

## Mecanismos fisiológicos envolvidos com a diminuição de $K^+$ em raízes de cajueiro causada por $NaCl$ <sup>1</sup>

Physiological mechanisms involved with reduction in the  $K^+$  induced by  $NaCl$  in cashew roots

Francisco Abel Lemos Alves<sup>2</sup>, Sérgio Luiz Ferreira da Silva<sup>3</sup>, Joaquim Albenisio Gomes da Silveira<sup>4\*</sup> e Vanda Lúcia Arcanjo Pereira<sup>5</sup>

**Resumo** - O objetivo desse estudo foi caracterizar os principais fatores que determinam a redução nas concentrações de  $K^+$  em raízes de cajueiro expostas à salinidade do  $NaCl$ . Plântulas e raízes destacadas da parte aérea foram expostas a diversas concentrações de  $NaCl$  e a diferentes tempos de exposição. Os experimentos foram conduzidos em hidroponia, utilizando-se o clone CCP 06, sob condições controladas de câmara de crescimento com temperaturas de 27 °C/24 °C, dia/noite, umidade relativa do ar 70% ± 10, densidade de radiação fotossinteticamente ativa de 250  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e fotoperíodo de 12 h. Os níveis crescentes de  $NaCl$  (0; 100; 200; 300 e 400 mM), durante 48 h de exposição, causaram reduções significativas nas concentrações de  $K^+$  nas raízes de plântulas. A salinidade causou danos na membrana das raízes, proporcionando vazamento de eletrólitos para o meio externo. O  $NaCl$  externo causou pequeno aumento nas concentrações de  $K^+$  em caules e folhas e diminuiu a absorção e o influxo de potássio. Os resultados evidenciam que as reduções nas concentrações de  $K^+$  provocadas pelo excesso de  $NaCl$  são causadas, principalmente, pelo aumento no efluxo de  $K^+$  devido aos danos de membranas e diminuição no influxo.

**Palavra-chave** - *Anacardium occidentale*. Efeitos do sódio. Plantas-efeitos do potássio. Relação  $K^+/Na^+$ . Solos-salinidade.

**Abstract** - The objective of this study was to elucidate some mechanisms involved with the salt-induced reduction in the  $K^+$  content in cashew roots. The seedlings and detached roots of clone CCP 06 were exposed to different  $NaCl$  levels (0; 100; 200; 300; 400 mM) and 200 mM  $NaCl$  along 0; 12; 24; 36 and 48 hours. The experiments were carried out in nutrient solution and in a growth chamber under controlled conditions: temperature 27°C/24°C (day/night), relative humidity 70%, photosynthetically radiation density 250  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  and a 12-h photoperiod. The external  $NaCl$  levels caused a prominent and steady reduction in the  $K^+$  content in roots. These induced salinity caused root membrane damage, with electrolyte leakage to external environment. The external  $NaCl$  caused slight increase in the concentrations of  $K^+$  in shoot and significant decrease in the  $K^+$  net influx. Taken together, data evidence that  $NaCl$ -induced reduction in the  $K^+$ -root content is caused mainly by increase in both  $K^+$  efflux, due to damage of membrane, and inhibition in the net influx.

**Key words** - *Anacardium occidentale*. Effects of sodium. Plants-effects of potassium. Relationship  $K^+/Na^+$ . Soil-salinity.

\* Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 18/02/2009; aprovado em 14/10/2009

Parte da Dissertação do primeiro autor

<sup>2</sup>Instituto Agronômico de Pernambuco-IPA, Escritório Municipal de Pedra, Pedra-PE, Brasil, abel\_agro@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Bloco 907, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, agrosorgol@yahoo.com.br

<sup>4</sup>Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Bloco 907, Campus do Pici/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, 60.455-970, silveira@ufc.br

<sup>5</sup>Instituto Agronômico de Pernambuco-IPA, Estação Experimental de Arcoverde, Arcoverde-PE, Brasil, vanda@ipa.br

## Introdução

O estresse salino em plantas pode ser decorrente do uso de águas salinas ou sódicas, ou do crescimento das plantas em solos salinizados (TAIZ; ZEIGER, 2004). O processo de salinização dos solos é comum nas regiões áridas e semi-áridas e constitui-se em fator limitante da produção agrícola (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Altas taxas de evaporação, baixas precipitações pluviométricas, características intrínsecas do solo e da rocha subjacente e das condições geomorfológicas e hidrogeológicas locais, águas de irrigação de baixa qualidade, e uso indiscriminado de práticas de manejo de irrigação errôneas, são fatores que contribuem para o aumento da salinização dos solos (MENGEL; KIRKBY, 2001).

Um dos impactos da salinidade do solo sobre as culturas é a redução da taxa de absorção, transporte, redistribuição e utilização de nutrientes minerais. Além de afetar o crescimento da planta, por baixar o potencial osmótico da solução do solo, causando estresse hídrico, esses fatores podem causar problemas de toxicidade e desordens nutricionais. Todos esses eles afetam a produtividade das culturas, sendo um fator limitante ao cultivo de plantas em solos com excesso de sal, principalmente solos sódicos (APSE; BLUMWALD, 2007).

Muitos autores têm correlacionado a resistência à salinidade com uma adequada nutrição potássica nos tecidos vegetais, podendo a relação K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> ser utilizada como critério de seleção de materiais sensíveis e/ou resistentes ao estresse salino (MAATHUIS; AMTMANN, 1999). Há relatos da existência de múltiplos sistemas de absorção com diferentes seletividades para K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> o que pode refletir a necessidade da planta para coordenar o influxo desses cátions (SCHACHTMAN; LIU, 1999).

Sob condições de salinidade-sódica ou condições sódicas, altas doses de Na<sup>+</sup> não só interferem na aquisição de K<sup>+</sup> pelas raízes, mas também podem provocar danos nas membranas de raízes e alterar sua seletividade (VIÉGAS et al., 2001). A seletividade do sistema radicular para o K<sup>+</sup> sobre o Na<sup>+</sup> deve ser suficiente para satisfazer os teores de K<sup>+</sup> requerido para os processos metabólicos, regulação do transporte de íons e para o ajustamento osmótico (MAATHUIS; AMTMANN, 1999). Os mecanismos de influxo de K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> sobre a membrana plasmática não estão bem caracterizados. Sugere-se que a absorção de Na<sup>+</sup> ocorre por um sistema de alta afinidade para absorção de K<sup>+</sup> (HORIE; SCHROEDER, 2004), além de canais não seletivos para absorção de íons (BLUMWALD et al., 2000). A absorção de K<sup>+</sup> ocorre por transportadores

seletivos de alta afinidade e por canais seletivos de baixa afinidade (GIERTH; MÄSER, 2007).

Os relatos têm demonstrado que o estresse salino afeta drasticamente o balanço nutricional do cajueiro, ocorrendo um forte acúmulo dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> em todos os órgãos da planta e promovendo significativa redução do conteúdo de potássio radicular da espécie (ALVES et al., 2008). Interações competitivas entre os íons Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> durante a fase de absorção iônica pelo sistema radicular de plantas é um fenômeno bastante citado na literatura, e são atribuídas às similaridades físico-químicas, raio iônico hidratado e carga elétrica dos dois íons (MAATHUIS; AMTMANN, 1999).

Nesse sentido, objetivou-se nesse estudo caracterizar os principais fatores e mecanismos que determinam a redução nas concentrações de K<sup>+</sup> em raízes de plântulas de cajueiro expostas à salinidade do NaCl.

## Materiais e métodos

### Condições de crescimento

A fase de germinação e o desenvolvimento inicial das mudas foram conduzidos em casa de vegetação, situada no campus do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil (latitude 3°44' S, longitude 38°33' W), temperatura de 28 a 36 °C durante o dia, e de 24 a 27 °C durante a noite e a umidade relativa de 40 a 80% (dia/noite). A radiação fotossintética ativa máxima nas proximidades das folhas foi aproximadamente 1.200 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, mensurada com um “*quantum sensor*” acoplado a um porômetro (LI-1600 steady state porometer, Li-Cor, USA).

### Material vegetal e condução das plantas

Sementes de cajueiro anão-precoce *Anacardium occidentale* L. progênes do clone CCP 06, foram superficialmente esterilizadas em uma solução comercial de hipoclorito de sódio a 10% (v/v) com aeração contínua durante 10 minutos, lavada com água da torneira e posteriormente com água destilada para remover os resíduos do agente esterilizante. Essas foram imersas em água destilada por um período de 24 horas com o objetivo de acelerar o processo de germinação (VIÉGAS; SILVEIRA, 1999). Em seguida, as castanhas foram postas para germinar em vasos plásticos de 800 mL contendo vermiculita e irrigadas diariamente com água destilada até a queda dos cotilédones (30 dias após o plantio), onde passaram a receber solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) modificada, apresentando a seguinte composição de macronutrientes (mM): 2,5 Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; 1,0 NH<sub>4</sub>Cl; 0,5

$K_2HPO_4$ ; 0,5  $MgSO_4$  e 2  $KNO_3$ , e micronutrientes ( $\mu M$ ) 40  $H_3BO_3$ ; 9  $MnCl_2$ ; 3  $CuSO_4$ ; 7  $ZnMoO_4$ ; 0,1  $Na_2MoO_4$ ; 100 Fe-EDTA, com ajuste do pH para 6,0.

Aos 40 dias após a germinação, plântulas com aproximadamente oito folhas, raízes destacadas da parte aérea e plântulas inteiras foram transferidas para copos e/ou erlenmeyer de 250 mL, contendo solução de NaCl (100; 200; 300; 400 mM e a dose controle) +  $CaCl_2$  (5 mM) + Tampão HEPES (10 mM) ou solução nutritiva diluída (1:10), pH 6,0 (dose dependente) e/ou NaCl (200 mM e a dose controle) +  $CaCl_2$  (5 mM) + Tampão HEPES (10 mM) ou solução nutritiva diluída (1:10), pH 6,0 em 0; 12; 24; 36 e 48 horas (tempo dependente).

As plântulas e raízes destacadas da parte aérea foram mantidas em condições de bancada em Laboratório, à temperatura de 22 °C, e umidade relativa de 45%. Após 48 horas de exposição a tais doses de NaCl, o material vegetal foi coletado, separados em raízes e folhas, seco em estufa a 70 °C por 72 horas, moído e determinado a concentração de  $Na^+$ ,  $K^+$  e o vazamento de eletrólitos nas raízes.

### Concentração de Sódio e Potássio

As concentrações de sódio e potássio nas folhas e raízes foram realizadas conforme Viégas *et al.* (2001). Amostras do material vegetal de folhas e raízes previamente secas em estufa, maceradas e feita farinha (50 mg) foram colocadas em tubos de ensaio e, em seguida 20 mL de água deionizada adicionados. Os tubos foram colocados em banho-maria a 100 °C, por 1 hora. Logo após, o extrato foi filtrado e no sobrenadante foram feitas leituras em fotometria de chama (Micronal, modelo B462), onde os conteúdos de  $Na^+$  e  $K^+$  foram obtidos com base em curva padrão de NaCl e KCl, respectivamente.

### Integridade das membranas

O grau de integridade das membranas foi estimado pelo vazamento de eletrólitos ou vazamento de  $K^+$ . Foram coletados 100 mg de massa fresca de raízes de cada repetição sendo estes colocados em tubos de ensaio com 10 mL de água deionizada e incubadas em banho-maria à temperatura de 25 °C durante 24 horas. Em seguida, a condutividade ( $\mu S m^{-1}$ ) ou vazamento de  $K^+$  (ppm) do extrato ( $L_1$ ) foi determinada em condutivímetro ou fotômetro de chama, e os mesmos segmentos de raízes colocados novamente em banho-maria à temperatura de 100 °C, por 1 h. Após alcançada a temperatura ambiente, fez-se uma leitura ( $L_2$ ) de condutividade ( $\mu S m^{-1}$ ) ou  $K^+$  (ppm) do extrato. O percentual de danos das membranas foi estabelecido pela seguinte relação:  $\%DM = (L_1/L_2) \times 100$ .

### Delineamento estatístico e análise dos resultados

Os tratamentos foram dispostos em arranjos em delineamento inteiramente casualizados utilizando o clone CCP 06 e tratamento com cinco doses de NaCl (100; 200; 300; 400mM e a dose controle), com três repetições. Além do fatorial 2 x 5, com duas doses de NaCl (200 mM e a dose controle) e (0; 12; 24; 36 e 48 h), com três repetições, com uma planta individual ou raízes por repetição. Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente com base na análise de tendência das médias através de curvas ajustadas por regressão linear e polinomial.

## Resultados e discussão

### Acúmulo de Íons em raízes e de plântulas expostas à salinidade

O aumento do nível de NaCl externo induziu acúmulos significativos de  $Na^+$  em raízes de plântulas. O aumento da absorção de  $Na^+$  foi quadrático com o incremento nos níveis de NaCl exógeno, chegando no nível mais elevado de NaCl, a acréscimos de 600% em relação ao controle (ausência de NaCl) (Figura 1A).

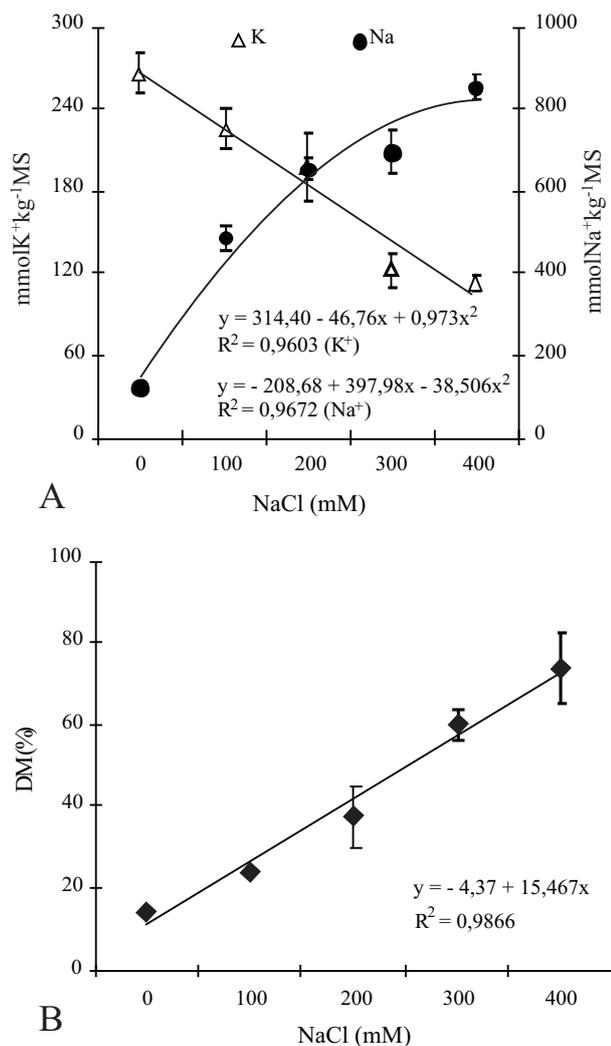
O conteúdo de  $K^+$  em raízes de plântulas foi significativamente reduzido com o aumento da dose de NaCl, atingindo valores da ordem de 60% menor, comparado ao controle (Figura 1A).

Quando as raízes foram submetidas à concentração de 200 mM de NaCl no meio externo, foi observado o mesmo padrão de absorção de  $Na^+$  nas raízes de plântulas, onde logo nas primeiras 12 horas de contato com o NaCl, a absorção é quadrática chegando a níveis de 400% de acréscimos em relação ao controle e chegando a saturação com um acréscimo de 500% em 24 horas de exposição ao sal (Figura 2B).

O conteúdo de  $K^+$  em raízes de plântulas intactas foi significativamente reduzido na presença de NaCl, onde se observou decréscimos em relação ao controle de 30% logo nas primeiras 12 horas, chegando a uma redução de 50% no final das 48 horas de exposição. (Figura 2A).

Foram observada perdas significativas da integridade das membranas de forma linear, tanto com o aumento no nível de NaCl externo, quanto com o aumento do tempo de exposição ao NaCl, atingindo em média 80% de danos em relação aos controles (Figura 1B e 2C).

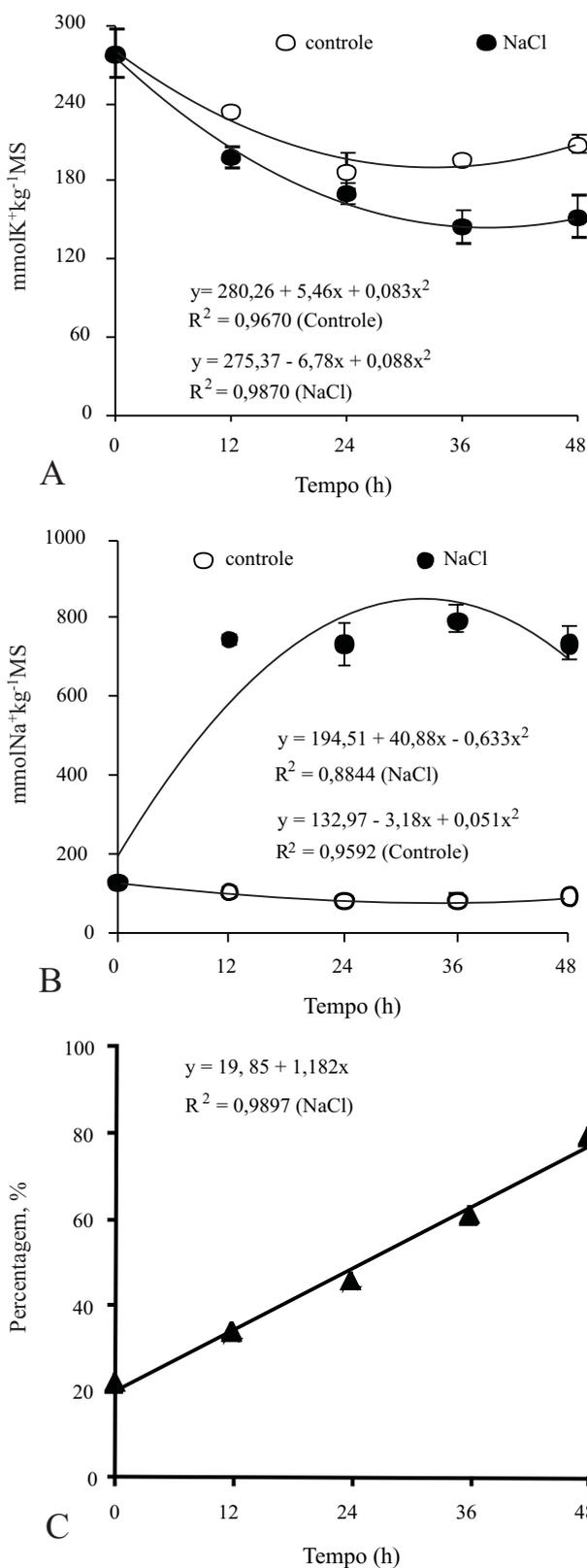
Conforme observado na Figura 3 pode-se verificar que a exposição das plântulas a 200 mM de NaCl externo por 48 horas induziu acúmulos significativos de  $Na^+$



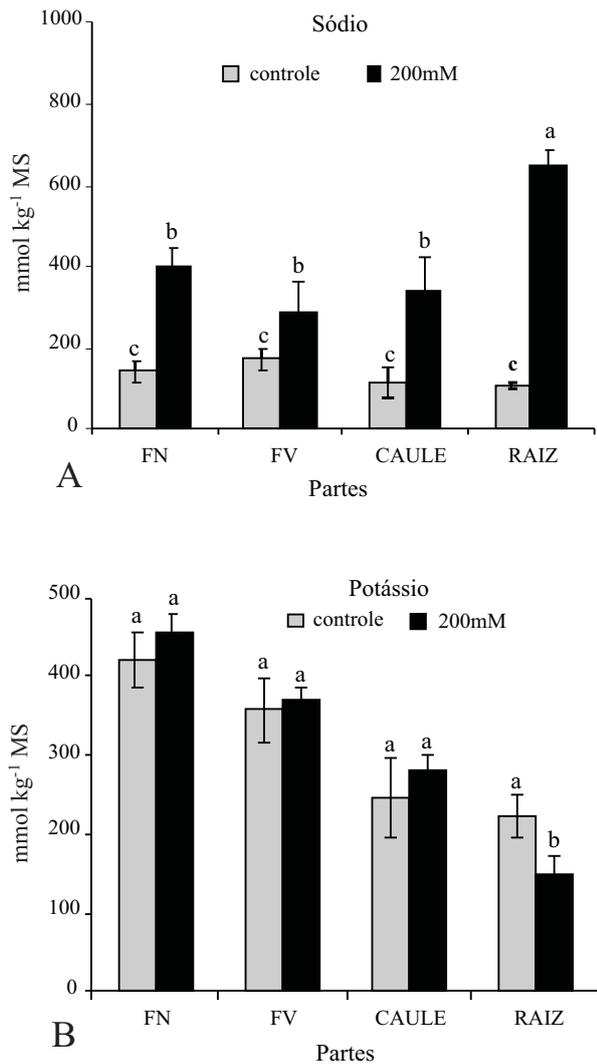
**Figura 1** - Conteúdo de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> em Raízes de Plântulas Intactas (A) e Vazamento de eletrólitos (B) de plântulas de cajueiro-anão precoce, clone CCP 06, expostas a níveis crescentes de NaCl durante 48 horas

nas diferentes partes da plântula. O acúmulo de Na<sup>+</sup> foi significativamente maior em raízes, seguido por uma distribuição homogênea na parte aérea. Nas raízes, caules, folhas velhas (FV) e folhas novas (FN), respectivamente o acúmulo de Na<sup>+</sup> chegaram a níveis de 500%, 200%, 140% e 170% de acréscimos em relação às plantas controle (Figura 3A).

O Na<sup>+</sup> acumulou-se preferencialmente nas raízes, sendo um indicativo de exclusão de Na<sup>+</sup> para a parte aérea da planta ou simplesmente por causa de ser o primeiro órgão de contato com o agente estressante. Em glicófitas crescendo em meios expostos a altos níveis de sais, existe uma nítida diferença nos conteúdos de Na<sup>+</sup> entre as



**Figura 2** - Conteúdo de K<sup>+</sup> (A), Na<sup>+</sup> (B) e Vazamento de eletrólitos (C) em raízes de plântulas inteiras de cajueiro-anão precoce, clone CCP 06, expostas a 0 (controle) e 200 mM de NaCl durante 48 horas



**Figura 3** - Conteúdo de Na<sup>+</sup> (A) e K<sup>+</sup> (B) nas diversas partes de plântulas de cajueiro-anão precoce, clone CCP 06, expostas a 0 (controle) e 200 mM de NaCl durante 48 horas

partes da planta, onde tecidos de folhas velhas acumulam quantidades significativamente maiores do que em folhas jovens (GREENWAY; MUNNS, 1980). Tal fenômeno tem sido atribuído a uma provável combinação entre o rápido crescimento e a baixa transpiração em folhas jovens em expansão e a uma continuada absorção e baixa reciclagem de Na<sup>+</sup> pelas folhas velhas, sendo que a restrição da acumulação de Na<sup>+</sup> em folhas jovens pode ser importante para resistência ao sal em glicófitas (BROADLEY; WHITE, 2001).

O acúmulo diferencial dos íons salinos em diferentes partes da planta tem sido considerado, em algumas espécies, um provável mecanismo de evitar os efeitos tóxicos desses íons em outros órgãos,

principalmente, em folhas. Jesch et al. (2001), trabalhando com porta enxerto de *Rosa chinensis* tolerante ao sal, observaram o acúmulo preferencial dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>, em raízes da linhagem tolerante, enquanto que o inverso ocorreu em tecidos de folhas, estando essa diferença associada ao menor índice de área foliar com injúrias, 40% contra 90%, da linhagem tolerante e sensível, respectivamente, quando expostas a 30 mM de NaCl. García-sánchez et al. (2002) estudando o porta enxerto de citrus *Cleópatra mandarin*, tolerante ao sal, observaram que alta retenção dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas raízes reduziu os efeitos tóxicos destes na parte aérea das plantas, melhorando assim o desempenho das mesmas sob estresse salino.

O tratamento salino reduziu o conteúdo de K<sup>+</sup> em raízes e aumentou suavemente o conteúdo desse íon na parte aérea das plântulas, sendo esse aumento não significativo estatisticamente. Nas raízes, a redução foi de 40%, e caules, folhas velhas e folhas novas, respectivamente, tiveram acréscimos de 15%, 4% e 8% em relação às plantas controle (Figura 3B).

A Relação K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> nas diversas partes das plântulas controle ficaram na faixa de 2 (Tabela 1). A exposição ao NaCl reduziu esta relação nas diversas partes das plântulas, ficando em torno de 1 nas folhas e no caule, e nas raízes, abaixo de 1.

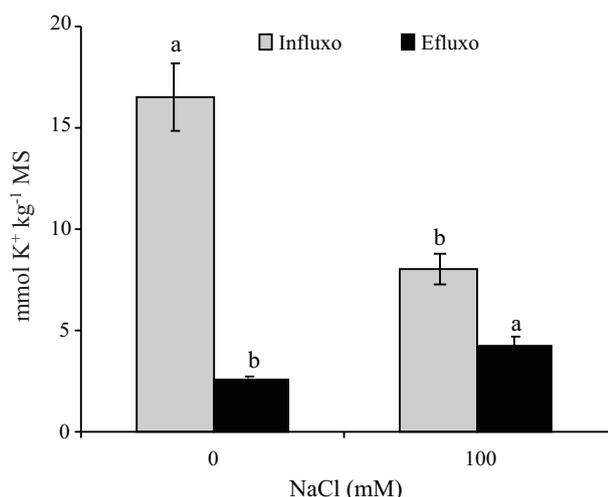
Quando as raízes foram incubadas com 100 μM de K<sup>+</sup> exógeno, por 1 hora, foi observado redução no influxo líquido de K<sup>+</sup> de 51% e aumento de efluxo de K<sup>+</sup> de 63% em relação aos seus respectivos controles (Figura 4).

Os efeitos adversos do excesso de Na<sup>+</sup> sobre a nutrição potássica podem ocorrer tanto na fase de absorção como no metabolismo celular. Durante a absorção os canais responsáveis pela absorção de K<sup>+</sup> podem permitir o influxo de Na<sup>+</sup> em um processo competitivo (XIONG; ZHU, 2002). O acúmulo deste elemento no citosol pode interagir com sítios de ligação específicos para K<sup>+</sup> em enzimas, e reduzir ou bloquear a atividade dessas proteínas, interferindo fortemente no metabolismo celular. Diversos relatos da literatura têm demonstrado que uma alta relação K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> nos tecidos vegetais é um elemento chave para resistência de plantas ao estresse salino (MAATHUIS; AMTMANN, 1999).

A redução do teor de K<sup>+</sup> nas raízes das plantas tem sido apontada com uma resposta comum em plantas submetidas ao estresse salino, podendo estar relacionada ao antagonismo entre Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> durante o processo de absorção (MARSCHNER, 1995). No entanto, resultados conflitantes têm sido encontrados em plantas de feijão-decorda (COSTA et al., 2003), tomate (ALIAN et al., 2000) e grama verde (MISRA et al., 2004), sendo observado acúmulo em alguns genótipos e redução em outros.

**Tabela 1** - Relação  $K^+/Na^+$  nas diversas partes de plântulas de cajueiro-anão precoce, clone CCP 06, expostas a 0 (controle) e 200 mM de NaCl por 48 horas

Tratamentos	Partes			
	Folhas Novas	Folhas Velhas	Caules	Raízes
Controle	2,94	2,06	2,17	2,05
NaCl	1,14	1,29	0,82	0,23

**Figura 4** - Efeito da concentração externa de NaCl sobre o influxo e efluxo líquido de  $K^+$ , na faixa de alta afinidade de absorção, em raízes de cajueiro. As raízes foram incubadas em meio contendo  $CaCl_2$  1,5 mM, KCl (100  $\mu$ M) e NaCl (100 mM e o controle na ausência de NaCl), pH 6,0, permanecendo por 60 minutos à 30 °C. Os pontos representam as médias e as linhas verticais, os desvios padrões de três repetições

A duração do estresse e a idade da planta podem produzir diferentes resultados e interpretações. Os resultados obtidos por Lacerda (2005) em sorgo com seis dias de estresse indicaram redução nos teores de  $K^+$ , enquanto no final do período experimental foi possível se observar acúmulo desse íon em resposta ao estresse salino. Este autor afirma ainda que é possível que essas diferenças nos teores de  $K^+$  estejam relacionadas com diferenças na re-translocação de  $K^+$ , a qual pode ser mais intensa nas plantas controle.

É preciso ficar claro que embora o excesso de  $Na^+$  reduza a absorção de  $K^+$ , esse efeito não ocorre de maneira uniforme em relação aos conteúdos desse último íon em todas as partes da planta (AZEVEDO NETO; TABOSA, 2000). Na verdade, tanto a distribuição de  $K^+$  quanto a de  $Na^+$  na parte aérea diferem entre controle e plantas sob estresse. De acordo com Lacerda

(2005), a distribuição de  $K^+$  nas plantas controle de sorgo e de feijão-de-corda foi nitidamente alterada com o tempo de cultivo, com tendência de queda na percentagem desse íon nas folhas e concomitantemente aumento nos caules, o que pode justificar parcialmente as discrepâncias apresentadas. Ainda segundo esse autor, acima de 60% do potássio acumulado na parte aérea das plantas estressadas permaneceu nas folhas, com tendência de leve incremento nas folhas de feijão-de-corda. A tendência inversa foi observada para o  $Na^+$  o que resultou em incrementos muito maiores na relação  $Na^+/K^+$  nos caules do que nos limbos foliares (LACERDA, 2005). Essas respostas sugerem a existência de mecanismos seletivos de retenção de íons e dão suporte à hipótese de que as plantas buscam um ajuste em relação às concentrações de  $Na^+$  e de  $K^+$ , podendo o primeiro contribuir principalmente para o ajustamento osmótico dos tecidos não fotossintetizantes (MUNNS; TESTER, 2008). Pode também ser sugerido que a redução na aquisição de alguns elementos minerais essenciais poderia não necessariamente resultar em prejuízo para as plantas, visto que algumas funções menos específicas deste nutriente poderiam ser realizadas por elementos benéficos obtidos em excesso devido a sua maior disponibilidade no solo. Isto significa que a planta pode conviver com uma redução no teor de  $K^+$ , mantendo, no entanto, uma relação  $K^+/Na^+$  em valores adequados, especialmente nos tecidos fotossintetizantes (MUNNS; TESTER, 2008).

No conjunto, os resultados evidenciam que as reduções nas concentrações de  $K^+$  causadas pelo excesso de NaCl são causadas principalmente pelo aumento no efluxo de  $K^+$  devido aos danos de membranas e diminuição no influxo, por inibição no sistema de alta e baixa afinidade de  $K^+$ . Uma menor contribuição se deve à migração desse nutriente das raízes para a parte aérea sob condições de salinidade, onde esse soluto atuaria como componente osmótico, auxiliando na manutenção do turgor celular e absorção de água durante o estresse.

Em feijão caupi, o incremento de  $Na^+$  exógeno aumentou o carregamento de  $K^+$  para o xilema em 45%, indicando o estímulo do carregamento de  $K^+$  pelo  $Na^+$  (VOIGT, 2008). O estresse salino apresenta efeito similar em outras dicotiledôneas. A exposição de plantas de *L. albus* a NaCl 40 mM por 15 dias (JESCHKE et

al., 1986) e de plantas de soja a NaCl 25 mM por 6 dias (DURAND; LACAN, 1994) acarretou aproximadamente 50% de acréscimo no carregamento do K<sup>+</sup> no xilema. Plantas de feijão comum mantidas a 75 mM por 4 dias apresentaram aumento de 40% no carregamento de K<sup>+</sup> no xilema (CABOT et al., 2005). Cultivares de tomate mantidas por 75 mM por 5 dias apresentaram aumentos no carregamento de K<sup>+</sup> para o xilema na ordem de 100% (FERNÁNDEZ-GARCÍA et al., 2002). Essas evidências mostram que as dicotiledôneas apresentam mecanismos de transporte na interface simplasto radícula-xilema, que aumentam o aporte de K<sup>+</sup> na seiva sob estresse salino.

Considerando que as dicotiledôneas apresentam habilidade limitada para excluir Na<sup>+</sup> da seiva, é possível que o aumento de Na<sup>+</sup> no xilema atue como sinal para incrementar o carregamento de K<sup>+</sup>. Esse mecanismo poderia compensar o aumento de Na<sup>+</sup> pelo aumento de K<sup>+</sup> no xilema, conservando uma alta relação K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> na seiva. Como consequência, a transferência de K<sup>+</sup> para a parte aérea continuaria sendo maior que a de Na<sup>+</sup> mesmo sob estresse salino, evitando a toxicidade de Na<sup>+</sup> nas folhas pela manutenção de uma elevada relação K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> nos tecidos fotossintéticos. Em plantas de feijão caupi e soja submetidas ao NaCl, a relação K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> na seiva manteve-se acima de 1 (VOIGT, 2008). Uma relação K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> próxima de 1 é considerado o valor mínimo necessário para manter as funções metabólicas dependentes de K<sup>+</sup> e máxima resistência a concentrações de Na<sup>+</sup> (MAATHUIS; AMTMANN, 1999).

## Conclusão

As reduções nas concentrações de K<sup>+</sup> provocadas pelo excesso de NaCl são causadas, principalmente pelo aumento no efluxo de K<sup>+</sup> devido aos danos de membranas e diminuição no influxo.

## Referências

- ALVES, F. A. L. et al. G. Clones de cajueiro-anão precoce expostos ao estresse salino e ao acúmulo de potássio e sódio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 03, p. 422-428, 2008.
- ALIAN, A. et al. Genotypic difference in salinity and water stress tolerance of fresh market tomato cultivars. **Plant Science**, v. 152, p. 59-65, 2000.
- APSE, M. P.; BLUMWALD, E. Na<sup>+</sup> transport in plants. **FEBS Letters**, v. 581, p. 2247-2254, 2007.
- AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: parte ii. Distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 165-171, 2000.
- BLUMWALD, E. et al. Sodium transport in Plant cells. **Biochimics and Biophysics Acta**, v. 1465, p. 140-151, 2000.
- BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J. Chloride in Soils its uptake and movement within then plant: A Review. **Annals of Botany**, v. 88, p. 967-988, 2001.
- CABOT, C. et al. Relation between xylem ion concentration and bean growth responses to short-term salinisation in spring and summer. **Journal of Plant Physiology**, v. 162, p. 327-334, 2005.
- COSTA, P. H. A. et al. Crescimento e níveis de soluto orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidas à salinidade. **Revista Brasileira de Botânica**, v.26, p. 289-297, 2003.
- DURAND, M.; LACAN, D. Sodium partitioning within the shoot of soybean. **Physiologia Plantarum**, v. 91, p. 65-71, 1994.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**, 2. ed. Londrina, 2006. 401p.
- FERNÁNDEZ-GÁRCIA, N. et al. Water and nutrient uptake of grafted tomato plants grown under saline conditions. **Journal of Plant Physiology**, v. 159, p. 899-905, 2002.
- GARCÍA-SANCHEZ, F. et al. Gás exchange, chlorophyll and nutrient contents in relation to Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> accumulation in “Sunburst” mandarin grafted on different rootstocks. **Plant Science**, v. 162, p. 705-712, 2002.
- GIERTH, M.; MASER, P. Potassium transporters in plants – Involvement in K<sup>+</sup> acquisition, redistribution and homeostasis. **FEBS Letters**, v. 581, p. 2348-2356, 2007.
- GREENWAY, H.; MUNNUS, R. Mechanisms of salt tolerance in non halophytes. **Annual Review Plant Physiology**, v. 31, p. 149-190, 1980.
- HOAGLAND, D. R., ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soil**. Berkeley : University of California. 31 (Circular, 347), 1950.
- HORIE, T.; SCHROEDER, J. I. Sodium transporters in Plants. Diverse Genes and Physiological Functions. **Plant Physiology**, v. 136, p. 2457-2462, 2004.
- JESCH, H. H. et al. Mechanisms of salt stress tolerance in two rose rootstocks: *Rosa chinensis* “Major” and *R. rubiginosa*. **Scientia Horticulturae**, v. 87, p. 207-216, 2001.
- JESCHKE, W. D. et al. Effects of NaCl salinity on growth, development, ion transport and ion storage in white lupin (*Lupinus albus* L. cv. Ultra). **Journal of Plant Physiology**, v. 124, p. 257-274, 1986.
- LACERDA, C. F. Interação salinidade x Nutrição Mineral. In: **Estresses ambientais danos e benefícios em plantas**. 1. ed. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco –UFRPE, 2005. p. 127-137.

- MAATHUIS, F. J. M.; AMTMANN, A. K<sup>+</sup> Nutrition and Na<sup>+</sup> Toxicity: Bases of Cellular K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> Ratios. **Annals of Botany**, v. 84, p.123-133, 1999.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2<sup>o</sup> ed. London: Academic Press, 1995, 889p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5. Ed. Dordrecht: Netherlands, 2001. 849 p.
- MISRA, N.; DWIVEDI, U. N. Genotypic difference in salinity tolerance of green gram cultivars. **Plant Science**, v.166, p. 1135-1142, 2004.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annals Rev. Plant Biology**, v. 59, p. 651-681, 2008.
- SCHACHTMAN, D.; LIU, W. Molecular pieces to the puzzle of the interaction between potassium and sodium uptake in plants. **Trends Plant Science**, v. 4, p. 281-287, 1999.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. Ed. Porto Alegre, 2004. 719p.
- VIÉGAS, R. A. SILVEIRA, J. A. G. Ammonia assimilation and proline accumulation in young cashew plants during long term exposure to NaCl-salinity. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Viçosa, v.11, n. 3, p. 153-159, 1999.
- VIÉGAS, R. A. et al. Effect of NaCl-salinity on growth and inorganic solute accumulation in young cashew plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 5, n. 2, p. 216-222, 2001.
- VOIGT, E. L. **Transporte e homeostase Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> sob condições de sodicidade em feijão caupi**. 2008. 124 p. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- XIONG, L.; ZHU J.-K. Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 131-139, 2002.