl}^-$  for all parts of the plant .

**Keywords:** Extraction of salts, nutritional status, halophytes, Brazilian semiarid

## INTRODUÇÃO

O estudo de espécies tolerantes à seca e ao estresse salino é fundamental para a compreensão dos mecanismos e processos fisiológicos envolvidos nesta resistência, principalmente de espécies halófitas, onde tais mecanismos comumente encontram-se presentes (Flowers & Colmer, 2008).

A tolerância à salinidade pode ser entendida como a habilidade da planta se desenvolver e completar seu ciclo de vida em um substrato que contem altas concentrações de sais solúveis. As plantas que podem sobreviver sob altas concentrações de sal na rizosfera e se desenvolvem bem são chamadas de halófitas (Parida & Das, 2005). Plantas pertencentes à família das Chenopodiaceae são bem adaptadas aos estresses salino e hídrico e podem servir como espécies modelo para o entendimento dos mecanismos de tolerância em plantas (Glenn et al., 2012; Nedjimi, 2014). Como exemplo, pode-se citar as halófitas da família Chenopodiaceae pertencentes ao gênero *Atriplex*, que têm sido alvo de estudos que envolvem desde sua utilização para fitorremediação de solos salinizados e reuso de rejeitos salinos (Glenn et al, 2009; De Souza, 2011) à sua utilização como forrageira (Silveira et al., 2009).

As plantas pertencentes ao gênero *Atriplex* tornaram-se alvos de muitas pesquisas envolvendo tolerância à salinidade e à seca (Khan, Ungar & Showalter, 2000; Glenn et al., 2009; Nedjimi, 2014; Walker et al., 2014) devido a sua capacidade de sobrevivência sob condições adversas para a maioria das espécies (Azevedo et al, 2005; Araújo et al., 2006). A *Atriplex nummularia*, por exemplo, é uma espécie adaptada à seca e a salinidade do solo, visada principalmente por produzir grande quantidade de biomassa consumível em áreas onde outras culturas não conseguem se desenvolver (Ben Salem et al., 2010; Araújo et al., 2006).

Algumas halófitas para sobreviverem em ambientes de extremo estresse salino fazendo uso do mecanismo de ajustamento osmótico, que consiste na acumulação de compostos orgânicos e inorgânicos como íons de sódio, cloreto e potássio, capazes de rebaixar o potencial sem interferir nas atividades metabólicas da planta (Munns & Tester, 2008). Dos compostos orgânicos produzidos por essas espécies, um dos principais é a prolina, responsável por contribuir com a redução do potencial osmótico (Bouchenak et al., 2012)

Os principais íons acumuladas pelas plantas do gênero *Atriplex spp.* são de cloreto e sódio (Khan et al., 2000). Algumas espécies acumula esses íons em compartimentos especializados tais como tricomas e microvesículas. O que possibilita a concentração de grandes quantidades destes elementos sem ocasionar efeitos deletérios à planta. Característica que faz a *Atriplex nummularia* Lindl ser considerada uma espécie fitoacumuladora de sais (De Souza et al. 2011).

A diminuição do potencial osmótico causado pelo excesso de sais solúveis poderá atingir um nível em que a pressão osmótica da água no solo se torna superior às forças de sucção das plantas, não podendo ser superadas e, em consequência, a planta fica impossibilitada de absorver água, mesmo de um solo úmido (Munns & Tester, 2008; Dias & Blanco, 2010).

Os efeitos prejudiciais do alto nível de salinidade em plantas podem ser observados em vários níveis, ocasionando desde a redução na produtividade à morte das plantas. Para suportar o estresse salino, muitas plantas desenvolvem mecanismos para excretar o sal de suas células, ou para tolerar a presença destes no seu interior. Durante o início do desenvolvimento do estresse salino, no interior da planta todos os processos maiores tais como fotossíntese, síntese de proteína, metabolismo de lipídeos e energia são afetados. A primeira resposta é a redução na taxa de expansão foliar seguido da estagnação quando o estresse se intensifica. À medida em que o estresse é atenuado a planta retoma seu crescimento. Os carboidratos, entre outros compostos necessários para a expansão celular são fornecidos principalmente pelo processo da fotossíntese, e a taxa fotossintética geralmente é reduzida em plantas expostas à salinidade, especialmente ao NaCl (Parida & Das, 2005; Schleiff, 2012).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desenvolvimento, produção de biomassa e acumulação de íons em planta de *Atriplex* cultivada em condições de estresse hídrico (37 e 70% da capacidade de campo) e salino (0; 5; 10; 20; 30; e, 40 dS m<sup>-1</sup>). Com o intuito de avaliar a qualidade da água de irrigação, os níveis de salinidade foram elaborados utilizando-se duas fontes: cloreto de sódio e uma mistura de sais incluindo cálcio, magnésio, sódio e potássio. Foram avaliados a altura da planta, área foliar, produção de massa fresca, massa seca, os teores e os conteúdos de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Coleta e preparo do solo

O solo utilizado no experimento foi coletado no Município de Pesqueira - PE, na profundidade de 0-30 cm e classificado como NEOSSOLO FLÚVICO (EMBRAPA, 2013), isento de problemas de salinidade e sodicidade. Posteriormente, o solo foi seco ao ar, destorroado, homogeneizado e passado em peneira de 4 mm seus, conservando-se assim microagregados.

### Caracterização inicial do solo

Para a caracterização química do solo (Tabela 1), foram determinados na terra fina seca ao ar (TFSA), o  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  na relação solo:água de 1:2,5; os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  trocáveis extraídos por acetato de amônio  $1 \text{ mol L}^{-1}$  (Thomas, 1982). O extrato de saturação foi obtido por meio do preparo da pasta de saturação (Richards, 1954), medindo-se neste a condutividade elétrica e o pH, determinando-se as bases solúveis e o íon cloreto, pelo método da titulação com  $\text{AgNO}_3$  (EMBRAPA, 1997). A capacidade de troca de cátions (T) foi determinada pelo método do cátion índice (Richards, 1954). A partir dos resultados obtidos do complexo de troca, foram calculados os valores de soma de bases (SB) e Percentagem de Sódio Trocável (PST).

**Tabela 1.** Caracterização química inicial do NEOSSOLO FLÚVICO utilizado no preenchimento dos vasos no experimento em casa de vegetação

Extrato de Saturação		Complexo Sortivo		Relação (solúveis)	
Variáveis	Valores	Variáveis	Valores	Variáveis	Valores
$\text{pH}_{\text{es}}$	8,17	$\text{pH}_{(1:2,5)}$	7,70	Na/Ca	1,42
CE ( $\text{dS m}^{-1}$ )	1,17	$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	5,53	Na/Mg	7,09
$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	19,07	$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	2,22	Na/K	19,31
$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	3,81	$\text{Na}^+$ ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	0,26	Na/Cl	10,24
$\text{Na}^+$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	27,04	$\text{K}^+$ ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	0,50	Cl/Ca	0,14
$\text{K}^+$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	1,40	SB ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	8,51	Cl/Mg	0,69
$\text{Cl}^{-1}$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	2,64	PST (%)	3,00	Cl/Na	0,10
				Cl/K	2,54

$\text{pH}_{\text{es}}$ : pH determinado no extrato de saturação; PST: Percentagem de sódio trocável; SB: Soma de Bases.

Para a caracterização física (Tabela 2) foi feita a análise granulométrica e a argila dispersa em água na TFSA pelo método do densímetro; calculando-se os índices de dispersão e floculação da argila; a densidade do solo pelo método da proveta e de partículas pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997). A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente foram determinados com base na curva característica de retenção de água no solo (CRRAS). A estimativa da porosidade total foi feita utilizando-se os valores de densidades de partícula e do solo.

**Tabela 2.** Caracterização física inicial do NEOSSOLO FLÚVICO utilizado no preenchimento dos vasos no experimento em casa de vegetação

Areia			Silte	Argila	ADA	Ds	Dp	IF	ID	PT	CC	PMP
Fina	Grossa	Total										
g Kg <sup>-1</sup>			g cm <sup>-3</sup>				%		g g <sup>-1</sup>			
435	17	452	386	162	117	1,36	2,66	0,28	0,72	49,57	0,24	0,05

ADA: argila dispersa em água; Dp: densidade de partículas; Ds: densidade do solo; ID: ADA/Argila; IF: (1 – ID); ID: índice de dispersão; IF: índice de floculação; PT: Porosidade total.

### Montagem do experimento e definição dos tratamentos

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, durante os meses de março a junho de 2013, totalizando 100 dias de acompanhamento. Foram cultivadas plantas de *Atriplex nummularia* em vasos com capacidade para dez quilogramas de solo, sendo uma planta por vaso, estes preenchidos com o solo peneirado em malha de 4 mm. Após o transplântio, as plantas foram submetidas a duas umidades gravimétricas do solo: 0,17 g g<sup>-1</sup> (-0,06 MPa), referente a 70% da capacidade de campo do solo; e 0,09 g g<sup>-1</sup> (-0,52 MPa) referente a 37% da capacidade de campo. A escolha das umidades baseou-se na curva característica de retenção de água no solo (CCRAS). Também foram instalados tensiômetros para o monitoramento da tensão de água nos tratamentos com maior umidade, estabelecidas dentro da faixa de leitura dos tensiômetros; as águas utilizadas para a irrigação das plantas foram confeccionadas em laboratório e

provenientes de duas fontes distintas de sais, uma composta apenas por NaCl e, outra composta por uma mistura de sais em proporções semelhantes as encontradas em campo. Estas, foram confeccionadas em seis valores de condutividade elétrica: 0, 5, 10, 20, 30 e 40 dS m<sup>-1</sup> (Araújo et al., 2006; Belkheiri & Mulas, 2011; Silveira et al., 2009).

### Confecção das águas para irrigação das plantas

Para fundamentar a composição da mistura de sais necessária para os tratamentos, foram coletadas duas amostras de água de um poço artesiano localizado na área próximo a coleta do solo. As amostras foram submetidas à análises para a determinação do pH, condutividade elétrica e dos elementos Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, pelo método do espectrofotômetro de absorção atômica, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>, pelo método do fotômetro de chama, e cloreto pelo método de Mohr (Almeida, 2010).

Após determinação da composição química e da proporção de cada elemento nas amostras, foram pesados sais de NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub> e CaCl<sub>2</sub>, de modo a manter a mesma proporção encontrada no poço (Tabela 3), e mediu-se a condutividade elétrica da solução.

**Tabela 3.** Quantidades necessárias de sal (g L<sup>-1</sup>) para a obtenção dos valores de condutividade elétrica utilizadas para as águas de irrigação de ambas as fontes de sais e o potencial osmótico das soluções (MPa)

CE	Fontes de água							
	— Cloreto de Sódio —		Mistura de Sais					
dS m <sup>-1</sup>	NaCl	Ψ <sub>o</sub>	NaCl	KCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	Total	Ψ <sub>o</sub>
0	-	-0,02	-	-	-	-	-	-0,02
5	2,2202	-0,21	1,6688	0,0100	0,4705	0,3769	2,5263	-0,19
10	5,2591	-0,30	4,3744	0,0262	1,2333	0,9881	6,6222	-0,58
20	13,279	-1,24	10,619	0,0637	2,9941	2,3988	16,0760	-1,17
30	23,128	-2,21	20,454	0,1228	5,7672	4,6206	30,9655	-2,31
40	37,672	-2,99	28,914	0,1736	8,1524	6,5315	43,7721	-3,07

## **Produção de mudas**

Para garantir a uniformidade genética das plantas, utilizou-se clones de uma única planta, produzidos a partir de estaquia e cultivadas em substrato (material leve composto por barro de jardim, areia e húmus), obtido em sementeira. As estacas foram produzidas e cultivadas em casa de vegetação, sendo transplantadas 90 dias após a propagação. Durante o cultivo as mudas não foram submetidas a nenhuma prática de adubação, sendo irrigadas apenas com água de torneira.

## **Condução do experimento**

Para evitar perdas de água por evaporação durante o estabelecimento da umidades dos vasos, a água de cada vasos foi colocada após o pôr do sol e os vasos deixados em repouso para o equilíbrio da umidade durante toda noite.

O transplântio das mudas foi realizado no dia posterior ao estabelecimento e equilíbrio da umidade requerida em cada vaso. As plantas foram irrigadas inicialmente, com água destilada por um período de 20 dias, realizando-se elevação gradual da condutividade elétrica para evitar choque osmótico nas plantas transplantadas. Durante todo o experimento, a umidade nos vasos foi mantida mediante pesagens realizadas todos os dias, sempre aos fins de tarde, para possibilitar que o solo durante a noite equilibrasse na umidade desejada, sem a possibilidade de perdas por evaporação.

## **Determinação da Altura das Plantas, Massa Fresca, Massa Seca e Área Foliar**

Durante o experimento, foram feitas medições periódicas das alturas das plantas para a avaliação do seu crescimento das plantas aos 7, 45, 65, 85 dias após o transplântio.

Aos 100 DAT as plantas foram cortadas na altura próximo à superfície do solo, acondicionadas em caixas de isopor com gelo, levadas ao laboratório e fracionadas em folhas e caules. Foram pesadas e determinada suas massas frescas. As raízes foram coletadas por meio de lavagem em torneira com água corrente até completa retirada de solo. A lavagem foi realizada em peneira de 4 mm, para evitar perdas de material. Após a lavagem, as raízes foram

envolvidas em papel toalha para retirada do excesso de água e, só então, quantificado o peso fresco das raízes. Para obtenção da massa seca, as folhas, caules e raízes foram acondicionadas em embalagem de papel e colocadas em estufa de circulação forçada com temperatura de 65 °C até adquirem peso constante.

### **Determinação da área foliar**

A área foliar foi estimada com base no método dos discos foliares. Consistiu na coleta de discos foliares de área conhecida com o auxílio de um vazador (Área = 1 cm<sup>2</sup>). Os discos foram acondicionados em embalagens de papel, levados para secagem em estufa (65° C por 72 horas) e pesados separadamente por planta. A área foliar foi estimada pela equação (01).

$$AF = [(MSF + MSD) \times ACD] / MSD \quad \text{Equação (01).}$$

Onde AF é a área foliar estimada (cm<sup>2</sup>), MSF a massa seca das folhas (g), MSD a massa seca dos discos (g) e ACD a área conhecida do disco retirado da folha, neste caso 1,0 cm<sup>2</sup> (Souza et al., 2012).

### **Determinação da composição mineral das partes das plantas**

As massas secas da folha, caule e raiz foram moídas em moinho tipo Willey e realizada a digestão nitroperclórica (Silva, 2008). Foi feita a determinação dos teores de sódio e potássio por fotometria de emissão de chama; e, os teores de cálcio e magnésio por absorção atômica de chamas. Determinou-se o cloreto por extração em água e titulação com nitrato de prata (Malavolta et al., 1989). Com base nos dados de massa de folha, caule e raiz e nos teores dos elementos, calculou-se os conteúdos extraídos pelas plantas.

### **Delineamento experimental**

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro blocos em arranjo fatorial triplo 2 x 2 x 6, sendo



duas tensões matriciais (0,06 e 0,52 MPa), duas fontes de sais e seis níveis de condutividade elétrica. Os dados foram analisados por meio de análise de variância e ajustes de regressões para as interações com os níveis de salinidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Crescimento e produção de biomassa

Após a análise de variância verificou-se que, para a altura da planta medida aos 45, 65 e 85 dias após o transplante (Figura 1 a, b e c respectivamente) houve diferença significativa para a interação umidade x condutividade elétrica, não observando efeito significativo para fonte de sal. Dessa forma, as diferentes fontes utilizadas (NaCl e mistura de sais) não interferiram no crescimento da planta.

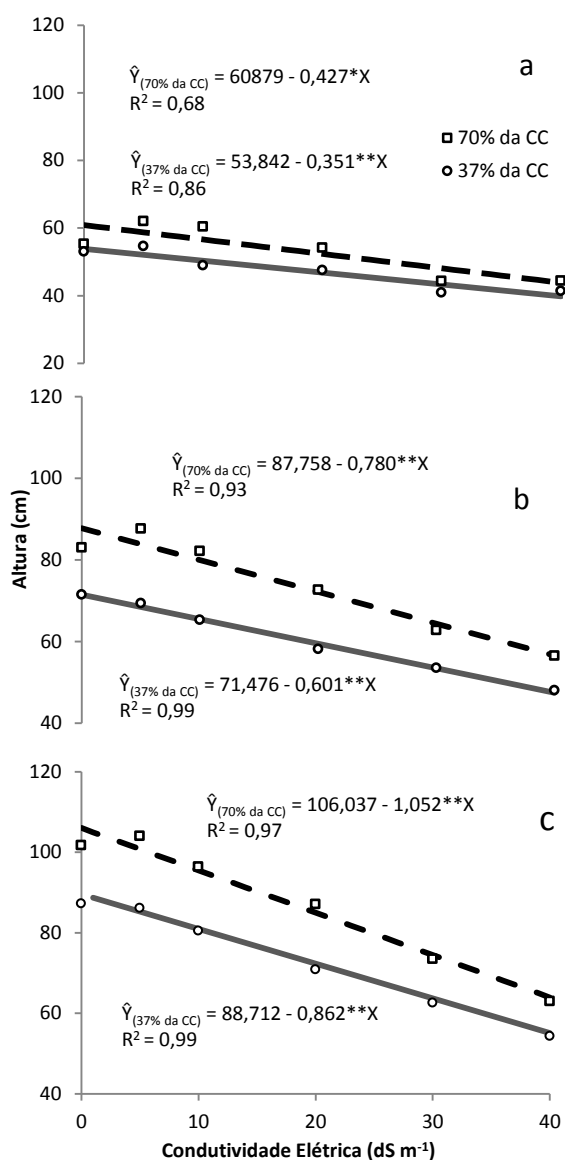


Figura 1. Altura de *Atriplex nummularia* aos 45 (a), 65 (b) e 85 (c) DAT em função do nível de salinidade da água de irrigação nas umidades de 70 e 37% da capacidade de campo.

As plantas submetidas a umidade de 37% da capacidade de campo apresentaram menor altura em relação às submetidas à 70% da capacidade de campo. Entretanto, em ambas as umidades, as plantas apresentaram redução linear no crescimento com o aumento da salinidade.

No trabalho realizado por Kachout et al. (2009) com plantas do gênero *Atriplex hortensis*, as plantas submetidas a estresse salino de 257 mmol (~25,7 dS m<sup>-1</sup>) de NaCl durante 90 dias, apresentaram redução no crescimento, diferindo em aproximadamente 100 cm do tratamento controle. Hassine & Lutts (2010) trabalhando com *Atriplex halimus* submetidas a estresse salino de 160 mmol (~16 dS m<sup>-1</sup>) de NaCl e hídrico de -0,65 MPa encontraram após 10 dias de tratamento, crescimento estagnado para as plantas sob estresse hídrico e crescimento de aproximadamente 1 cm para as plantas sob estresse salino, por se tratar de uma halófita cuja presença de sais favorece mecanismos de adaptação por meio da acumulação de íons.

Aos 45 DAT as plantas submetidas a CE de 5 dS m<sup>-1</sup> e 70% da CC apresentaram altura média de 42 cm, passando para 88 e 104 cm aos 65 e 85 DAT, respectivamente, apresentando um aumento de 62 cm num período de 40 dias. Enquanto que, as plantas submetidas a mesma CE e umidade de 37% da CC apresentaram altura média de 55 cm aos 45 DAT, e, 69 e 86 cm aos 65 e 85 DAT, respectivamente, apresentando um incremento de 31 cm na altura durante os mesmos 40 dias, redução de 50% no crescimento como efeito do estresse hídrico sobre o crescimento. Como visto por De Souza et al. (2012), onde o crescimento da *Atriplex nummularia* cultivada em solo salino sódico durante 132 dias não diferiu para as plantas cultivadas sob 75 (-0,025 MPa) e 95 (-0,054) % da umidade na CC, mas diferiram das cultivadas sob 35 (-1,69 MPa) e 55 (-0,73 MPa) % da umidade na CC que não diferiram entre si.

### **Produção de Biomassa**

A produção de biomassa de folha, caule e raiz apresentou efeito significativo para interação umidade x condutividade elétrica. De semelhante modo à altura das plantas, a produção de biomassa fresca e seca da planta não apresentou diferença significativa para o NaCl e a mistura de sais aplicados mediante água de irrigação (Figura 2).

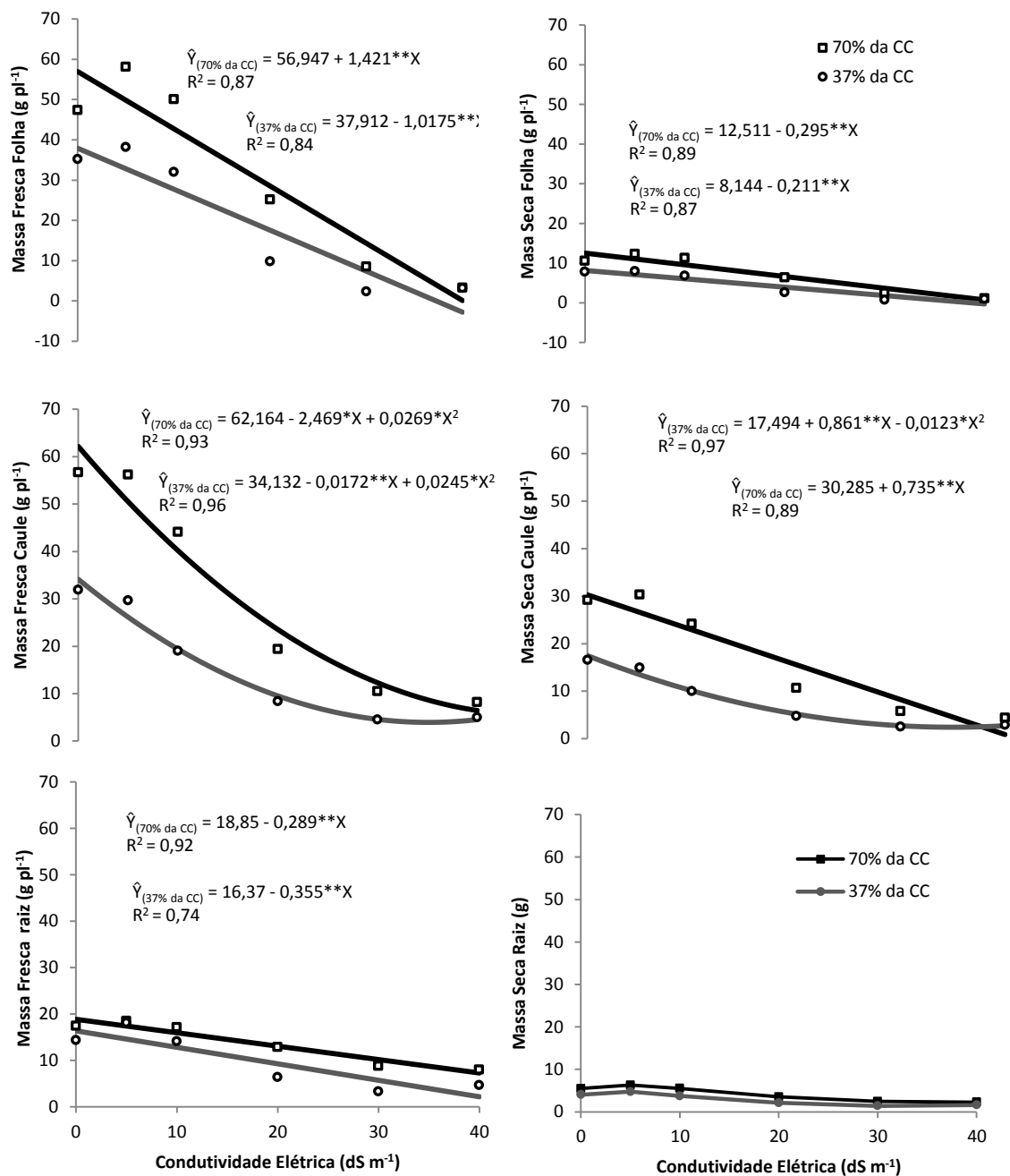


Figura 2. Produção de massa fresca e seca de folha, caule e raiz de *Atriplex nummularia* aos 100 dias após o transplante em função do nível de salinidade das águas de irrigação nas umidades de 70 e 37% da capacidade de campo.

A massa fresca e seca de folha foi a parte mais afetada da planta (Figura 2). As plantas submetidas a 70% da CC e CE de 40 dS m<sup>-1</sup>, por exemplo, apresentaram uma massa fresca de 3 gramas de folha por planta chegando a uma redução de 94,83%, o que daria quando comparadas com

aquelas submetidas a CE de 5 dS m<sup>-1</sup> que produziram cerca de 58 gramas de massa fresca de folha por planta. Esta acentuada redução na MFF também foi observada quando as plantas foram submetidas à umidade de 37% da CC, também respondendo negativamente ao tratamento (Figura 2).

Araújo et al. (2005) cultivaram *Atriplex nummularia* durante 49 dias sob 0, 150, 300, 450 e 600 mmol de NaCl, onde o ganho de massa seca de folha foi estimulado para as plantas submetidas às três primeiras concentrações, reduzindo significativamente para os níveis de salinidade superiores a 300 mmol de NaCl, chegando a uma redução de 26% em relação ao controle para as plantas cultivadas sob 600 mmol de NaCl.

Para os níveis mais baixos de salinidade, o estresse hídrico apresentou-se como o fator mais limitante para a folha e caule, onde a diferença na produção de massa fresca e seca de folha foi maior entre as umidades (Figura 2). Quando os níveis de salinidade foram elevados houve uma redução na diferença da produção entre as umidades, levando-se a inferir que a salinidade se sobrepõe ao estresse hídrico quando esses atuam de forma conjunta. De acordo com Flowers & Colmer (2008), algumas halófitas dicotiledôneas, como é o caso da *A. nummularia*, podem ter sua produção de massa seca da parte aérea reduzida quando submetidas a níveis muito altos de salinidade, geralmente, 250 mmol de NaCl (~25 dS m<sup>-1</sup>). No trabalho realizado por Hassine & Lutts (2010), a concentração de 160 mmol de NaCl estimulou o aumento na produção de massa seca da parte aérea de *Atriplex halimus*, enquanto que o estresse hídrico de -0,64 MPa reduziu pela metade quando comparado com o tratamento controle e o estresse salino de 160 mmol de NaCl num período de 10 dias, uma vez que essa espécie utiliza a acumulação de sais como mecanismo para redução do potencial hídrico e absorção de água sob condições de estresse hídrico e salino.

A raiz apresentou efeito diferenciado em função das umidades, uma vez que o gradiente de produção de biomassa entre o tratamento 70 e 37% da CC persistiu até a condutividade elétrica de 40 dS m<sup>-1</sup>, com reduções equivalentes para ambas as umidades. Belkheiri & Mulas (2013) trabalhando com *A. nummularia* encontraram maiores reduções na produção de massa seca de raiz quando as plantas foram submetidas a estresse salino que quando submetidas aos estresses salino e hídrico simultaneamente. Silveira et al.

(2009) também encontraram redução na produção de massa seca de raiz de *A. nummularia* estressadas com 150 mmol de NaCl durante 49 dias de tratamento. Tal comportamento indica maior sensibilidade ao estresse salino que ao hídrico em relação a produção de massa seca de raiz.

Nas folhas e caule, o aumento da salinidade reduziu gradativamente o gradiente de produção entre as umidades, tendendo a equidade dos valores como no caso da massa seca do caule. Kachout et al. (2009) encontraram resultados semelhantes para a produção de massa seca da parte aérea quando submeteram plantas de *Atriplex hortensis* a estresse salino de 257 mmol de NaCl durante 90 dias.

Os valores negativos encontrados para a produção de biomassa foliar pelas equações podem ser explicados pelo valor de coeficiente de determinação, não ultrapassando de  $R^2 = 0,87$  (Figura 2). Associado a isto, por ocasião da coleta, alguma plantas submetidas a CE de 40 dS m<sup>-1</sup> e umidade de 37% da CC, haviam cessado a produção de folhas novas, ocorrendo apenas a senescência das folhas mais velhas.

Para a biomassa de caule o comportamento foi praticamente o mesmo para a massa seca e fresca, com exceção das plantas submetidas a umidade de 70% da CC, onde, a partir da CE de 20 dS m<sup>-1</sup> a produção de massa fresca e seca estabilizaram. Para as CE's mais baixas, a maior diferença nos valores de MFC e MSC ocorreu entre as umidades, sendo atenuada pelo aumento na intensidade do estresse salino, comportando-se inversamente proporcional ao nível de salinidade.

A redução na produção de biomassa nos níveis mais elevados de salinidade pode ser explicado pelos distúrbios fisiológicos causados por esse estresse e a medida em que a biomassa de folha é reduzida, perde-se aparato fotossintético. Este fato pode ser visto no trabalho realizado por Kachout et al. (2009), onde plantas de *Atriplex hortensis* reduziram em até 50% sua massa seca total em relação ao controle quando submetidas a estresse salino de 257 mmol de NaCl durante 90 dias.

## Área Foliar

Semelhante às demais variáveis apresentadas até o momento, a área foliar só apresentou efeito significativo para umidade x condutividade elétrica. (Figura 3). Assim, quando as plantas foram submetidas a maiores níveis de salinidade, houve perda na área potencialmente fotossintetizante, influenciando a altura e a produção de biomassa fresca e seca das plantas (Figura 1, 2 e 3).

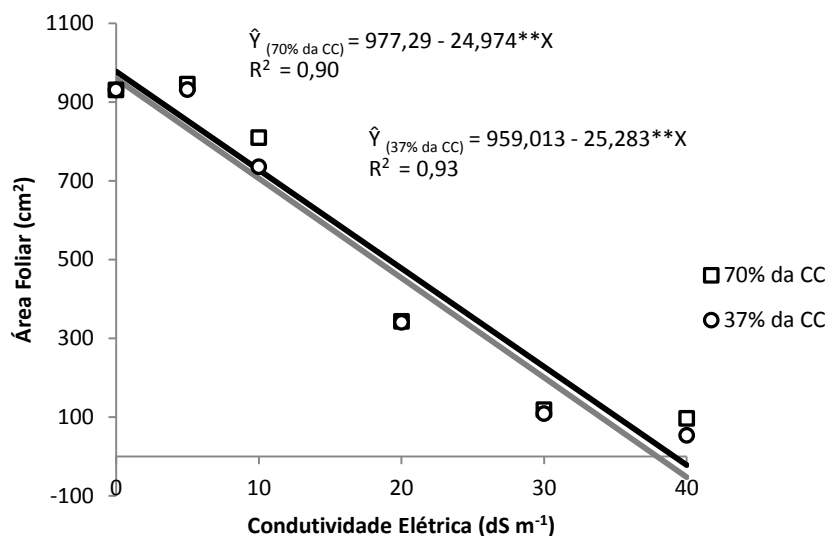


Figura 3. Área foliar de *Atriplex nummularia* em função do nível de salinidade das águas de irrigação aos 100 dias após o transplântio nas umidades de 70 e 37% da capacidade de campo.

A área foliar das plantas foi inversamente proporcional a condutividade elétrica das águas, reduzindo a medida em que a salinidade foi elevada. Dessa forma, para CE acima de 40 dS m<sup>-1</sup> as regressões apresentarão valores estimados negativos e coeficientes de determinação altos com valores de de 0,90 e 0,97 para as umidades de 70 e 37% da CC, respectivamente.

Belkheiri & Mulas (2013), trabalhando com plantas de *Atriplex nummularia* irrigadas com solução de NaCl nas concentrações de 0, 100, 300, 400, 600, 800 e 1000 mmol, durante 10 e 20 dias, encontraram aos 10 dias valores crescentes de área foliar para as plantas irrigadas até a concentração de 800mmol de NaCl. Enquanto que aos 20 dias de tratamento, a área foliar apresentou-se crescente apenas para as plantas submetidas até a concentração de 300 mmol de NaCl, obtendo-se aproximadamente o dobro da

área foliar aos 10 dias. Observando-se um efeito negativo para as concentrações superiores a 300 mmol de NaCl aos 20 dias de estresse salino.

Embora tenha-se encontrado diferença significativa para o fator umidade, os valores de área foliar encontrados para os dois regimes hídricos não se distanciaram muito entre elas, comportamento comprovado pela proximidade das retas em todos os níveis de salinidade. Dessa forma, o nível de salinidade foi o fator mais limitante no que diz respeito a área foliar da *Atriplex nummularia*.

Mesmo se tratando de halófito, o estresse salino e o tempo de exposição a este podem ocasionar efeitos deletérios em plantas como a *Atriplex nummularia*. Kachout et al. (2009), por exemplo, trabalhando com a variedade Green de *Atriplex hortensis* e níveis de salinidade de aproximadamente 85, 171 e 257 mmol de NaCl (CE de 8,5; 17,1 e 25,7 dS m<sup>-1</sup>) na água de irrigação durante 90 dias e encontraram redução de 47% na área foliar para as plantas submetidas ao nível mais alto de salinidade.

### **Teores e conteúdos de Ca, Mg, Na, K e Cl em folha, caule e raiz**

Com relação aos teores dos elementos encontrados na planta, o cálcio apresentou diferença significativa para interação umidade x CE em folha, caule e raiz, e para fonte de sal em folha e raiz, enquanto que, para o caule, apenas a umidade e CE da água de irrigação apresentaram-se significativos (Figura 4).

O comportamento dos teores de Ca<sup>++</sup> nas folhas e raízes não possibilitou o ajustamento de nenhum modelo de regressão, não sendo possível o estabelecimento de nenhuma equação que explicasse tais valores. Diferentemente do caule, onde foi observado um comportamento linear e um quadrático para os teores de cálcio.

Com o aumento dos níveis de salinidade, os teores de cálcio tenderam a aumentar nas plantas submetidas a 70% da CC. Para as folhas e raízes, as plantas irrigadas com a mistura de sais tiveram seus teores de cálcio elevados a partir da CE de 10 dS m<sup>-1</sup>, enquanto que as plantas irrigadas com NaCl, mantiveram-se relativamente estabilizadas obtendo maiores valores para as plantas irrigadas com água de CE de 40 dS m<sup>-1</sup>.



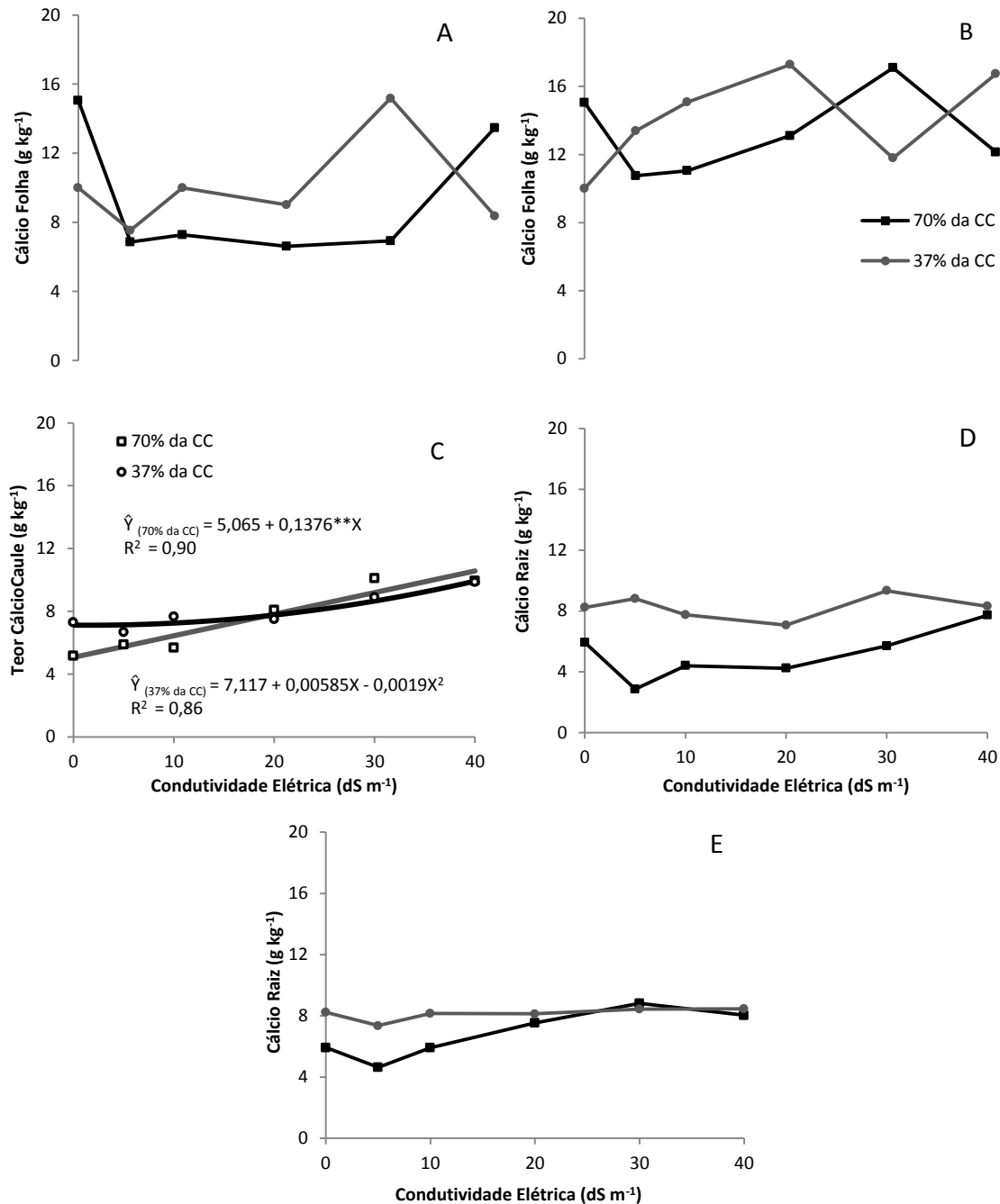


Figura 4. Teores de cálcio em folha e raiz para as fontes de sal NaCl (A e D) e mistura (B e E), respectivamente, e raiz (C) de *Atriplex nummularia* aos 100 dias após o transplante em função dos níveis de salinidade das águas de irrigação nas umidades de 70 e 37% da capacidade de campo.

Como observado para o  $\text{Ca}^{2+}$ , os teores de magnésio na *Atriplex nummularia*, também apresentaram diferença significativa entre a interação umidade x CE e para a fonte de sal, para folhas, caule e raízes. Não sendo possível, contudo, o ajustamento de regressões, exceto para os teores de magnésio nas folhas das plantas irrigadas com solução de NaCl (Figura 5).

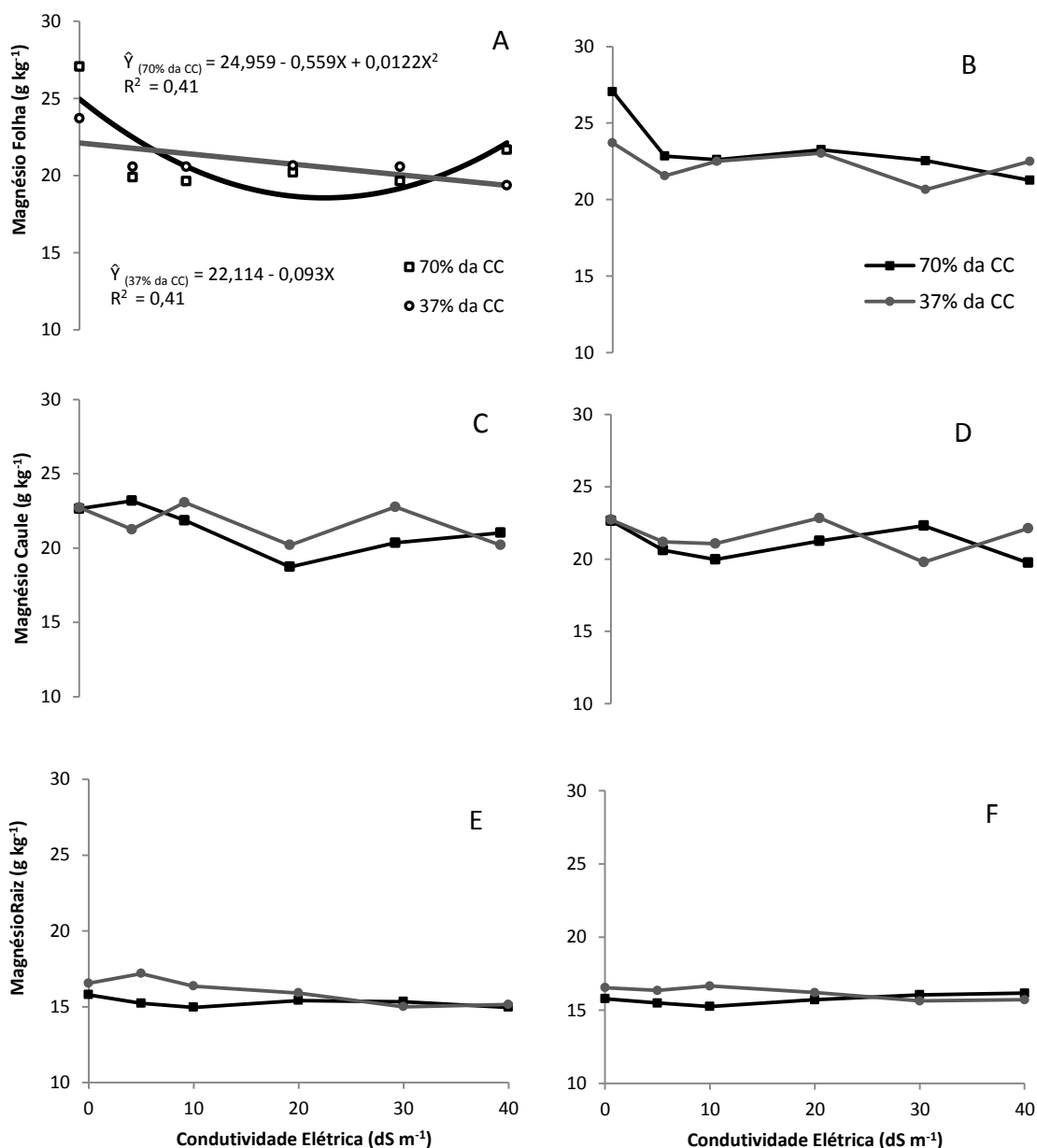


Figura 5. Teores de magnésio em folha, caule e raiz de *Atriplex nummularia* para as fontes de sal NaCl (A, C e E), e para mistura (B, D e F) respectivamente, em função dos níveis de salinidade das águas de irrigação aos 100 dias após o transplântio nas umidades de 70 e 37% da capacidade de campo.

Nas plantas irrigadas com solução de NaCl, os teores de magnésio foram maiores para a umidade de 37% da CC, exceto por pequenas elevações nos teores das plantas submetidas a CE de 0 e 40 dS m<sup>-1</sup>. Naquelas irrigadas com a mistura de sais, os teores das plantas submetidas a 70% da CC permaneceram relativamente superiores. Dessa forma, quando irrigadas com a

mistura de sais, maiores umidades favoreceram maiores teores de magnésio nas folhas, enquanto as irrigadas com solução de NaCl aumentaram os teores de magnésio nas folhas quando submetidas a estresse hídrico (Figura 5 A e B).

No caule, os teores de magnésio foram maiores nas plantas submetidas a 37% da CC, para as plantas irrigadas com ambas as fontes de sal. Nas raízes, o comportamento foi semelhante ao encontrado nas outras partes da planta. A restrição hídrica fez com que as plantas submetidas a umidade mais baixa (37% da CC) apresentassem maiores teores. Desse modo, o estresse hídrico estimula o acúmulo de magnésio nas folhas, caule e raízes de *Atriplex nummularia* (figura 5 C, D, E e F).

Para os teores de sódio encontrados nas plantas, folha e caule apresentaram efeito significativo para a interação umidade x CE. Também encontrou-se efeito significativo para a fonte de sal nas folhas e raízes (Figura 6).

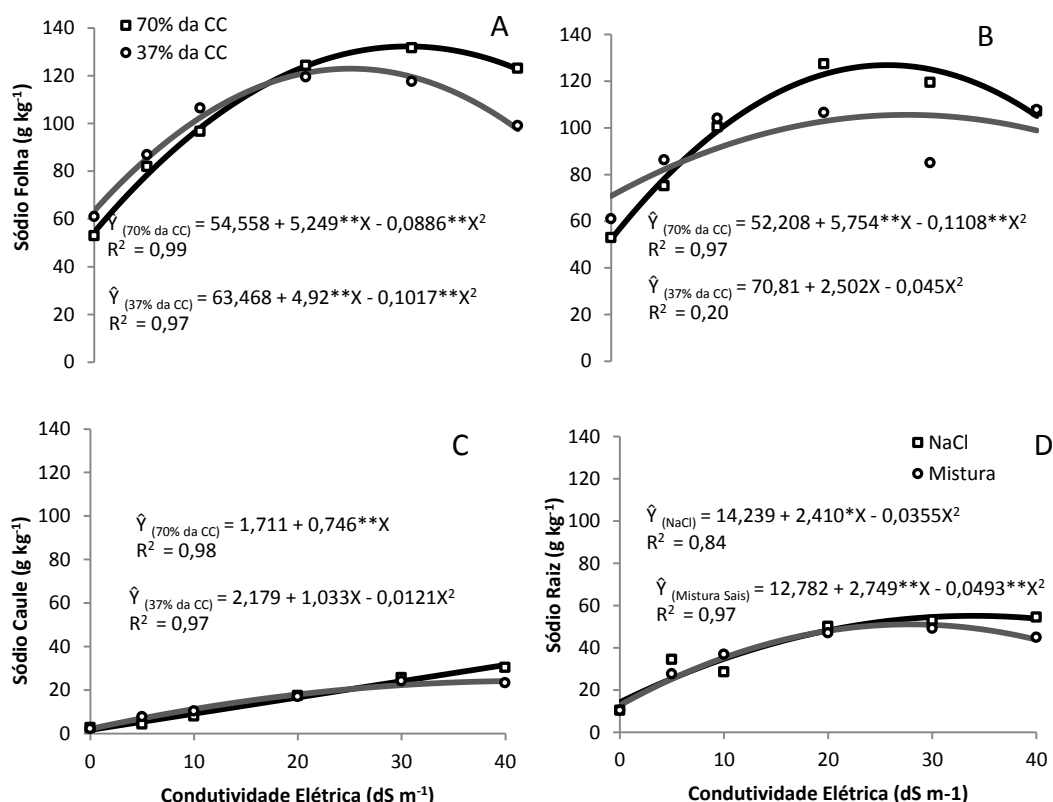


Figura 6. Teores de sódio em folha para as fontes de sal: NaCl e mistura (A e B), respectivamente; caule (C) e raiz (D) de *Atriplex nummularia*, em função dos níveis de salinidade das águas de irrigação aos 100 dias após o transplante, nas umidades de 70 e 37% da capacidade de campo.

Nesse caso, em ambas as fontes de sal, as plantas tenderam a acumular mais sódio quando submetidas a condições mais úmidas (70% da CC), que quando sob condição de maior estresse hídrico (37% da CC). Os teores de sódio nas folhas foram maiores nas plantas irrigadas com solução de NaCl (Figura 6 A e B).

Hussin, Geissler & Koyro (2013) trabalhando com *Atriplex nummularia* em condições de estresse salino (0, 25, 50 100 e 150 mmol de NaCl) durante 84 dias encontraram teores crescentes de sódio na folha com a elevação do nível de salinidade. Dessa forma, a maior intensidade e tempo de exposição ao estresse salino podem estar associados ao declínio nos teores de sódio das folhas encontrados no presente trabalho para os valores mais altos de salinidade.

Bazihizina et al. (2012), encontraram 45,9 g kg<sup>-1</sup> de sódio nas folhas de *A. nummularia* para estresse salino de 1500 mmol (150 dS m<sup>-1</sup>) de NaCl durante 21 dias. Enquanto que, De Souza et al. (2012) encontraram teor de 124,73 g kg<sup>-1</sup> nas folhas de *A. nummularia* cultivadas 134 dias em solo salino sódico. Entretanto, o maior valor encontrado neste trabalho foi da ordem de 131 g kg<sup>-1</sup> para CE 30 dS m<sup>-1</sup>, na umidade de 70% da CC para as plantas irrigadas com solução de NaCl.

A presença de íons de cálcio, magnésio e potássio na solução da mistura de sal, possivelmente favoreceu a absorção destes em lugar do sódio, resultando numa sutil diminuição deste elemento nas folhas, uma vez que cálcio, magnésio e potássio são essenciais para a nutrição das plantas e apresentavam-se em grande quantidade no meio. Ainda assim, o sódio foi o elemento que apresentou o segundo maior valor de teores nas folhas, sendo inferior apenas ao cloreto, e, apenas quando comparando seus valores em relação as fontes de sais.

No caule, os teores apresentaram maior variação para as CE's 30 e 40 dS m<sup>-1</sup> quando as plantas foram submetidas a 70% da CC onde os teores apresentaram comportamento linear (Figura 6 C). Tendo seus valores sutilmente reduzidos nessas CE's para as plantas submetidas a umidade de 37% da CC.

Nas raízes, os teores de sódio apresentaram diferença significativa para as fontes de sal. Embora tenha apresentado comportamento semelhante da CE de 0 dS m<sup>-1</sup> até a CE de 20 dS m<sup>-1</sup>, para as CE's de 30 e 40 dS m<sup>-1</sup> os valores se diferenciaram, sendo mais elevados nas plantas irrigadas com solução de NaCl. Estes apresentaram comportamento semelhante aos encontrados por Nedjimi et al. (2014), sendo crescente de acordo com o aumento da salinidade.

O teor de potássio na folha não apresentou efeito significativo para nenhuma das fontes de variação avaliadas. Isso indica que o teor de potássio independe do estresse hídrico, salino, ou das espécies iônicas presentes na solução do solo para condições semelhantes as avaliadas (Figura 7).

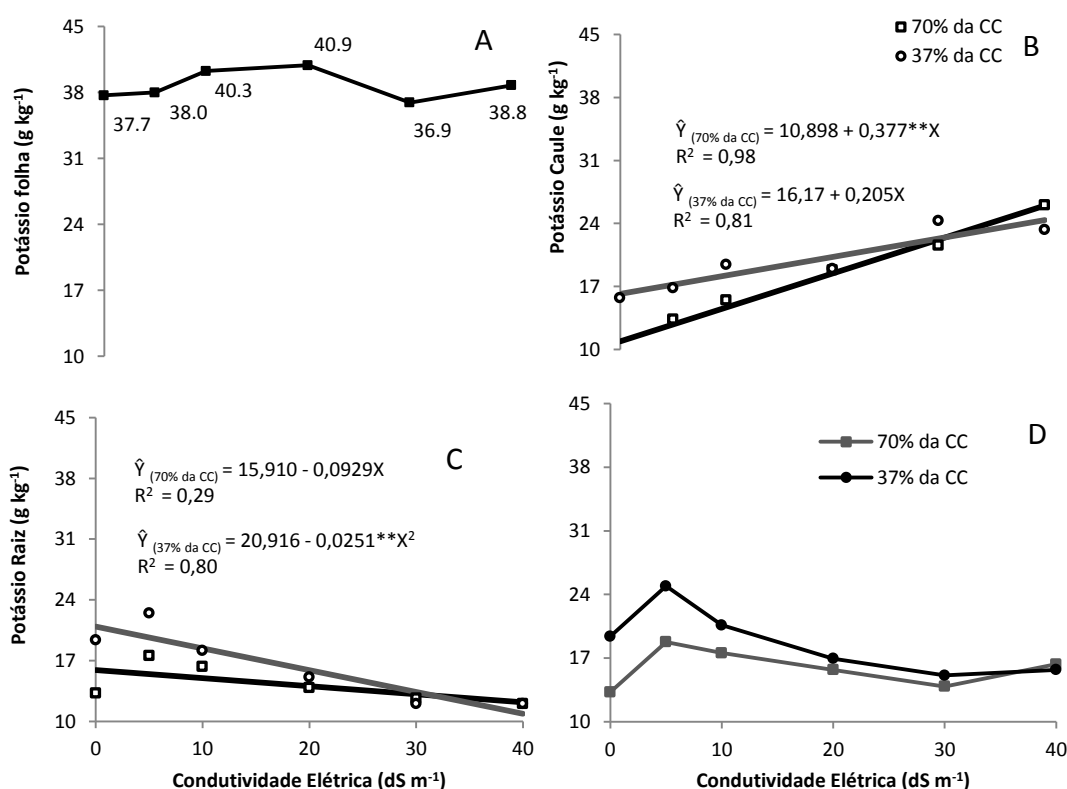


Figura 7. Teores de Potássio em folha (A), caule (B), e raiz para as fontes de sal NaCl (C) e mistura (D) de *Atriplex nummularia* em função dos níveis de salinidade das águas de irrigação aos 100 DAT nas umidades de 70 e 37% da capacidade de campo.

No caule, esses teores apresentaram-se diretamente proporcionais ao nível de salinidade e foram superiores nas plantas submetidas a 37% da CC, sendo maior nas plantas submetidas à condição mais úmida apenas na CE de 40 dS m<sup>-1</sup>. Logo, até a CE de 30 dS m<sup>-1</sup>, as plantas submetidas a estresse

hídrico mais severo apresentaram maior teor de potássio no caule, com elevação desses valores com o aumento do estresse salino.

Bouchenak et al. (2012) trabalhando com *Atriplex halimus* identificaram reduções nos teores de potássio na folha das plantas a medida que o estresse salino elevou-se. Semelhantemente ao comportamento dos teores encontrados no presente trabalho, onde a tendência decrescente nos teores de potássio foi encontrada exceto no caule, possivelmente pela alta mobilidade do elemento no interior da planta.

No trabalho realizado por Nedjimi et al. (2014) o teor de potássio nas folhas comportou-se de forma semelhante, crescente até 200 mmol de NaCl ( $\sim 20 \text{ dS m}^{-1}$ ), sendo reduzido a menos da metade para o estresse salino de 300 mmol de NaCl ( $\sim 30 \text{ dS m}^{-1}$ ). Comportamento percebido no estresse salino de  $30 \text{ dS m}^{-1}$  do presente trabalho voltando a aumentar na CE de  $40 \text{ dS m}^{-1}$ .

Para as raízes, o teor de potássio apresentou efeito significativo para a interação umidade x CE e para a fonte de sal. Deste modo, para as plantas irrigadas com NaCl, os teores foram maiores para as plantas sob umidade de 37% da CC para todas as CE's, exceto para a CE de  $40 \text{ dS m}^{-1}$ , onde os teores de potássio foram maiores para as plantas submetidas a umidade de 70% da CC. Maiores teores de potássio foram encontrados no caule e nas raízes das plantas irrigadas com NaCl e submetidas a estresse hídrico, onde sob tais condições mecanismos de afinidade e seletividade para o potássio podem estar associados a elevação dos teores desse elemento em *Atriplex nummularia*.

No trabalho realizado por Silveira et al. (2009) as raízes de *Atriplex nummularia* sob estresse salino apresentaram maiores teores de potássio que nas folhas, sendo decrescente com o aumento da salinidade. Bouchenack et al. (2012) encontraram comportamentos semelhantes. Entretanto, diferente ao encontrado no presente trabalho, onde os teores nas folhas foram maiores que os encontrados nas raízes.

Nas raízes, para as plantas irrigadas com a mistura de sais, os teores de potássio foram maiores para a umidade de 70% da CC com exceção da CE de  $40 \text{ dS m}^{-1}$ , onde o teor de potássio foi um pouco mais elevado nas plantas sob 37% da CC de umidade. A presença de outras espécies iônicas favoreceu

maiores teores nas plantas sob maior umidade, uma vez que tal condição favorece a maior entrada de íons na planta por via da absorção de água.

Os teores de cloreto apresentaram efeito significativo para a interação umidade X CE para as folhas, caule e raízes, e para a fonte de sal para as frações folha e raiz (Figura 8).

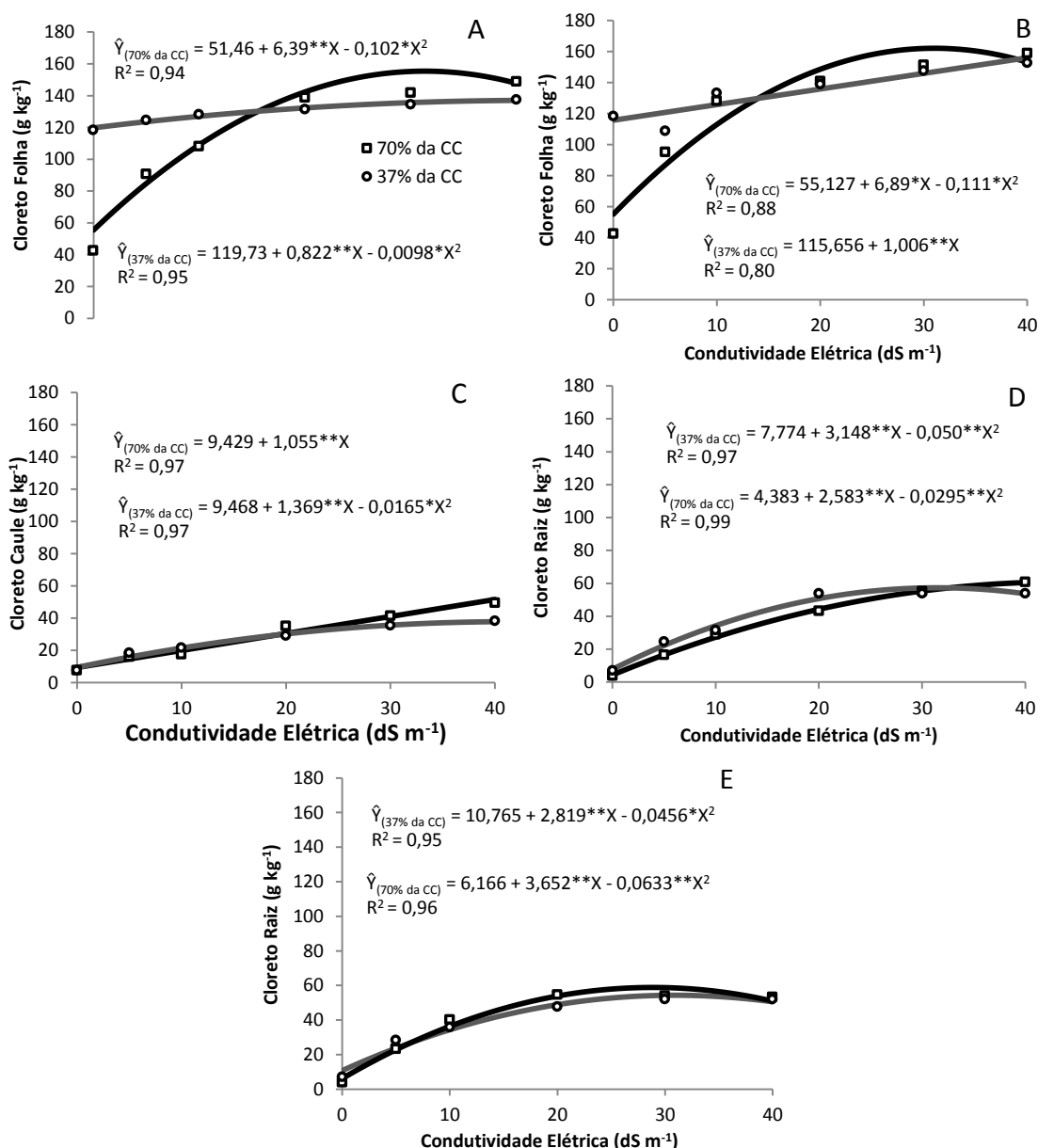


Figura 8. Teores de Cloreto em folha e raiz para as fontes de sal NaCl (A e D) e mistura (B e E), respectivamente; e caule (C) de *Atriplex nummularia* em função dos níveis de salinidade das águas de irrigação aos 100 dias após o transplântio nas umidades de 70 e 37% da capacidade de campo.

Para as folhas, os teores de cloreto nas plantas irrigadas com NaCl e com a mistura de sais apresentaram o mesmo comportamento crescente mediante a elevação nos níveis de salinidade, sendo mais elevado para as plantas irrigadas com a mistura de sais. Para o cloreto, os teores na umidade mais baixa foram diretamente proporcionais ao valor de CE, apresentando certa uniformidade em seus valores. Enquanto, que as plantas submetidas a umidade mais elevada tiveram seus teores de cloreto menores para as CE's de 0, 5 e 10 dS m<sup>-1</sup>, alcançando depois destes valores teores próximos aos apresentados pelas plantas submetidas a estresse hídrico de 37% da CC, sendo esta aproximação dos teores mais expressiva nas plantas irrigadas com a mistura de sais.

O comportamento diretamente proporcional aos níveis de salinidade do teor do cloreto em plantas de *Atriplex nummularia* pode ser visto em outros trabalhos como De Souza et al. (2012) e Nedjimi et al. (2014).

Para o caule, os teores de cloreto das plantas sob 37% da CC apresentaram leve inflexão para as duas últimas CE's, enquanto que as plantas sob condições hídricas de 70% da CC, os valores foram linearmente crescendo juntamente com o nível de salinidade. Dessa forma, quando submetida a estresse hídrico os teores de cloreto no caule da *Atriplex nummularia* são reduzidos se esta encontrar-se sob elevado estresse salino.

Os teores de cloreto nas raízes foram relativamente maiores para as plantas irrigadas com solução de NaCl em relação às irrigadas com a mistura. Entretanto, em ambas as fontes de sais, os valores dos teores estabilizaram para as CE's de 20, 30 e 40 dS m<sup>-1</sup>. Este comportamento foi percebido para os dois regimes hídricos aplicados. Assim, embora as plantas irrigadas com NaCl tenham apresentado teores ligeiramente mais elevados, as plantas alcançaram estabilidade dos teores de cloreto nas raízes para as CE's de 20, 30 e 40 dS m<sup>-1</sup> independente do tipo de sal aplicado, reagindo do mesmo modo ao estresse salino e hídrico e indicando que, mesmo se tratando de uma halófita a *Atriplex nummularia* apresenta um limite de acumulação de cloreto.

Os conteúdos de cálcio apresentaram diferença significativa entre a interação umidade x fonte de sal para as folhas, apresentando-se decrescente para as plantas submetidas a solução de NaCl pra ambas as umidades e decrescente para as plantas irrigadas com a mistura na umidade de



37% da CC, enquanto que para a umidade de 70% da CC o conteúdo de cálcio tornou a subir para a CE de 40 dS m<sup>-1</sup>. Para o caule e a raiz os conteúdos foram decrescentes com o aumento da salinidade, sendo menores na umidade de 37% da CC (Figura 9).

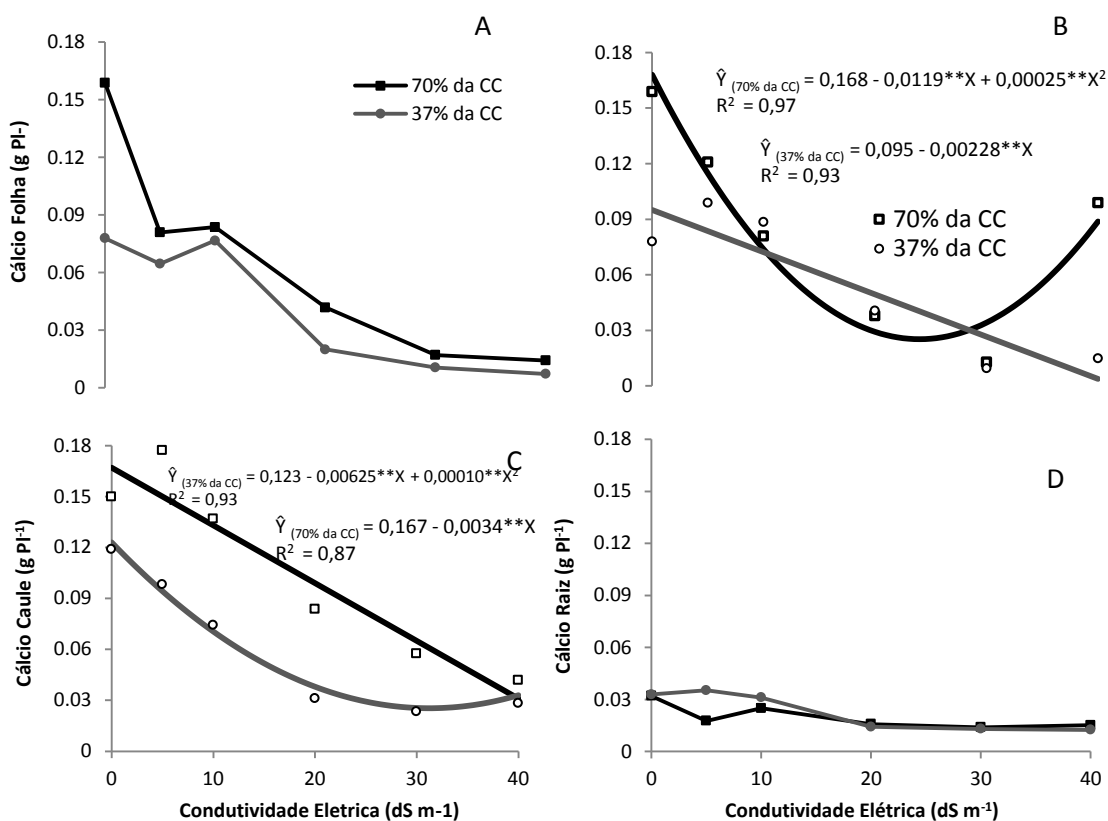


Figura 9. Conteúdos de cálcio em folha para as fontes de sal NaCl (A) e mistura (B), caule (C) e raiz (D) de *Atriplex nummularia* em função dos níveis de salinidade das águas de irrigação aos 100 dias após o transplante nas umidades de 70 e 37% da capacidade de campo.

Khan et al. (2000) trabalhando com *Atriplex griffithii* encontraram conteúdos de cálcio mais baixo que os de magnésio, semelhante ao comportamento encontrado neste trabalho e, em De Souza et al. (2012) e Belkheiri & Mulas (2011) para plantas de *Atriplex nummularia*.

Os conteúdos de magnésio encontrados na folha e no caule foram decrescentes em ambas as umidades a medida que os níveis de salinidade foi aumentando, tendendo a convergir próximo a CE de 40 dS m<sup>-1</sup>, exceto para os conteúdos na raiz, que mantiveram o gradiente entre as umidades (Figura 10).

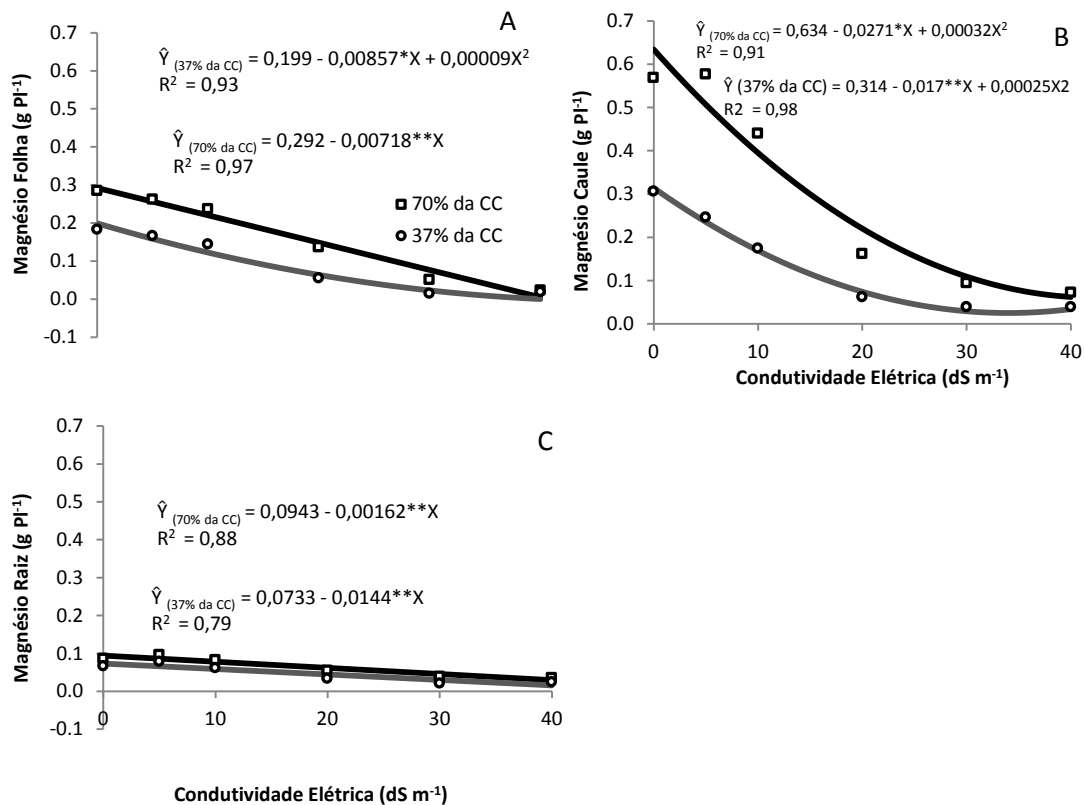


Figura 10. Conteúdos de magnésio em caule (A), folha (B) e raiz (C) de *Atriplex nummularia* em função dos níveis de salinidade das águas de irrigação aos 100 dias após o transplântio nas umidades de 70 e 37% da capacidade de campo.

Os conteúdos de sódio foram decrescentes com o aumento no nível de salinidade (Figura 11 A, B e C), sendo menores para todos os tratamentos de umidade referentes a 37% da CC, convergindo para os valores nas folhas, uma vez que a área e produção de biomassa foliar foram reduzidos em virtude da salinidade, os conteúdos nessas frações acompanharam esse declínio (Figura 11 A).

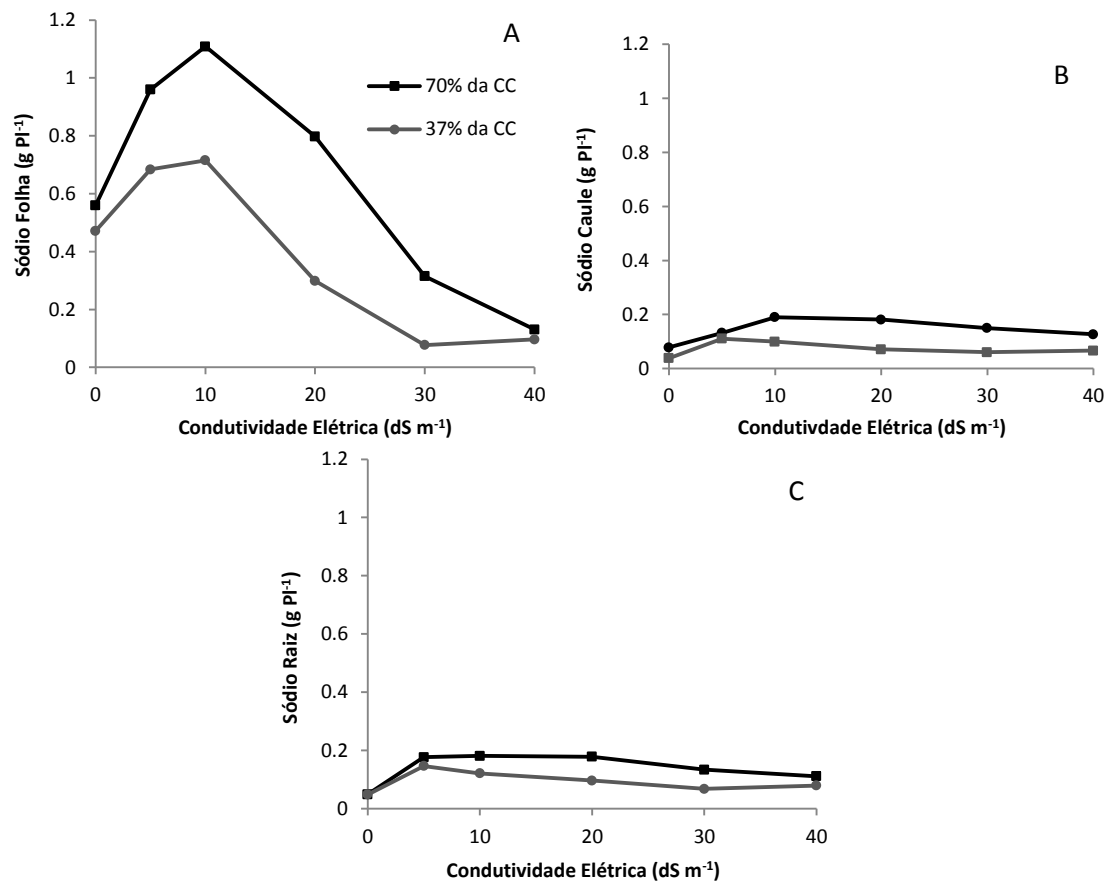


Figura 11. Conteúdos de sódio em folha (A), caule (B) e raiz (C) de *Atriplex nummularia* em função dos níveis de salinidade das águas de irrigação aos 100 dias após o transplântio nas umidades de 70 e 37% da capacidade de campo.

Em todos os experimentos com *Atriplex nummularia*, o sódio aparece sempre como um dos elementos em maior concentração na planta (Ramos et al., 2004), contudo os conteúdos por estarem relacionados com a produção de massa seca sofrem redução não pelo teor do elemento na planta mas pela redução na produção de massa seca nos níveis de CE mais altos.

A mesma redução foi encontrada no conteúdo de potássio em virtude do fator produção de biomassa reduzido. No caso da raiz, essa redução foi mais acentuada na umidade de 37% da CC que para as plantas cultivadas sob umidade de 70% da CC. Embora todas as frações da planta tenham apresentado redução na produção de biomassa, o comportamento linear do conteúdo de potássio na raiz demonstra a relação inversamente proporcional entre o nível de salinidade e os conteúdos na raiz de *Atriplex nummularia* Lindl. (Figura 12).

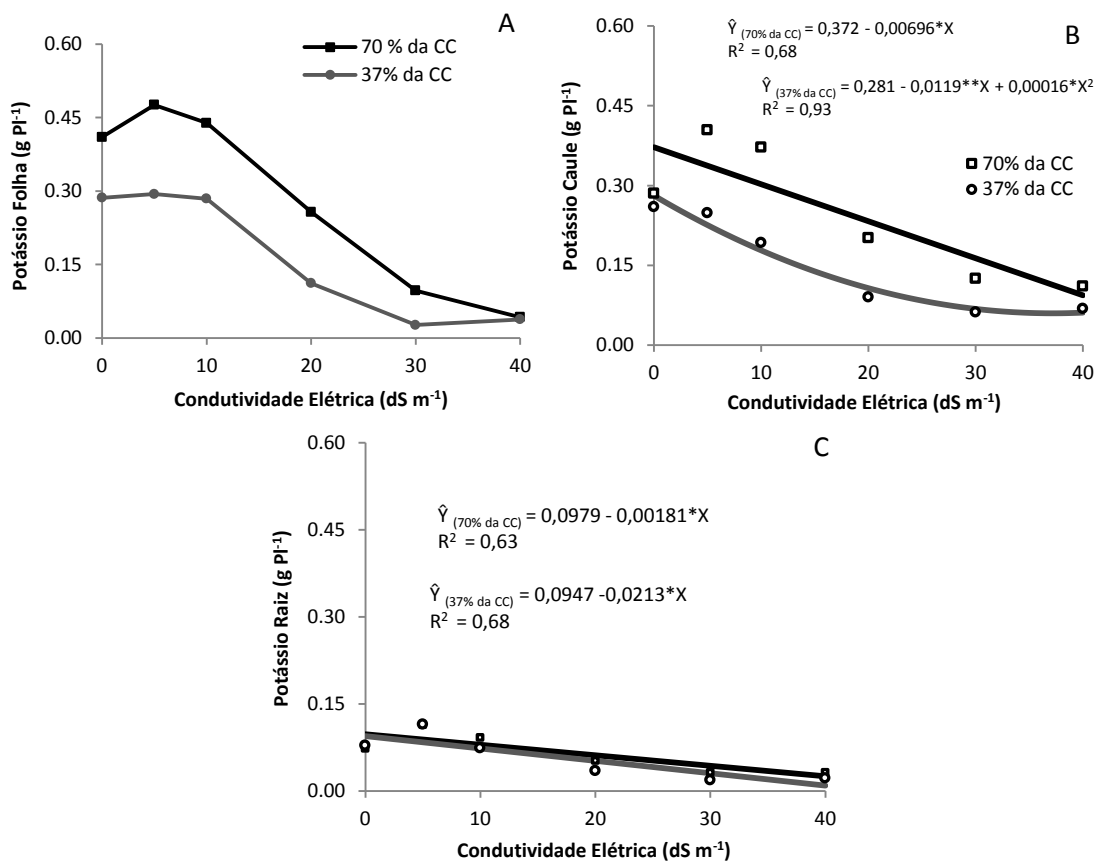


Figura 12. Conteúdos de potássio em folha (A), caule (B) e raiz (C) de *Atriplex nummularia* em função dos níveis de salinidade das águas de irrigação aos 100 dias após o transplântio nas umidades de 70 e 37% da capacidade de campo.

Dos cátions avaliados, o potássio é o que se encontra sempre em menor teor e conseqüentemente menores conteúdos (Khan et al., 2000; Ramos et al., 2004). A resposta negativa do conteúdo de potássio em todas as partes da planta também foi encontrado por Bouchenack et al. (2012), quando cultivaram duas variedades de *Atriplex halimus* irrigadas com soluções de NaCl nas concentrações de 300 e 600 mmol (CE ~30 e 60 dS m<sup>-1</sup>), onde os maiores conteúdos de K<sup>+</sup> foram encontrados no tratamento controle, reduzindo gradativamente a medida que o estresse salino aumentou de 300 para 600 mmol em ambas as variedades estudadas.

Os maiores conteúdos de cloreto foram determinados na folha, caule e raiz, respectivamente. Sendo menores em detrimento a redução da umidade para as plantas submetidas a 37% da CC e apresentando-se decrescente na folha e raiz para níveis de CE acima de 10 dS m<sup>-1</sup> (Figura 13).

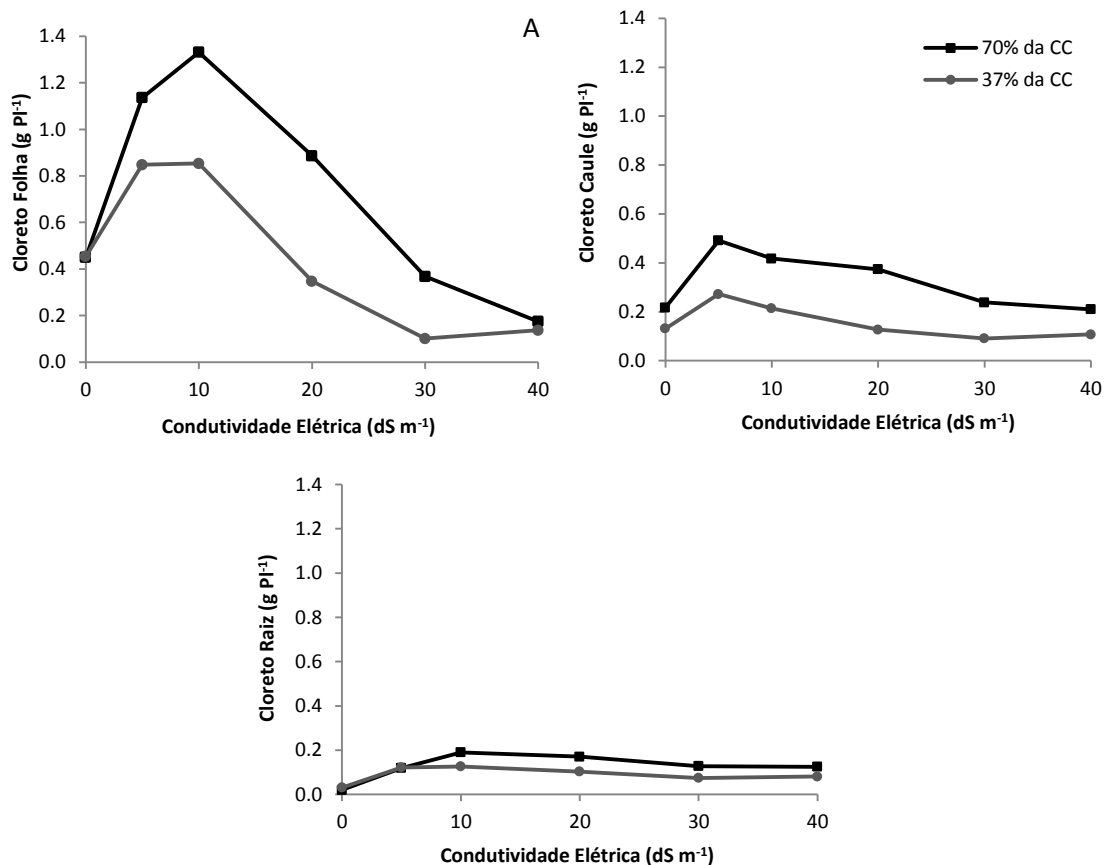


Figura 13. Conteúdos de cloreto em folha (A), caule (B) e raiz (C) de *Atriplex nummularia* em função dos níveis de salinidade das águas de irrigação aos 100 dias após o transplante nas umidades de 70 e 37% da capacidade de campo.

De Souza et al. (2012) encontraram o mesmo comportamento nos conteúdos de cloreto em relação as partes das plantas, onde reduziram da folha para o caule, e do caule para a raiz quando *Atriplex nummularia* cultivadas em solo salino sódico durante 134 dias. Khan et al. (2000) trabalharam com *Atriplex griffithii* de semelhante modo encontraram maior conteúdo de cloreto na parte aérea.

Em trabalhos onde as plantas foram submetidas apenas a estresse salino, os maiores conteúdos são encontrados nas folhas e para as plantas submetidas aos maiores níveis de salinidade. Nedjimi et al. (2014) trabalharam com *A. nummularia* submetidas a quatro níveis de salinidade durante 30 dias e encontraram conteúdos crescentes de cloreto na parte aérea das plantas mediante o aumento da salinidade. Tal comportamento pode estar associado a interação do estresse hídrico com o salino, intensificando as alterações fisiológicas e reduzindo a o acúmulo de cloreto para as plantas mais estressadas,

## CONCLUSÕES

- A fonte de sal não influenciou o crescimento da *Atriplex nummularia*;
- O estresse hídrico inibiu o crescimento da *Atriplex nummularia* para todos os níveis de salinidade, enquanto que os níveis mais altos de salinidade reduziram o crescimento das plantas;
- A área foliar e a produção de biomassa da *Atriplex nummularia* foram influenciados diretamente pelos estresses hídrico e salino, mas não apresentaram respostas para as fontes de sais utilizadas;
- A fonte de sal influenciou nos teores de cálcio, magnésio, sódio e cloreto nas folhas e nos teores de magnésio, potássio e cloreto encontrados na raiz;
- Os teores de cálcio, cloreto e sódio aumentaram com o aumento dos níveis de salinidade, este último reduzindo para a CE de 40 dS m<sup>-1</sup>, enquanto que para o magnésio os teores reduziram com o aumento do estresse salino;
- O aumento nos níveis de salinidade reduziu o conteúdo dos elementos cálcio, magnésio, sódio, potássio e cloreto para todas as partes da planta, em virtude, principalmente, da redução da biomassa.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o experimento realizado em casa de vegetação durante o período de 100 dias com *Atriplex nummularia* cultivada em NEOSSOLO FLÚVICO advindo do município de Pesqueira-PE, e submetidas a dois regimes de umidade (37 e 70% da capacidade de campo) referentes as tensões de -0,57 e 0,06 MPa e irrigada com soluções salinas confeccionadas em seis níveis de condutividade elétrica (0, 5, 10, 20, 30 e 40 dS m<sup>-1</sup>) e a partir de duas fontes de sal, NaCl e uma Mistura contendo Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> para avaliar o status hídrico e estado nutricional da planta, observou-se que os potenciais de água na *Atriplex nummularia* não alteraram em função da variação dos sais presentes em solução; e, seu potencial osmótico foi reduzido a valores bem mais negativos nas condições mais extremas de salinidade, mantendo o gradiente de potencial para o movimento da água do solo para o interior das raízes; Seu crescimento, área foliar e produção de biomassa também foram afetados pelos níveis mais altos de salinidade, reduzindo a medida que estes foram elevados. Os teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> responderam de forma crescente as elevações na salinidade do solo, enquanto que os conteúdos extraídos foram reduzidos em resposta a elevação da umidade, uma vez que afetando a produção de biomassa os conteúdos tendem a ser menores, mesmo se estiverem em alta concentração.

Mesmo sobrevivendo, as plantas submetidas aos níveis mais altos de salinidade apresentaram redução em variáveis importantes como a área foliar. É provável que a CE suportada pela *Atriplex nummularia* esteja próxima de 40 dS m<sup>-1</sup> em virtude da diminuição da capacidade de reduzir o potencial hídrico da planta em valores muito negativos do potencial osmótico da solução do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, O. A., Qualidade da água de irrigação. EBRAPA - Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas,BA, 2010.

ARAÚJO, S. A. M.; SILVEIRA, J. A. G.; ALMEIDA, T. D.; ROCHA, I. M. A.; MORAIS, D. L. & VIÉGAS, R. A. **Salinity tolerance of halophyte *Atriplex nummularia* L. grown under increasing NaCl levels.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB, v.10, n.4, p.848-854, 2005.

AZEVEDO, C. M. S. B., PEDROSA, G. P., MEDEIROS, J. F. & NUNES, G. H. **S.Uso de *Atriplex nummularia* na extração de sais de solos irrigados com efluentes salinos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, p.300-304, Campina Grande, PB, 2005.

BAZIHIZINA, N.; LENNARD, E. G. B. & COLMER, T. D. **Plant responses to heterogeneous salinity: growth of the halophyte *Atriplex nummularia* is determined by the root-weighted mean salinity of the root zone.** Journal of Experimental Botany, Vol. 63, No. 18, pp. 6347–6358, 2012

BELKHEIRI, O. & MULAS, M. **The effects of salt stress on growth, water relations and ion accumulation in two halophyte *Atriplex* species.** Environmental and Experimental botany, p. 1-12, 2013.

BEN SALEM, H., NORMAN, H.C., NEFZAOU, A., MAYBERRY, D.E., PEARCE, K.L., D.K. REVELL. **Potential use of oldman saltbush (*Atriplex nummularia* Lindl.) in sheep and goat feeding.** Small Ruminant Research 91 (2010) 13–28

BOUCHENAK, F., HENRI, P., BENREBIHA, F.Z., REY, P. **Differential responses to salinity of two *Atriplex halimus* populations in relation to organic solutes and antioxidant systems involving thiolreductases.** Journal of Plant Physiology, 169, (2012) 1445– 1453, 2012.

DIAS, N. da S. & BLANCO F. F. **Efeitos dos sais no solo e na planta.** In: GHEYI, H. R.; DIAS N. da S.; LACERDA, C. F. Manejo da Salinidade na



Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza -CE. INCTSal - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, p. 129-141, 2010.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 212p, 1997.

FLOWERS, T. J. & COLMER, T. D. **Salinity tolerance in halophytes**. *New Phytologist*, 179: 945-963, 2008.

GLENN, E. P., MCKEON, C., GERHART, V., NAGLER, P. L., JORDAN, F. & ARTIOLA, J. **Deficit irrigation of a landscape halophyte for reuse of saline waste water in A desert city**. *Landscape and Urban Planning* 89 (2009) 57–64.

GLENN, E. P., NELSON, S. G., AMBROSE, B., MARTINEZ, R., SOLIZ, D., PABENDINSKAS, V., HULTINE, K. **Comparison of salinity tolerance of three *Atriplex* spp. in well-watered and drying soils**. *Environmental and Experimental Botany*, 83, 62–72, 2012.

HASSINE, A. B. & LUTTS, S. **Differential responses of saltbush *Atriplex halimus* L. exposed to salinity and water stress in relation to senescing hormones abscisic acid and ethylene**. *Journal of Plant Physiology* 167 (2010) 1448–1456.

HUSSIN, S., GEISSLER, N. & KOYRO, H. W. **Effect of NaCl salinity on *Atriplex nummularia* (L.) with special emphasis on carbon and nitrogen metabolism**. *ActaPhysiol Plant* (2013) 35:1025–1038

KACHOUT, S. S., MANSOURA, A. B., JAFFEL, K., LECLERC, J. C., REJEB, M. N. & OUERGHI, Z. **The effect of salinity on the growth of the halophyte *atriplex hortensis* (chenopodiaceae)**. *Applied ecology and environmental research* 7(4): 319-332, 2009.

KHAN, M.A.; UNGAR, I.A. & SHOWALTER, A.M. **Effects of salinity on growth, water relations and ion accumulation of the subtropical perennial halophyte, *Atriplex griffithii* var. *stocksii***. *Annals of Botany*, 85: 225-232, 2000.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. & OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 219p.

MUNNS, R. & TESTER, M. **Mechanisms of Salinity Tolerance**. *Annual Review of Plant Biology*, 59:. 651–81, 2008.

NEDJIMI, B. **Effects of salinity on growth, membrane permeability and root hydraulic conductivity in three saltbush species**. *Biochemical Systematics and Ecology* 52, 4–13, 2014.

PARIDA, A. K. & DAS, A. B. **Salt tolerance and salinity effects on plants: a review**. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60 (2005) 324–349.

RAMOS, J., LÓPEZ, M. J. & BENLLOCH, M. **Effect of NaCl and KCl salts on the growth and solute accumulation of the halophyte *Atriplex nummularia***. *Plant and Soil* 259: 163–168, 2004.

SCHLEIFF, U. **Soil-Based Vegetation Technique to Quantify Effects of Rhizospheric Soil Osmotic and Matric Water Potentials on Crop Salt Tolerance**. *J Agro Crop Sci* (2012) ISSN 0931-2250.

SILVA, E. C., NOGUEIRA, R. J. M. C., ARAÚJO, F. P., MELOC, N. F., AZEVEDO NETO, A. D. **Physiological responses to salt stress in young umbu plants**. *Environmental and Experimental Botany* 63 (2008) 147–157

SILVEIRA, J. A. G.; ARAÚJO, S. A. M.; LIMA, J. P. M. S. & VIÉGAS, R. A. **Roots and leaves contrasting osmotic adjustment mechanisms in responses to NaCl-Salinity in *Atriplex nummuaria***. *Environmental and Experimental Botany*., v 66, p 1-8, 2009.

SOUZA, E. R.,FREIRE, M. B. G. DOS S., NASCIMENTO, C. W. A., MONTENEGRO, A. A. A., FREIRE, F. J. & MELO, H. F. **Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* Lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico**.*Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.5, p.477–483, Campina Grande, PB, 2011.

SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G. S.; CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; RUIZ, H. U. & LINS, C. M. T. **Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress.** Environmental and Experimental Botany., v 82, p 20-27, 2012.

SOUZA, M. S., SAMARA, ALVES, S. S. V., DOMBROSKI, J. L. D., FREITAS, J. D. B. & AROUCHA, E. M. M. **Comparação de métodos de mensuração de área foliar para a cultura da melancia.** Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 42, n. 2, p. 241-245, abr./jun. 2012.

THOMAS, G. W. Exchangeable cations. In: Page, A. L. (ed). **Methods of soil analysis. Part-2 chemical methods.** Madison: American Society of Agronomy, 1982, p.159-165.

UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF - **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.** Agriculture Handbook n°60, L. A. Richards Edit., Washington, 1954, 159 p.

WALKER, D. J., LUTTS, S., GARCÍA, M. S., CORREAL, E. ***Atriplex halimus* L.: Its biology and uses.** Journal of Arid Environments 100-101 (2014) 111e121