



Revista Ciência Agronômica

ISSN: 0045-6888

ccarev@ufc.br

Universidade Federal do Ceará  
Brasil

Lemos Alves, Francisco Abel; Ferreira-Silva, Sérgio Luiz; Batista Dutra Araújo, Antônia Tathiana;  
Arcanjo Pereira, Vanda Lúcia; Gomes da Silveira, Joaquim Albenísio  
Cinética de absorção de  $K^+$  na ausência e presença de  $Na^+$  em raízes de cajueiro  
Revista Ciência Agronômica, vol. 43, núm. 3, julio-septiembre, 2012, pp. 439-445  
Universidade Federal do Ceará  
Ceará, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195322286004>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## Cinética de absorção de $K^+$ na ausência e presença de $Na^+$ em raízes de cajueiro<sup>1</sup>

Kinetics of  $K^+$  absorption in the absence and presence of  $Na^+$  in roots cashew tree

Francisco Abel Lemos Alves<sup>2</sup>, Sérgio Luiz Ferreira-Silva<sup>3</sup>, Antônia Tathiana Batista Dutra Araújo<sup>3</sup>, Vanda Lúcia Arcanjo Pereira<sup>4</sup> e Joaquim Albenísio Gomes da Silveira<sup>3\*</sup>

**RESUMO** - Um dos efeitos da salinidade causado por excesso de  $Na^+$  nos solos é a redução dos níveis de  $K^+$  nos tecidos vegetais. O trabalho objetivou caracterizar as vias de absorção de  $K^+$  de alta e baixa afinidade em raízes de cajueiro na ausência e presença de concentrações de  $Na^+$ . Os estudos de cinética de absorção de  $K^+$  na ausência e presença de NaCl foram realizados com raízes destacadas de plântulas de cajueiro cultivadas sob privação de  $K^+$ . O excesso de  $Na^+$  no meio externo causou redução da absorção de  $K^+$  pelos sistemas de alta e de baixa afinidade. A redução da absorção de  $K^+$ , causada pelo excesso de  $Na^+$  no meio, nas raízes de cajueiro ocorre por mecanismo competitivo. Esse tipo de competição foi evidenciado pelo aumento dos valores de  $K_m$  para a absorção de  $K^+$  induzido pelo  $Na^+$  externo, sem alterar os valores de  $V_{máx}$ . Os resultados mostram que a salinidade pode comprometer a aquisição e a utilização de  $K^+$  em plantas de cajueiro.

**Palavras-chave:** Cajú. Plantas-efeito do sal. Plantas-efeito do potássio.

**ABSTRACT** - One effect of the salinity caused by an excess of  $Na^+$  in soils, is the reduction in levels of  $K^+$  in plant tissue. The study aimed to characterize the process of high and low-affinity absorption of  $K^+$  in cashew roots, in both the absence and presence of concentrations of  $Na^+$ . Studies of the kinetics of  $K^+$  absorption in the absence and presence of NaCl were carried out using detached roots from cashew seedlings grown under  $K^+$  deprivation. The excess of  $Na^+$  in the external environment caused a reduction in  $K^+$  absorption by both the high and low-affinity systems. The reduction in the absorption of  $K^+$  in the roots of the cashew tree, caused by the excess  $Na^+$  in the environment, happens through competitive means. This type of competition was evidenced by the increase in  $K_m$  values for the  $K^+$  absorption induced by the external  $Na^+$ , without changing the values of  $V_{max}$ . The results show that salinity may affect the acquisition and use of  $K^+$  in cashew plants.

**Key words:** Cashew. Plants-effect of salt. Plants-effect of potassium.

\* Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 02/10/2010; aprovado em 13/01/2012

Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, CC/UFC

<sup>2</sup>Instituto Agronômico de Pernambuco-IPA, Escritório Municipal de Pedra, Rua Major Lourenço Diniz, 111, Centro, Pedra-PE, Brasil, 55.280-000, abel.alves@ipa.br

<sup>3</sup>Laboratório de Metabolismo do Estresse em Plantas, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, agrosorgol@yahoo.com.br; tathianadutra@yahoo.com.br; silveira@ufc.br

<sup>4</sup>Instituto Agronômico de Pernambuco-IPA, Estação Experimental de Arcoverde, Arcoverde-PE, Brasil, vanda.arcanjo@ipa.br

## INTRODUÇÃO

A salinidade dos solos é um dos principais fatores ambientais que limita a produtividade agrícola. O aumento do conteúdo de  $\text{Na}^+$  no tecido foliar pode afetar processos fisiológicos e bioquímicos dependentes de  $\text{K}^+$ , como a abertura estomática, a fotossíntese, a respiração e a síntese de proteínas, devido à similaridade físico-química entre esses dois íons (APSE; BLUMWALD, 2007). Esses distúrbios são reflexos da toxicidade iônica e estão associados com alterações nas proporções de nutrientes no tecido, principalmente na razão  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ , que afetam a homeostase iônica celular (ZHU, 2003).

Além de causar toxicidade iônica, concentrações elevadas de  $\text{Na}^+$  no meio de crescimento podem restringir a absorção de  $\text{K}^+$  pelo sistema radicular (FERREIRA-SILVA *et al.*, 2008), comprometendo as funções metabólicas desse nutriente (AMORIM *et al.*, 2010). A restrição da absorção de  $\text{K}^+$  em raízes sob salinidade está relacionada aos sistemas de transporte de  $\text{K}^+$  na plasmalema (MARTINEZ-CORDERO; MARTINEZ; RUBIO, 2005). O influxo de  $\text{K}^+$  nas células ocorre por dois sistemas específicos, denominados de alta e de baixa afinidade (MAATHUIS; SANDERS, 1994). O sistema de baixa afinidade é responsável pela absorção de  $\text{K}^+$  em meios em que a concentração de  $\text{K}^+$  é relativamente elevada (faixas de mM), enquanto que o de alta afinidade é responsável pela absorção em baixas concentrações (faixa de  $\mu\text{M}$ ) de potássio (EPSTEIN; RAINS; ELZAM, 1963).

Por sua vez, o influxo do  $\text{Na}^+$  na célula ocorre principalmente por canais de cátions não seletivos (TESTER; DAVENPORT, 2003), mas pode competir pelos sistemas de absorção de  $\text{K}^+$ , principalmente com aquele de alta afinidade (MÁSER *et al.*, 2002; ZHU, 2003). O influxo de  $\text{Na}^+$  pelo sistema de alta afinidade para a absorção de  $\text{K}^+$  ocorre devido à similaridade do raio iônico desses dois cátions (ZHU, 2003), e representa uma das bases da toxicidade iônica da salinidade para as plantas (MAATHUIS; AMTMANN, 1999). Embora o sistema de alta afinidade possua uma maior seletividade  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  durante a absorção, em meios com concentração elevada de  $\text{Na}^+$  essa via pode permitir significativo influxo de  $\text{Na}^+$  (ZHU, 2003).

Sob condições fisiológicas normais, a concentração citosólica de  $\text{K}^+$  na célula vegetal é de cerca de 150 mM (HIGINBOTHAM, 1973), enquanto a concentração de  $\text{Na}^+$  é relativamente baixa (1–10 mM) (CARDEN *et al.*, 2003). No entanto, a acumulação excessiva de  $\text{Na}^+$  no citosol (ZHU, 2000) pode levar à redução significativa da relação  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ , o que está diretamente associada com a sensibilidade ao estresse

(DASGAN *et al.*, 2002). A perda de  $\text{K}^+$  celular induzida pela salinidade é resultado de uma despolarização da membrana e ativação de canais associados com o efluxo de  $\text{K}^+$  da célula (SHABALA *et al.*, 2003).

O conteúdo de  $\text{K}^+$  em raízes de plântulas de cajueiro é severamente reduzido sob condições de salinidade, o que ocorre associado a uma forte restrição do crescimento desse órgão (PONTE *et al.*, 2011). Essa restrição de crescimento da raiz imposta pelo estresse salino também está associado com aumento da relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , indicando desbalanço nutricional (PONTE *et al.*, 2011). Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da salinidade, induzida por NaCl, nas vias de absorção de baixa e de alta afinidade de potássio em raízes de cajueiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

As plântulas de cajueiro foram obtidas em casa de vegetação do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE. No interior da casa de vegetação, a temperatura variou de 28 a 36 °C durante o dia, e de 24 a 27 °C durante a noite, e a umidade relativa do ar variou de 40 a 80%. A radiação fotossintética ativa máxima foi de aproximadamente 1.200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , mensurada com um “quantum sensor” acoplado a um porômetro (LI-1600 steady state porometer, Li-Cor, USA).

Sementes de cajueiro anão-precoce (*Anacardium occidentale* L.), clone CCP 06, foram desinfetadas em solução de hipoclorito de sódio comercial a 10% (v/v) durante 10 minutos, seguido de lavagem com água destilada para remover os resíduos do esterilizante. Após a lavagem, as sementes foram embebidas em água destilada por 24 horas e em seguida foram semeadas em vermiculita, em vasos de 800 mL, e irrigadas diariamente com água destilada por 30 dias. Para os ensaios de cinética de absorção de  $\text{K}^+$  as plântulas foram pré-expostas por 15 dias à solução nutritiva com restrição de  $\text{K}^+$ . Essa estratégia foi utilizada visando aumentar a capacidade de absorção de  $\text{K}^+$  pelas raízes durante os ensaios de curto tempo (100 minutos).

Aos 30 dias após o plantio, plântulas homogêneas (com oito folhas expandidas) foram transferidas para sistema de crescimento hidropônico, em vasos de 900 mL, contendo solução nutritiva sem potássio, com a seguinte composição:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  750  $\mu\text{M}$ ;  $\text{NH}_4\text{Cl}$  250  $\mu\text{M}$ ;  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  62,5  $\mu\text{M}$ ;  $\text{MgSO}_4$  125  $\mu\text{M}$ ;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  10  $\mu\text{M}$ ;  $\text{MnCl}_2$  2,25  $\mu\text{M}$ ;  $\text{CuSO}_4$  0,75  $\mu\text{M}$ ;  $\text{ZnMoO}_4$  1,75  $\mu\text{M}$ ;  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  0,025  $\mu\text{M}$  e Fe-EDTA 25  $\mu\text{M}$ , com pH 6,0. O volume da solução foi completado diariamente com água destilada ao final

da tarde, e a solução foi trocada a cada cinco dias. As plântulas permaneceram por 15 dias sob essas condições de cultivo e não apresentaram nenhum sintoma visível de deficiência de  $K^+$  durante esse período.

Os experimentos de cinética para a absorção de  $K^+$ , na ausência e presença de  $NaCl$ , foram realizados utilizando raízes isoladas (destacas) das plântulas. Para esses ensaios, as raízes foram destacadas das plântulas e imediatamente imersas em solução de  $CaCl_2$  1,5 mM, em temperatura ambiente durante 20 minutos. Em seguida, as raízes foram transferidas para Balão de Erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL de solução de  $CaCl_2$  1,5 mM, contendo diferentes concentrações de  $NaCl$  e  $KCl$ , conforme ensaios descritos abaixo. Todos os ensaios foram realizados em banho-maria à temperatura de 30 °C, e os meios líquidos utilizados nos ensaios foram tamponados com tampão MES 1,0 mM e TRIS 0,5 mM em pH 6,0. As concentrações de  $K^+$  foram determinadas em fotômetro de chama e estimadas utilizando curva padrão de  $KCl$ . Os dados de absorção foram utilizados para estimar as constantes cinéticas  $V_{máx}$  e  $K_m$  pelo modelo de Michaelis-Menten, seguido da transformação linear pelo método de Lineweaver-Burk (gráfico duplo recíproco, pela relação entre  $1/[K^+]$  do meio *versus*  $1/\text{absorção de } K^+$ ).

Foram realizados cinco ensaios para caracterizar a absorção de  $K^+$  na ausência e presença de  $Na^+$ , usando  $KCl$  (fonte de  $K^+$ ) e  $NaCl$  (fonte de  $Na^+$ ). A redução da concentração de  $K^+$  nos meios de incubação foi monitorada em cada ensaio pela medida da concentração de  $K^+$  em alíquotas retiradas dos meios de incubação. Os dados foram utilizados para caracterizar o padrão cinético de absorção de  $K^+$  pelas raízes nos diferentes ensaios. No primeiro ensaio foi avaliada a capacidade de absorção de  $K^+$  pelas raízes, pela incubação da raiz ( $\pm 3,0$  g de massa fresca) em meio contendo  $K^+$  100  $\mu M$  por 100 minutos. No segundo ensaio foi avaliada a cinética de absorção de  $K^+$  em concentrações na faixa de absorção do sistema de alta afinidade. As raízes foram incubadas em concentrações crescente de  $K^+$  (0; 10; 20; 30; 40; 50  $\mu M$  de  $KCl$ ), faixa de alta afinidade, por 60 minutos.

No terceiro ensaio as raízes foram expostas a concentrações crescentes de  $K^+$  (0; 100; 200; 400; 600; 800; 1000  $\mu M$  de  $KCl$ ) na ausência e presença de  $NaCl$ , dentro da faixa de absorção de alta afinidade, por 60 minutos. No quarto ensaio foi avaliado o efeito do  $K^+$  do meio na redução de absorção de  $Na^+$ , pela incubação das raízes em concentrações crescentes de  $NaCl$  (0; 25; 50; 75; 100 mM) na presença de  $KCl$  100  $\mu M$ , por 100 minutos. No quinto ensaio foi avaliada a restrição induzida pelo  $Na^+$  na absorção de  $K^+$  nas raízes na faixa de absorção de baixa afinidade por  $K^+$ . As raízes foram submetidas a níveis crescentes de  $K^+$  (0; 2; 4; 6; 8 e 10

mM de  $KCl$ ), faixa de baixa afinidade, na ausência e presença de  $NaCl$  100 mM por 60 minutos.

Os cinco ensaios foram realizados em delineamento inteiramente casualizado com três repetições por tratamento, com cada repetição representada pelo meio de incubação contendo uma raiz ( $\pm 3,0$  g de massa fresca planta<sup>-1</sup>). Os resultados foram analisados estatisticamente com base na análise de tendência das médias, através de curvas ajustadas por regressão polinomial, e a análise de variância pelo teste de Durbin-Watson em 1% de significância. O desenho experimental de cada ensaio foi realizado conforme descrição a seguir.

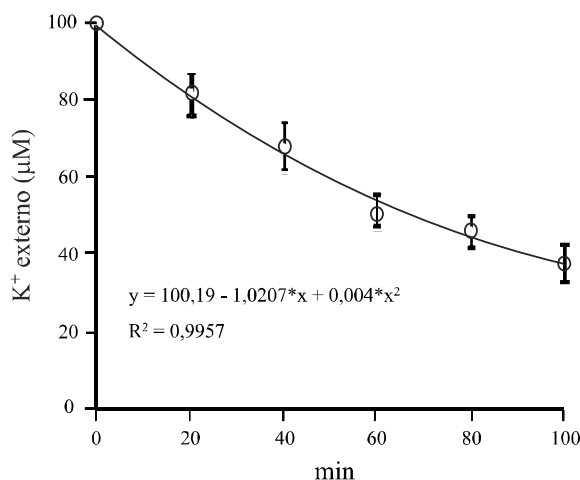
No primeiro ensaio os tratamentos consistiram de seis tempos de incubação em  $KCl$  100  $\mu M$  (seis tratamentos). No segundo ensaio as raízes foram incubadas em 0; 10; 20; 30; 40; 50  $\mu M$  de  $KCl$  (seis tratamentos). O terceiro ensaio foi realizado em fatorial  $2 \times 7$ , dois níveis de  $NaCl$  (0 e 100 mM) e sete níveis de  $KCl$  (0; 100; 200; 400; 600; 800 e 1.000  $\mu M$ ), com quatorze tratamentos. No quarto ensaio, os tratamentos consistiram de um nível de  $KCl$  (100  $\mu M$ ) e cinco de  $NaCl$  (0, 25; 50; 75; 100 mM), com cinco tratamentos, e o quinto ensaio foi em fatorial  $2 \times 6$ , dois níveis de  $NaCl$  (0 e 100 mM) e seis níveis de  $KCl$  (0; 2; 4; 6; 8 e 10 mM), com doze tratamentos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As raízes destacadas de plântulas de cajueiro, cultivadas sob privação de potássio, apresentaram significativa absorção de  $K^+$  do meio de incubação, promovendo uma redução de 60% da concentração inicial (100  $\mu M$ ) em apenas 100 minutos (Figura 1). A quantidade de  $K^+$  absorvida pelo tecido radicular nesse intervalo de tempo aumentou progressivamente e atingiu valores máximos de 19  $\mu mol\ g^{-1}\ MS$  a partir dos 80 minutos (Figura 5). Resultados similares foram obtidos com raízes de plantas de cevada (SANTA-MARÍA; DANNA, CZIBENER, 2000), de trigo (SANTA-MARÍA; EPSTEIN, 2001), de arroz (BAÑUELOS *et al.*, 2002), de pimenta (MARTÍNEZ-CORDERO; MARTINEZ; RUBIO, 2005), de tomate (NIEVES-CORDONES *et al.*, 2007), de eucalipto (LIMA *et al.*, 2005), de milho (HORN *et al.*, 2006) e feijão Caupi (VOIGT, 2008), onde as mesmas foram capazes de absorver significativas quantidades de  $K^+$  do meio externo.

Esse ensaio de absorção utilizando uma concentração de  $K^+$  na faixa de absorção de alta afinidade (100  $\mu M$ ) demonstra a atividade desse sistema

**Figura 1** - Redução da concentração de  $K^+$  no meio de incubação devido à absorção pelas raízes isoladas em diferentes tempos de incubação durante 100 minutos. A concentração inicial de  $K^+$  no meio de incubação foi de 100  $\mu M$  e a redução de concentração durante o ensaio foi obtida por medidas da concentração  $K^+$  em alíquotas coletadas a cada 20 minutos. Os dados representam médias de três repetições. \* Coeficientes significativos a 1



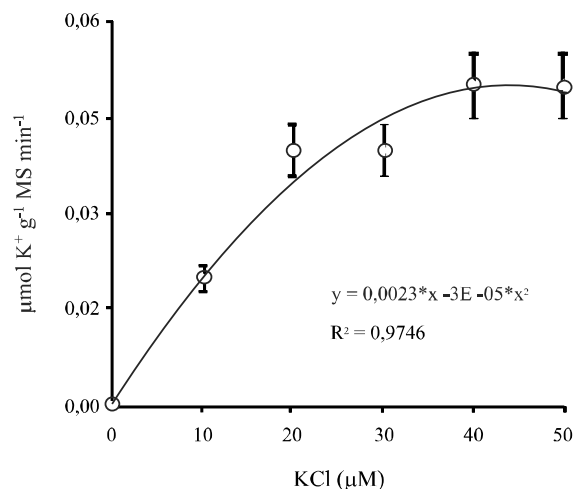
para o influxo de  $K^+$ , e mostra que as raízes destacadas representam um bom modelo para o estudo de absorção de  $K^+$ . Os dois ensaios de absorção utilizando duas faixas de concentração externa de  $K^+$  correspondentes a absorção de alta afinidade, uma com concentrações entre 0 e 50  $\mu M$  e outra variando de 0 a 1.000  $\mu M$  na ausência e presença de NaCl, foram utilizados para estimar as constantes cinéticas  $V_{\max}$  e  $K_m$  (Figura 2 e 3). Os valores de  $V_{\max}$  e  $K_m$  calculados na ausência do NaCl pelo modelo Michaelis-Menten foram de 0,093  $\mu mol\ g^{-1}\ MS\ min^{-1}$  e 35  $\mu M$ , faixa de 0 a 50  $\mu M$ , e de 0,87  $\mu mol\ g^{-1}\ MS\ min^{-1}$  e 583  $\mu M$ , faixa de 0 a 1.000  $\mu M$ , respectivamente (Tabela 1).

Na presença do NaCl 100 mM no meio de incubação, a cinética de absorção de  $K^+$  pelas raízes na faixa de concentração de  $K^+$  entre 0 e 1.000  $\mu M$  revelou uma interferência do  $Na^+$  na absorção do  $K^+$  (Figura 3). A adição do  $Na^+$  no meio não causou mudanças na  $V_{\max}$  para a absorção de  $K^+$ , porém provocou um aumento de  $K_m$  de 583  $\mu M$  para 774  $\mu M$ , acréscimo de 32% (Tabela 1). Em seguida, a análise cinética da absorção de  $K^+$  na faixa de concentrações de  $K^+$  correspondente à baixa afinidade revelou que o excesso de  $Na^+$  no meio também afetou esse sistema de transporte. O aumento do conteúdo de  $K^+$  no tecido da raiz foi proporcional ao aumento da concentração de  $K^+$  no meio externo, na ausência e presença do NaCl (Figura 4). No entanto, na ausência do NaCl foi observado um acúmulo máximo

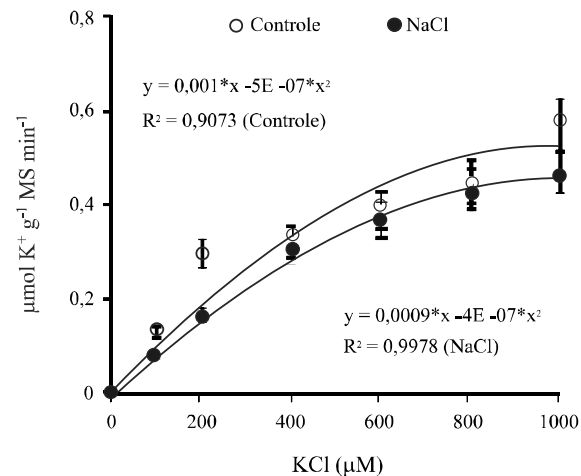
de 1,7  $\mu mol\ K^+\ g^{-1}\ MS$  após 60 minutos de incubação na presença de KCl 10 mM, enquanto na presença do NaCl 100 mM esse conteúdo foi de apenas 1,0  $\mu mol\ K^+\ g^{-1}\ MS$ , redução de 41% (Figura 4).

Os resultados obtidos demonstram claramente que a presença de NaCl no meio de crescimento pode

**Figura 2** - Absorção de  $K^+$  (influxo líquido) por raízes isoladas de cajueiro em resposta ao aumento da concentração de  $K^+$  no meio externo dentro de uma faixa correspondente ao sistema de absorção de alta afinidade para  $K^+$  (0-50  $\mu M$ ). Os dados representam médias de três repetições. \* Coeficientes significativos a 1%



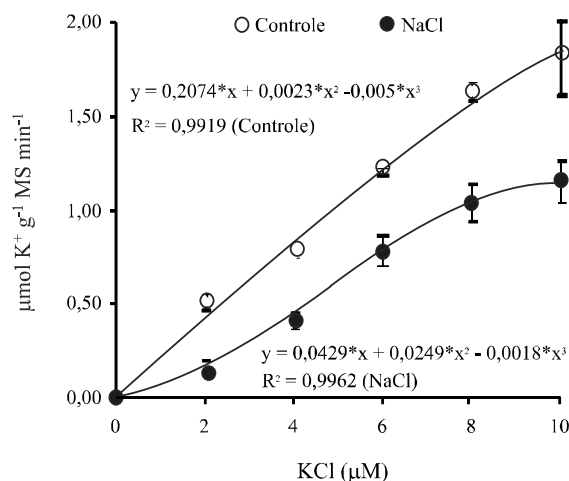
**Figura 3** - Efeito da concentração externa de  $K^+$  sobre o influxo líquido de  $K^+$ , na faixa de alta afinidade de absorção, na ausência e presença de NaCl, em raízes de plântulas de cajueiro, cultivadas sob privação de  $K^+$ . \* Coeficientes significativos a 1%



**Tabela 1** - Valores médios de  $K_m$  e  $V_{máx}$  estimados para a absorção de K<sup>+</sup> via sistemas de alta e de baixa afinidade para raízes isoladas de plântulas cajueiro, na ausência e presença de NaCl. As raízes utilizadas nos ensaios foram destacadas de plântulas pré-cultivadas sob privação de potássio durante 15 dias

KCl (Faixa)	NaCl (mM)	$V_{máx}$	$K_m$
0-50 $\mu$ M	0	0,093 $\mu$ mol g <sup>-1</sup> MS min <sup>-1</sup>	35 $\mu$ M
0-1000 $\mu$ M	0	0,87 $\mu$ mol g <sup>-1</sup> MS min <sup>-1</sup>	583 $\mu$ M
0-1000 $\mu$ M	100	0,84 $\mu$ mol g <sup>-1</sup> MS min <sup>-1</sup>	774 $\mu$ M
0-10 mM	0	3,19 $\mu$ mol g <sup>-1</sup> MS min <sup>-1</sup>	11 mM
0-10 mM	100	2,80 $\mu$ mol g <sup>-1</sup> MS min <sup>-1</sup>	12 mM

**Figura 4** - Efeito da concentração externa de K<sup>+</sup> sobre o influxo líquido de K<sup>+</sup>, na faixa de baixa afinidade de absorção, em raízes de cajueiro, cultivados sob privação de K<sup>+</sup>. \* Coeficientes significativos a 1%



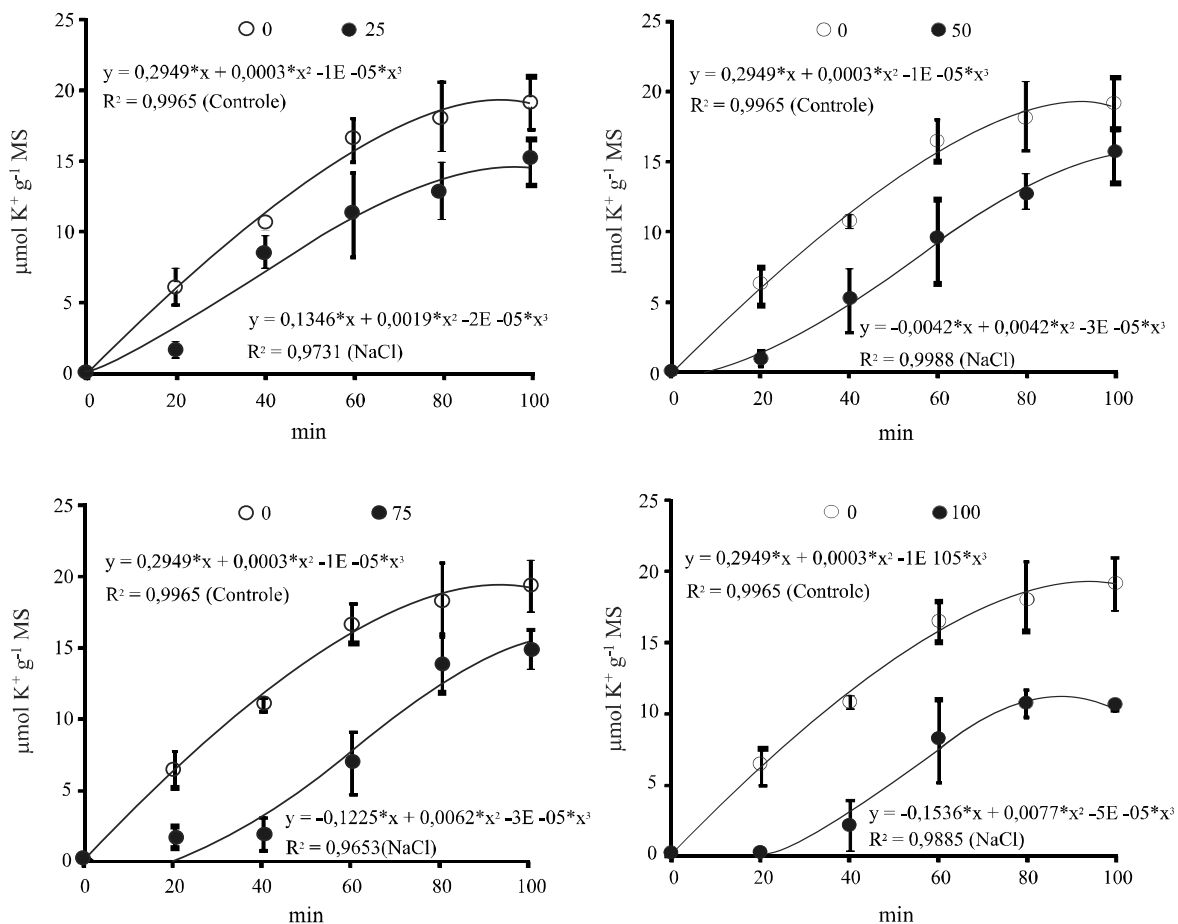
comprometer os sistemas de absorção de K<sup>+</sup> nas faixas de concentração de K<sup>+</sup> correspondentes aos sistemas de alta e de baixa afinidade. Esses resultados podem ainda explicar em parte a forte redução do conteúdo de K<sup>+</sup> em raízes de plantas de cajueiro quando cultivadas sob condições de salinidade (FERREIRA-SILVA *et al.*, 2008). Com relação à cinética de absorção de K<sup>+</sup> em concentrações correspondentes a faixa de absorção de baixa afinidade, os resultados mostram que a presença do Na<sup>+</sup> no meio não afetou a  $V_{máx}$  de absorção, porém levou a um aumento do valor de  $K_m$ , de 11 mM na ausência do NaCl para 12 mM na presença (Tabela 1). A restrição à absorção de K<sup>+</sup> pelas raízes em concentração de K<sup>+</sup> equivalentes ao sistema de alta afinidade foi proporcional ao aumento do NaCl no meio externo. A redução do influxo de K<sup>+</sup> foi mais

significativa nos primeiros 20 minutos, com reduções de 83; 70; 78 e 97%, para os tratamentos com NaCl 25; 50; 75 e 100 mM, respectivamente (Figura 5).

Valores aproximados de  $K_m$  aos obtidos aqui foram observados em milho, variando de 30 a 39  $\mu$ M (HORN *et al.*, 2006), e Arabidopsis, cerca de 44  $\mu$ M (FU; LUAN, 1998). Os valores ressaltados na literatura de  $K_m$  para a absorção de K<sup>+</sup> de alta afinidade, em diversas culturas, variaram entre 10 e 130  $\mu$ M (SZCZERBA, 2008). Em relação ao  $V_{máx}$  os valores encontrados na literatura variam de 0,03 a 34  $\mu$ mol g<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> (SZCZERBA, 2008). Os valores observados de 0,093 e 0,87  $\mu$ mol g<sup>-1</sup> MS min<sup>-1</sup>, são inferiores aos encontrados para pimenta, de 1,72  $\mu$ mol g<sup>-1</sup> MS min<sup>-1</sup> (MARTÍNEZ-CORDERO; MARTINEZ; RUBIO, 2005) e para arroz, de 3,2  $\mu$ mol g<sup>-1</sup> MS min<sup>-1</sup> (BAÑUELOS *et al.*, 2002). O valor observado de 0,87  $\mu$ mol g<sup>-1</sup> MS min<sup>-1</sup> também foi reportado para cultivares de trigo (SANTA-MARÍA; EPSTEIN, 2001) e milho (HORN *et al.*, 2006), valores próximos foram encontrados, de 1,0  $\mu$ mol g<sup>-1</sup> MS min<sup>-1</sup> para clones de eucaliptos (LIMA *et al.*, 2005) e de 1,39  $\mu$ mol g<sup>-1</sup> MS min<sup>-1</sup> para feijão caupi (VOIGT, 2008).

Os resultados do presente estudo indicam o tipo de inibição da absorção de K<sup>+</sup> desencadeada pelo Na<sup>+</sup>. Em ambos os casos, em baixa e alta afinidade, a presença do NaCl no meio de incubação não afetou a velocidade máxima de absorção ( $V_{máx}$ ), porém resultou em aumento dos valores de  $K_m$ . Esse padrão de alteração nas constantes cinéticas, com aumento de  $K_m$  sem alterar a  $V_{máx}$ , demonstra que o tipo de interferência exercida pelo Na<sup>+</sup> sobre ambos os sistemas de absorção de K<sup>+</sup> em raízes de cajueiro corresponde a uma inibição do tipo competitiva (LEHNINGER; NELSON; COX., 2006). Nesse tipo de inibição os dois íons (Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>) competem pelos sítios de ligação nas proteínas envolvidas com o transporte de K<sup>+</sup> na plasmalema de células da raiz.

**Figura 5** - Efeito das concentrações crescentes de NaCl externas sob o influxo líquido de  $K^+$ , na faixa de alta afinidade de absorção, em raízes de cajueiro, cultivados sob privação de  $K^+$ . \* Coeficientes significativos a 1%



## CONCLUSÕES

1. A salinidade reduz o conteúdo de  $K^+$  no sistema radicular de plântulas de cajueiro devido à restrição da absorção pelas raízes;
2. O excesso de  $Na^+$  no meio restringe a absorção de  $K^+$  pelos sistemas de alta e de baixa afinidade responsáveis pela absorção de  $K^+$  por mecanismo competitivo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa (FUNCAP) pelo apoio financeiro destinado ao desenvolvimento dessa pesquisa, e à EMBRAPA Agroindústria Tropical,

pelo fornecimento de parte do material vegetal (sementes) utilizado nesse estudo.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, A. V. *et al.* Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 113-121, 2010.
- APSE, M. P.; BLUMWALD, E.  $Na^+$  transport in plants. **FEBS Letters**, v. 581, n. 1, p. 2247-2254, 2007.
- BAÑUELOS, M. A. *et al.* Inventory and Functional Characterization of the HAK Potassium Transporters of Rice. **Plant Physiology**, v. 130, n. 2, p. 784-795, 2002.
- CARDEN, D. E. *et al.* Single cell measurements of the contributions of cytosolic  $Na^+$  and  $K^+$  to salt tolerance. **Plant Physiology**, v. 131, n. 2, p. 676-683, 2003.

- DASGAN, H. Y. *et al.* Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. **Plant Science**, v. 163, n. 4, p. 695-703, 2002.
- EPSTEIN, E.; RAINS, D. W.; ELZAM, O. E. Resolution of dual mechanisms of potassium absorption by barley roots. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 49, n. 5, p. 684-692, 1963.
- FERREIRA-SILVA, S. L. *et al.* Changes in physiological indicators associated with salt tolerance in two contrasting cashew rootstocks. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 1, p. 51-59, 2008.
- FU, H.; LUAN, S. AtKUP1: dual-affinity K<sup>+</sup> transporter from Arabidopsis. **The plant Cell**, v. 10, n. 1, p. 63-73, 1998.
- HORN, D. *et al.* Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira de ciência dos Solos**, v. 30, n. 1, p. 77-85, 2006.
- HIGINBOTHAM, N. Electropotentials of plant cells. **Annual Reviews of Plant Physiology**, v. 24, n. 1, p. 25-46, 1973.
- LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica**. 4. ed. São Paulo: Sarvier, 2006. 1232 p.
- LIMA, A. M. N. *et al.* Cinética de absorção e eficiência nutricional de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> em plantas jovens de Quatro Clones de Eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, n. 6, p. 903-909, 2005.
- MÁSER, P. *et al.* Altered shoot/root NaR distribution and bifurcating salt sensitivity in Arabidopsis by genetic disruption of the NaR transporter AtHKT1. **FEBS Letter**, v. 161, n. 1, p. 531-157, 2002.
- MAATHUIS, F. J. M.; SANDERS, D. Mechanisms of high potassium uptake in roots of *Arabidopsis thaliana*. **Proceeding of the National Academy of Sciences**, v. 91, n. 20, p. 9272-9276, 1994.
- 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, n. 2, p. 123-133, 1999.
- MARTINEZ-CORDERO, M.; MARTINEZ, V.; RUBIO, F. High-affinity K<sup>+</sup> uptake in pepper plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 416, p. 1553-1562, 2005.
- NIEVES-CORDONES, M. *et al.* An NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-sensitive component dominates high-affinity K<sup>+</sup> uptake in tomato plant. **Plant Science**, v. 172, n. 2, p. 273-280, 2007.
- PONTE, L. F. A. *et al.* Variabilidade de indicadores fisiológicos de resistência à salinidade entre genótipos de cajueiro-anão e gigante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 1-8, 2011.
- SANTA-MARÍA, G. E.; DANNA, C. H. CZIBENER, C. High-affinity potassium transport in barley roots. Ammonium-sensitive and - insensitive pathwys. **Plant Physiology**, v. 123, n. 1, p. 297-306, 2000.
- SANTA-MARÍA, G. E.; EPSTEIN, E. Potassium/sodium selectivity in wheat and the amphiploid cross wheat X *Lophopyrum elongatum*. **Plant Science**, v. 160, n. 3, p. 523-534, 2001.
- SHABALA, S. Regulation of potassium transport in leaves: from molecular to tissue level. **Annals of Botany**, v. 92, n. 5, p. 627-634, 2003.
- SZCZERBA, M. W. **Physiology of potassium nutrition in cereals: Fluxes, Compartmentation, and Ionic interactions**. 2008. 224 f. Tese (Doutorado em Filosofia) - University of Toronto, Toronto, 2008.
- TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. **Annals Botany**, v. 91, n. 5, p. 503-527, 2003.
- VOIGT, E. L. **Transporte e homeostase Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> sob condições de sodicidade em feijão caupi**. 2008. 124 f. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- ZHU, J. K. Genetic analysis of plant salt tolerance using Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 124, n. 3, p. 941-948, 2000.
- ZHU, J.K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 6, n. 5, p. 441-445, 2003.