

Efeitos do KCl e CaCl₂ na absorção e transporte de Na⁺ em cajueiro exposto ao NaCl¹

Effects of KCl and CaCl₂ on the Na⁺ uptake and Na⁺ transport in cashew exposed to NaCl

Francisco Abel Lemos Alves², Sérgio Luiz Ferreira da Silva³, João Paulo Matos Santos Lima⁴ e Joaquim Albenisio Gomes da Silveira⁵

Resumo - No trabalho foram avaliados os efeitos do KCl e CaCl₂ sobre a absorção e transporte de Na⁺ e K⁺ na presença de NaCl. Sementes do clone CCP 06 de cajueiro foram germinadas e cultivadas em vermiculita em casa de vegetação. Plântulas com 8 folhas foram transferidas para condições controladas, 25±2 °C, U.R 80%, Fotoperíodo de 12 h e 240 mmol m⁻² s⁻¹. Após aclimação por 48 h, foram expostas, num esquema fatorial (2x2x2) de NaCl (0; 200 mM), KCl (0; 5 mM) e CaCl₂ (0; 3 mM), perfazendo 8 tratamentos, por 72 horas em meio aquoso tamponado com HEPES 10 mM, pH 6,0. O NaCl induziu acúmulos significativos de Na⁺ nos tecidos. O acúmulo deste íon na parte aérea foi reduzido por efeito do KCl, exógeno. Entretanto, os tratamentos que continham NaCl + CaCl₂ tiveram aumento desse íon em relação aos tratamentos que continham somente NaCl. O conteúdo de K⁺ em raízes e caules diminuiu na presença do NaCl, com exceção do tratamento com CaCl₂ em raízes, e dos tratamentos contendo CaCl₂ + KCl e CaCl₂ em caules, nos quais esses tratamentos permaneceram aos níveis de controles. Nas folhas esse íon permaneceu inalterado, independente do tratamento. O efeito atenuador do CaCl₂ não foi observado na absorção e/ou no transporte do Na⁺ pelas plântulas, em oposição aos resultados encontrados com o KCl. O objetivo foi verificar o efeito do KCl e do CaCl₂ exógeno na absorção e no transporte de Na⁺ e K⁺ nas diferentes partes das plântulas de cajueiro expostas ao NaCl.

Palavras-chave: Anacardium occidentale-salinidade. Cálcio. Sais de Sódio e potássio. Clone.

Abstract - In the work it was evaluated the effect of the K⁺ and Ca²⁺ on the uptake and transport of Na⁺ and K⁺ in the presence of NaCl. Seed of dwarf-precocious cashew clone CCP 06 were germinated and cultivated in vermiculita in greenhouse. Seedlings with 8 leaves were transferred to controlled conditions, 25±2 °C, U.R 80%, Photoperiod of 12 h and 240 mmol m⁻² s⁻¹. After acclimatization for 48 h, seedlings were displayed, in an factorial (2x2x2) project of NaCl (0; 200 mM), KCl (0; 5 mM) and CaCl₂ (0; 3 mM), performing 8 treatments, for 72 hours in medium buffer water with HEPES 10 mM, pH 6,0. The NaCl induced significative accumulation of Na⁺ in tissues. The accumulation of this ion in shoot was decreased for exogenous KCl. Moreover, the treatments that contained NaCl + CaCl₂ had increase in relation to treatments that contained only NaCl. The content of K⁺ in roots and stem diminished in the presence of NaCl, with exception of treatment with CaCl₂ in roots, and of treatments contend CaCl₂ + KCl and CaCl₂ in stem, in which these treatments remained to control levels. In leaves this ion remained unchanged, independent of treatment. The attenuating effect of CaCl₂ was not observed in the absorption and/or transport of Na⁺ for seedling, in opposition to the results found with the KCl. The purpose was verify effect of KCl and CaCl₂ exogenous in uptake and transport of Na⁺ e K⁺ in different parts seedlings of cashew exposed NaCl.

Key words: Anacardium occidentale-Salinity. Calcium. Sodium and potassium salts. Clone.

¹ Recebido para publicação em 22/10/2007; aprovado em 07/01/2008

Trabalho financiado pelo CNPq e FUNCAP e parte da Monografia do primeiro autor.

² Eng. Agrônomo, mestrando em Bioquímica; CC/UFC, abel_agro@yahoo.com.br

³ Eng. Agrônomo, doutorando em Bioquímica; CC/UFC, sergou@zipmail.com.br

⁴ Biólogo, D.Sc., Bioquímica, UFC, CE, jpmslima@gmail.com

⁵ Eng. Agrônomo, D.Sc., pesquisador Prof. do Dep. de Bioquímica e Biologia Molecular, Campus do Pici, CC/UFC, Fortaleza, Ceará, silveira@ufc.br

Introdução

O efeito da salinidade sobre o crescimento e o desenvolvimento das plântulas é discutido por pesquisadores, principalmente dos países que apresentam regiões áridas e semi-áridas, em função dos problemas socioeconômicos por ela causados. No Brasil esse assunto tem maior importância na região nordeste, onde a evapotranspiração supera as chuvas e, por consequência, impossibilita a percolação da água através do perfil e a lixiviação dos sais do solo (LIMA, 1997). Além disso, a natureza das rochas nativas, a salinidade das águas de irrigação e a falta de águas de boa qualidade podem causar problemas de salinidade nas áreas agrícolas (VIÉGAS et al., 2001).

Os efeitos da salinidade sobre as plântulas são consequências de fatores osmóticos e iônicos. O componente osmótico resulta das elevadas concentrações de sais dissolvidos na solução do substrato, os quais reduzem o potencial osmótico dessa solução, diminuindo, conseqüentemente, a disponibilidade da água para a plântula. O efeito iônico, por outro lado, refere-se aos íons absorvidos pelas plantas, principalmente o Na^+ e o Cl^- os quais podem provocar um desequilíbrio iônico e/ou efeitos tóxicos para o metabolismo da plântula (WILLADINO; CÂMARA, 2004). O acúmulo excessivo de Na^+ e Cl^- nos tecidos vegetais afeta as razões K^+/Na^+ , $\text{K}^+/\text{Ca}^{2+}$, $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, e $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$ alterando a homeostase iônica e nutricional da célula (GRATTAN; GRIEVE, 1999; APSE et al., 2003). Todos esses fatores podem afetar funções bioquímicas e fisiológicas do metabolismo vegetal, podendo levar à redução da eficiência metabólica e até mesmo, à morte das células (SHI et al., 2002).

Diferentes mecanismos conduzidos para tolerância à salinidade em populações e espécies de plântulas têm sido relatados (GRUMET et al., 1985; TIPIRDAMAZ; ELLIALTO-LU, 1994). Uma delas é a suplementação de Ca^{2+} e K^+ no meio radicular para amenizar os efeitos prejudiciais do estresse com NaCl (CRAMER et al., 1990; CRAMER et al., 1991). Entretanto, o mecanismo fundamental para a tolerância ao estresse salino em plantas não é bem conhecido. Dessa forma, o conhecimento da fisiologia da tolerância ao estresse salino em plantas é essencial para a solução dos danos causados por esse estresse nas culturas agrícolas.

O papel do Ca^{2+} exógeno na adaptação vegetal ao estresse salino é complexo e indefinido. Efeitos positivos desse nutriente amenizando o estresse salino foram observados por Ebert et al. (2002), Akinci e Simsek (2004), Lacerda et al. (2004). Enquanto nenhum efeito amenizador do estresse salino foi observado por Lacerda (1995) e Silva et al. (2003).

O papel do K^+ exógeno na adaptação vegetal ao estresse salino é pouco estudado. Hu et al. (1997), Noaman (2004), Akinci e Simsek (2004) e Melloni et al. (2000), verificaram que a tolerância vegetal à salinidade aumenta com o aumento da concentração de K^+ na solução nutritiva.

O presente trabalho teve o objetivo de verificar o efeito do KCl e do CaCl_2 exógeno na absorção e no transporte de Na^+ e K^+ nas diferentes partes das plântulas de cajueiro anão precoce, clone CCP 06, expostas ao NaCl .

Materiais e Métodos

Condições experimentais

A fase de germinação e desenvolvimento inicial das mudas foi conduzida 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, de 24 a 27 °C durante a noite e a umidade relativa variou de 40 a 80%. A radiação fotossintética ativa máxima nas proximidades das folhas foi 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).

Material vegetal e condução das plântulas

Sementes de cajueiro anão precoce, *Anacardium occidentale* L. progênies do clone CCP 06, foram superficialmente esterilizadas em uma solução comercial de hipoclorito de sódio a 10% (v/v) com contínua aeração, durante 10 minutos, quando foram lavadas exaustivamente com água da torneira e depois com água destilada para remover os resíduos do agente esterilizante. Depois, foram imersas em água destilada, por um período de 24 horas com o objetivo de acelerar o processo de germinação. Em seguida, as mesmas foram postas para germinar em vermiculita em vasos plásticos de 800 mL e irrigadas diariamente com água destilada até a queda dos cotilédones (30 dias após o plantio), onde passaram a ser irrigadas com solução nutritiva apresentando a seguinte composição de macronutrientes (mM): 2,5 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 1,0 NH_4Cl ; 0,5 K_2HPO_4 ; 0,5 MgSO_4 e 2 KNO_3 , composição de micronutrientes (μM) 40 H_3BO_3 ; 9 MnCl_2 ; 3 CuSO_4 ; 7 ZnMoO_4 ; 0,1 Na_2MoO_4 ; 100 Fe-EDTA . O pH da solução nutritiva foi ajustado para 6,0.

Decorridos 35 dias após a germinação, plântulas com aproximadamente oito folhas foram transferidas para erlenmeyer de 250 mL, contendo uma solução de Tampão HEPES 10 mM, pH 6,0 e expostas aos tratamentos sob condições controladas, (temperatura de 25 \pm 2 °C, Umidade

Relativa 80%, Fotoperíodo de 12 horas e Radiação Fotossintética Ativa de 240 mmol m⁻² s⁻¹). Os seguintes tratamentos consistiram-se na adição ao meio líquido:

Trat. (1): (200 mM de NaCl + 3 mM de CaCl₂ + 5 mM de KCl)
- Na(+)/Ca(+)/K(+);

Trat. (2): (200 mM de NaCl + 0 mM de CaCl₂ + 5 mM de KCl)
- Na(+)/Ca(-)/K(+);

Trat. (3): (200 mM de NaCl + 3 mM de CaCl₂ + 0 mM de KCl)
- Na(+)/Ca(+)/K(-);

Trat. (4): (200 mM de NaCl + 0 mM de CaCl₂ + 0 mM de KCl)
- Na(+)/Ca(-)/K(-);

Trat. (5): (0 mM de NaCl + 3 mM de CaCl₂ + 5 mM de KCl)
- Na(-)/Ca(+)/K(+);

Trat. (6): (0 mM de NaCl + 3 mM de CaCl₂ + 0 mM de KCl)
- Na(-)/Ca(+)/K(-);

Trat. (7): (0 mM de NaCl + 0 mM de CaCl₂ + 0 mM de KCl)
- Na(-)/Ca(-)/K(-) e;

Trat. (8): (0 mM de NaCl + 0 mM de CaCl₂ + 5 mM de KCl)
- Na(-)/Ca(-)/K(+).

Após 72 horas de exposição aos tratamentos procedeu-se a coleta, dividindo-se o material em Folhas Novas (acima das quatro basais), Folhas Velhas (as quatro primeiras folhas basais), Caule e Raízes e em seguida a secagem do material em estufa a 70 °C por 72 horas. Esse material foi utilizado para determinação dos conteúdos de Na⁺ e K⁺ e estabilidade de membranas por vazamento de eletrólitos em folhas e raízes.

Delineamento estatístico e análise dos dados

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado. No ensaio os tratamentos foram dispostos em arranjo fatorial (2x2x2), representando dois níveis de NaCl (0; 200 mM), dois níveis de KCl (0; 5 mM) e dois níveis de CaCl₂ (0; 3 mM), respectivamente, com quatro repetições. A parcela experimental consistiu de um vaso contendo uma planta. Os dados foram submetidos ao teste F a 5% de significância através de análise de variância e as médias comparadas com base no teste de Tukey.

Análise química

Concentração de Na⁺ e K⁺

Para determinação das concentrações de sódio e potássio, amostras do material vegetal de folhas, caules e raízes previamente secas em estufa, maceradas e feita farinha (50 mg) foram colocadas em tubos de ensaio e, em seguida foram adicionados, 20 mL de água deionizada. Os tubos foram colocados em banho-maria a 100 °C, por 1 hora. Após o cozimento, o extrato foi filtrado e, no

sobrenadante, foram feitas leituras em fotometria de chama, conforme descrito por Viégas et al. (2001) para a determinação dos conteúdos de Na⁺ e K⁺.

Integridade das membranas

O grau de integridade das membranas foi estimado pelo vazamento de eletrólitos. Foram coletados 100 mg de massa fresca de raízes e dez discos foliares com diâmetro de 10 mm 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 (μs m⁻¹) do extrato (L₁) foi determinada em condutivímetro e os mesmos seguimentos de raízes colocados novamente no banho-maria à temperatura de 100 °C, por 1 h. após alcançada a temperatura ambiente, fez-se uma leitura (L₂) de condutividade (μs m⁻¹) do extrato. O percentual de danos das membranas foi estabelecido pela seguinte relação: %DM = (L₁/L₂) x 100

Resultados e Discussão

Acúmulo de íons em folhas, caules e raízes e tolerância à salinidade.

No presente trabalho, quando plantas de cajueiro anão precoce foram expostas a diferentes combinações contendo (NaCl x KCl x CaCl₂), por 72 horas, foi observado um padrão diferente de absorção e distribuição de Na⁺ entre os tratamentos avaliados. A exposição de plantas ao NaCl induziu acúmulos significativos de Na⁺ em raízes, caules e folhas (Figuras 1; 2; 3 e 4). Nas raízes, o acúmulo de Na⁺ foi igual em todos os tratamentos com NaCl, independente da presença de KCl ou CaCl₂ (Figura 1).

O nível de Na⁺ foi progressivamente reduzido por efeito do KCl (raiz < caule < folha), especialmente nesse último órgão, onde o acúmulo de Na⁺ ficou ao nível dos tratamentos que não continham NaCl (Figuras 1; 2; 3 e 4). Em oposição, os níveis de Na⁺ na parte aérea dos tratamentos que continham NaCl + CaCl₂ tiveram um expressivo aumento em relação aos tratamentos que continham somente NaCl (Figura 1; 2 e 3). Provavelmente esse aumento no conteúdo de Na⁺ na parte aérea das plântulas tratadas com NaCl e CaCl₂ esteja relacionado com uns dos mecanismos de influxo de Na⁺ para a parte aérea, através dos Canais Retificadores Externos, onde esses canais exercem um importante papel no influxo de Na⁺ para as células.

Esses canais abrem-se durante a despolarização da membrana plasmática (i.e., mudança no potencial elétrico, diferenças para valores mais positivos), mediando, desta

forma, o influxo de Na⁺ e o efluxo de K⁺ (MAATHUIS; AMTMANN, 1999; BLUMWALD et al., 2000; HORIE; SCHROEDER, 2004). Um número elevado desses canais tem sido identificado (WEGNER; RASCHKE, 1994; WEGNER;

BOER, 1997). Um desses canais conhecidos como NORC (non-selective outward-rectifying conductance) não discrimina entre os cátions e é ativado por concentrações aumentadas de Ca²⁺ citosólico (WEGNER; BOER, 1997). No estudo com alga *Nitella obtusa*, um aumento na concentração de Na⁺ de 100

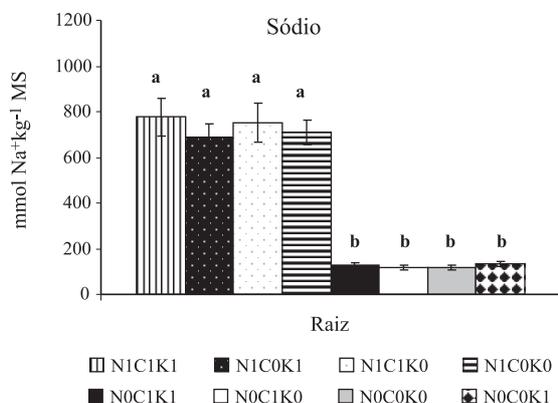


Figura 1 – Conteúdo de Na⁺ em raízes de plântulas de cajueiro-anão precoce, clone CCP 06 com 35 dias após a germinação, submetidas durante 72 horas aos tratamentos com diferentes combinações NaCl, CaCl₂ e KCl na solução nutritiva. Trat. 1: 200 mM de NaCl + 3 mM de CaCl₂ + 5 mM de KCl (N1C1K1); Trat. 2: 200 mM de NaCl + 0 mM de CaCl₂ + 5 mM de KCl (N1C0K1); Trat. 3: 200 mM de NaCl + 3 mM de CaCl₂ + 0 mM de KCl (N1C1K0); Trat. 4: 200 mM de NaCl + 0 mM de CaCl₂ + 0 mM de KCl (N1C0K0); Trat. 5: 0 mM de NaCl + 3 mM de CaCl₂ + 5 mM de KCl (N0C1K1); Trat. 6: 0 mM de NaCl + 3 mM de CaCl₂ + 0 mM de KCl (N0C1K0); Trat. 7: 0 mM de NaCl + 0 mM de CaCl₂ + 0 mM de KCl (N0C0K0) e Trat. 8: 0 mM de NaCl + 0 mM de CaCl₂ + 5 mM de KCl (N0C0K1)

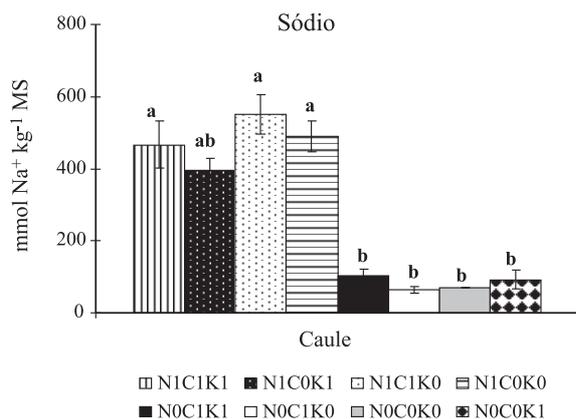


Figura 2 – Conteúdo de Na⁺ em caules de plântulas de cajueiro-anão precoce, clone CCP 06 com 35 dias após a germinação, submetidas durante 72 horas aos tratamentos com diferentes combinações NaCl, CaCl₂ e KCl na solução nutritiva. O significado das legendas dos nove tratamentos está descrito detalhadamente na Figura 1

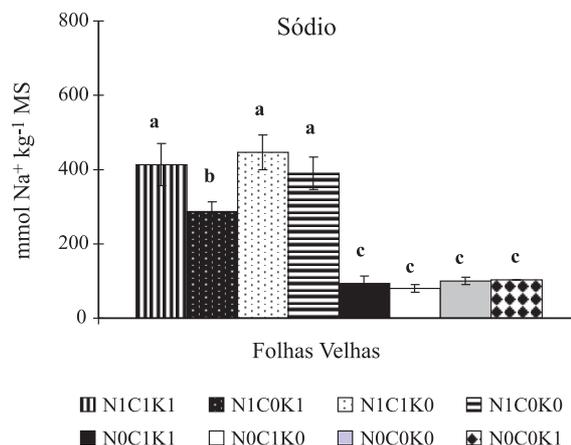


Figura 3 – Conteúdo de Na⁺ em folhas velhas (folhas primárias) de plântulas de cajueiro-anão precoce, clone CCP 06 com 35 dias após a germinação, submetidas durante 72 horas aos tratamentos com diferentes combinações NaCl, CaCl₂ e KCl na solução nutritiva. O significado das legendas dos nove tratamentos está descrito detalhadamente na Figura 1

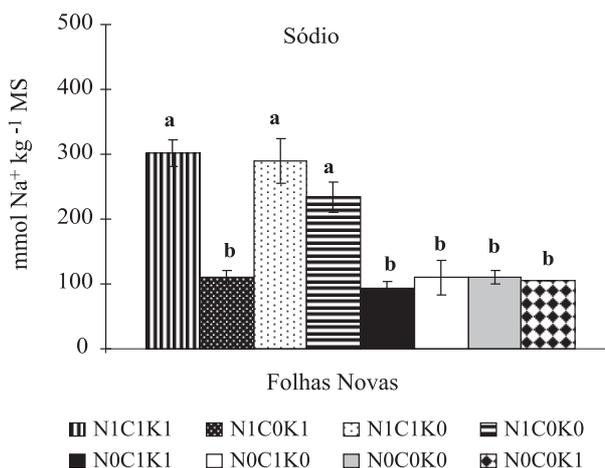


Figura 4 – Conteúdo de Na⁺ em folhas novas de plântulas de cajueiro-anão precoce, clone CCP 06 com 35 dias após a germinação, submetidas durante 72 horas aos tratamentos com diferentes combinações NaCl, CaCl₂ e KCl na solução nutritiva. O significado das legendas dos nove tratamentos está descrito detalhadamente na Figura 1

mM induziu despolarização da membrana plasmática com um concomitante decréscimo nas concentrações de K⁺ e um aumento nas concentrações de Na⁺ no citosol (KATSUHARA; TAZAWA, 1986). Esse efeito não foi correlacionado com o aumento de Ca²⁺ no meio de crescimento.

Schachutman et al. (1991) sugeriu que altos níveis de NaCl podem induzir a despolarização da membrana plasmática de raízes de trigo. Essa despolarização ativa os canais retificadores de potássio externo, providenciando um caminho na difusão do Na⁺ para dentro das células através de um gradiente eletroquímico. Cramer et al. (1990) sugeriram que o deslocamento do Ca²⁺ por íons de Na⁺ na superfície da membrana plasmática pode induzir despolarização da membrana plasmática, induzindo um efluxo de potássio citosólico das células.

O conteúdo de K⁺ em raízes e caules diminuiu na presença do NaCl exógeno, com exceção do tratamento com CaCl₂ 3 mM em raízes e dos tratamentos contendo CaCl₂ 3 mM + KCl 3 mM, e CaCl₂ 3 mM em caules, nos quais esses tratamentos permaneceram no nível de tratamentos controles (sem adição de NaCl) (Figuras 5 e 6). Vários estudos com variedades de cultivares hortícolas têm mostrado que as concentrações de K⁺ nos tecidos das plantas, expressas com base no peso da matéria seca, são fortemente reduzidas com a salinidade (PÉREZ-ALFOCEA et al., 1996; VIÉGAS et al., 2001). A redução na absorção e/ou acúmulo de K⁺ nos tecidos das plantas é devido à competitividade entre os íons K⁺ e Na⁺ pelos mesmos sítios ativos de absorção, pois ambos possuem o mesmo raio iônico hidratado (SHABALA et al., 2003; HORIE; SCHROEDER, 2004).

O conteúdo de K⁺ nas folhas velhas e folhas novas permaneceu inalterado, independente do tratamento (Figuras 7 e 8). A manutenção de alta concentração de K⁺ nos tecidos da parte aérea da planta é tida como um fator de tolerância e/ou adaptação às plantas para sobreviverem em ambientes salinos (MAATHUIS; AMTMANN, 1999; ZHU, 2003).

Os danos nas membranas verificados através do efluxo de eletrólitos ficaram na faixa de 80% em raízes tratadas com NaCl, não havendo, no entanto, nenhuma distinção entre os tratamentos que continham CaCl₂ e/ou KCl no meio externo. Nas folhas houve um aumento bem menos acentuado no vazamento de eletrólitos causado pelo NaCl, comparado ao observado nas raízes (Figura 9). Sob condições de salinidade-sódica ou condições sódicas, altos níveis de Na⁺ externo não só interferem na aquisição de K⁺ pelas raízes, mas também podem provocar danos nas membranas de raízes e alterar sua seletividade (VIÉGAS et al., 2001).

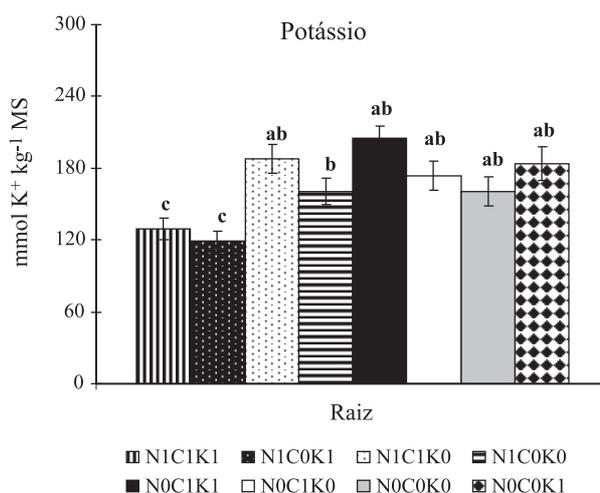


Figura 5 – Conteúdo de K⁺ em raízes de plântulas de cajueiro-anão precoce, clone CCP 06 com 35 dias após a germinação, submetidas durante 72 horas aos tratamentos com diferentes combinações NaCl, CaCl₂ e KCl na solução nutritiva. O significado das legendas dos nove tratamentos está descrito detalhadamente na Figura 1

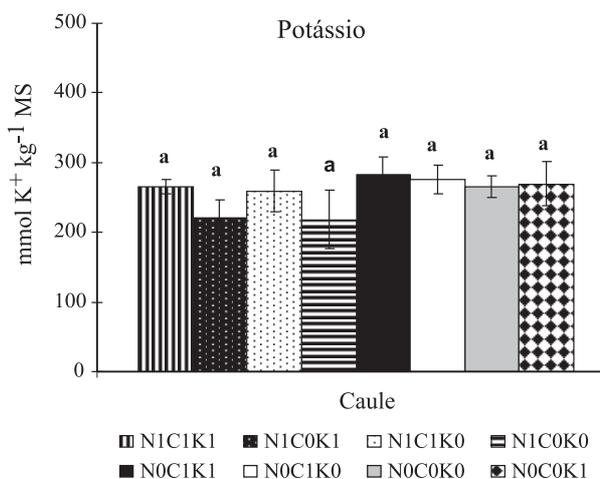


Figura 6 – Conteúdo de K⁺ em caules de plântulas de cajueiro-anão precoce, clone CCP 06 com 35 dias após a germinação, submetidas durante 72 horas aos tratamentos com diferentes combinações NaCl, CaCl₂ e KCl na solução nutritiva. O significado das legendas dos nove tratamentos está descrito detalhadamente na Figura 1

A relação K⁺/Na⁺ nas diversas partes da planta foi fortemente reduzida com a presença do NaCl na solução (Tabela 1). Em raízes, caules e folhas velhas não houve efeito atenuador do CaCl₂ e/ou KCl na diminuição dessa

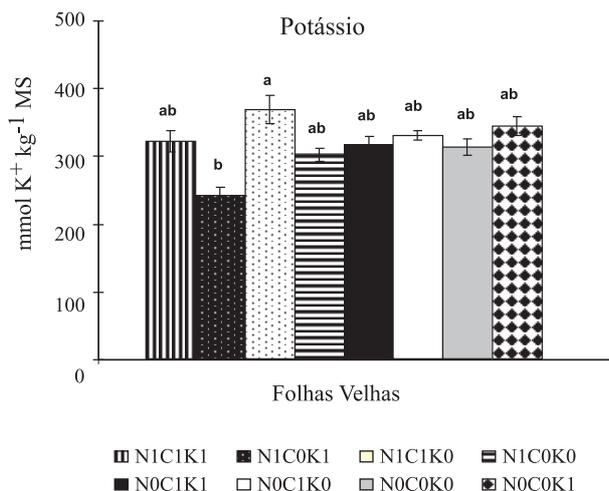


Figura 7 – Conteúdo de K⁺ em folhas velhas (folhas primárias) de plântulas de cajueiro-anão precoce, clone CCP 06 com 35 dias após a germinação, submetidas durante 72 horas aos tratamentos com diferentes combinações NaCl, CaCl₂ e KCl na solução nutritiva. O significado das legendas dos nove tratamentos está descrito detalhadamente na Figura 1

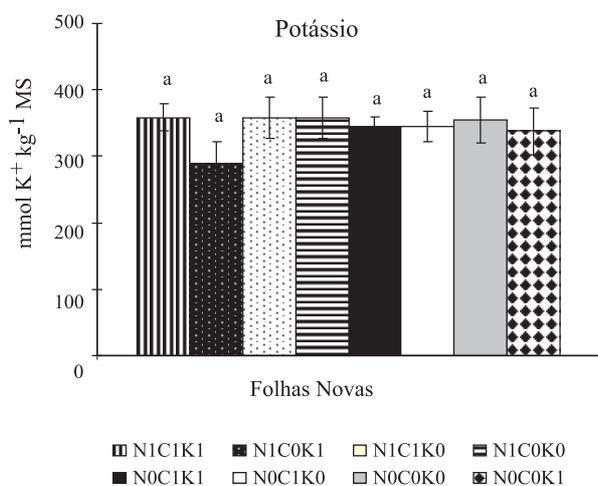


Figura 8 – Conteúdo de K⁺ em folhas novas de plântulas de cajueiro-anão precoce, clone CCP 06 com 35 dias após a germinação, submetidas durante 72 horas aos tratamentos com diferentes combinações NaCl, CaCl₂ e KCl na solução nutritiva. O significado das legendas dos nove tratamentos está descrito detalhadamente na Figura 1

relação ocasionada pelo NaCl. Entretanto, nas folhas novas, nos tratamentos que continham CaCl₂, essa relação foi diminuída pelo NaCl exógeno. Viégas et al. (2001) observaram que plantas de cajueiro cultivadas em solução nutritiva

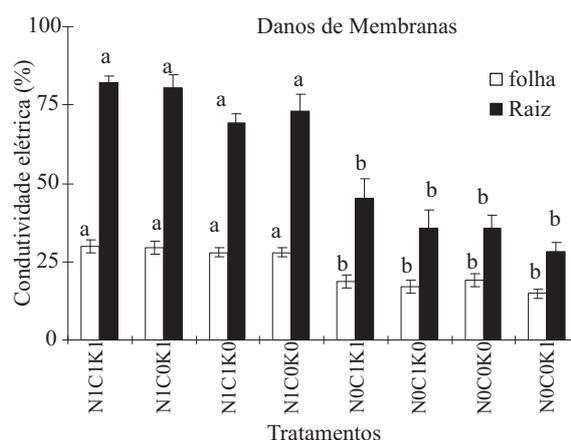


Figura 9 – Dano de Membranas, estimado pelo vazamento de eletrólitos, em raízes e folhas de plântulas de cajueiro anão-precoce, clone CP 06 com 35 dias após a germinação, submetidas durante 72 horas aos tratamentos com diferentes combinações NaCl, CaCl₂ e KCl na solução nutritiva. O significado das legendas dos nove tratamentos está descrito detalhadamente na Figura 1

va e submetidas a estresse salino mostram também uma diminuição na relação K⁺/Na⁺ nas folhas. Isso sugere que o aumento nas concentrações de sódio na parte aérea pode estar relacionado com uma baixa seletividade dos sistemas de absorção de potássio. Portanto, o aumento na seletividade ao K⁺ pode representar um importante mecanismo para aumentar a tolerância das plantas de cajueiro ao estresse salino que deve ser considerado nos programas de melhoramento dessa importante cultura e no desenvolvimento de técnicas que amenizem os efeitos prejudiciais do NaCl.

Vários autores têm correlacionado a resistência à salinidade com a manutenção de uma adequada nutrição potássica dentro da planta (TALEISNIK; GRUNBERG, 1994, MAATHUIS; AMTMANN, 1999). Dessa maneira, a relação K⁺/Na⁺ tem sido sugerida como parâmetro ou critério de seleção de genótipos mais resistentes à salinidade em solos sódicos. Efeitos positivos desse nutriente amenizando o estresse salino foram observados por Cachorro et al. (1994), Ashraf e O’Leary (1997), Davenport et al. (1997), Ebert et al. (2002) e Akinci e Simsek (2004). Enquanto nenhum efeito amenizador do estresse salino foi observado por Lacerda et al. (1995) e Silva et al. (2003). O aumento na proporção de KCl na solução nutritiva provocou redução no teor de Na⁺ e aumento no teor de K⁺ em folhas, com conseqüente decréscimo na relação Na⁺/K⁺ em plantas de sorgo (LACERDA et al., 2004) e em embriões de pepino *Cucumis sativa* L. (AKINCI; SIMSEK., 2004).

Tabela 1 - Relação K⁺/Na⁺ em raízes, caules, folhas velhas e folhas novas de plântulas de cajueiro anão precoce, clone CCP 06, submetidas a 200 mM de NaCl durante 72 horas

Tratamentos	Partes			
	Raiz	Caule	Folha Velha	Folha Nova
1- Na(+)/Ca(+)/K(+)	0,189 b	0,475 b	0,833 b	1,293c
2- Na(+)/Ca(-)/K(+)	0,199 b	0,642 b	1,332 b	2,304 b
3- Na(+)/Ca(+)/K(-)	0,283 b	0,452 b	0,761 b	1,151c
4- Na(+)/Ca(-)/K(-)	0,249b	0,653 b	0,941 b	2,324 b
5- Na(-)/Ca(+)/K(+)	1,528 a	2,843 a	3,628 a	3,549 a
6- Na(-)/Ca(+)/K(-)	1,597 a	4,118 a	3,739 a	3,794 a
7- Na(-)/Ca(-)/K(-)	1,583 a	3,530 a	3,285 a	3,348 a
8- Na(-)/Ca(-)/K(+)	1,576 a	3,736 a	3,334 a	3,432 a

Entretanto, o aumento na proporção de CaCl₂ no meio radicular não diminuiu os níveis de Na⁺ na parte aérea em plantas de feijão e, além disso, não se observou aumento no teor de potássio na parte aérea, e as elevações nos teores de Na⁺ e Cl⁻ foram significativamente maiores quando plantas foram cultivadas em ambiente com umidade relativa relativamente alta. Em contrapartida, no mesmo estudo, quando plantas foram cultivadas em ambiente com umidade relativa mais baixa o CaCl₂ externo diminuiu os níveis de Na⁺ e aumentou o nível de K⁺ na parte aérea de plântulas de feijão caupi. Assim, o autor concluiu que o uso do CaCl₂ como agente amenizador dos efeitos da salinidade depende, dentre outros fatores, das condições ambientais nas quais as plantas são cultivadas (LACERDA, 1995).

Conclusões

1. O estresse salino causado pelo excesso de NaCl reduziu o acúmulo e/ou a absorção de K⁺ nas raízes. Entretanto, em caules, folhas novas e folhas velhas não foi verificado nenhum efeito significativo do NaCl sobre as concentrações de K⁺ nas plântulas de cajueiro anão precoce, clone CCP 06.
2. O efeito atenuador do CaCl₂ exógeno (combinação CaCl₂ + NaCl) não foi observado em termos de absorção e/ou transporte de Na⁺ nas plântulas de cajueiro anão precoce expostas ao NaCl. Entretanto, foi observado um aumento no conteúdo de K⁺ nas raízes nesse.
3. O efeito atenuador da salinidade do KCl exógeno foi observado pela menor absorção e/ou transporte de Na⁺ para a caules e folhas das plântulas de cajueiro anão precoce.

Referências

- ASHRAF, M.; O'LEARY, J. W. Responses of a salt-tolerant and a salt-sensitive line of sunflower to varying sodium/calcium ratios in saline sand culture. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 20, n. 02-03, p. 361-377, Feb./Mar., 1997.
- APSE, M. P.; SOTTOSANTO, J. B.; BLUMWALD, E. Vacuolar cation/H⁺ exchange, ion homeostasis, and leaf development are altered in a T-DNA insertional mutant of *AtNHX1*, the Arabidopsis vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter. **Plant Journal**, v. 36, p. 229-239, 2003.
- AKINCI, I. E.; SIMSEK, M. Ameliorative Effects of Potassium and Calcium on Salinity Stress in Embryo Culture of Cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Journal of Biological Sciences**, Asian, v. 04, p. 361-365, 2004.
- BLUMWALD, E.; AHARON, S. G.; APSE, P. M. Sodium Transport in Plant Cells. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1465, p. 140-151, 2000.
- CACHORRO, P.; ORTIZ, A.; CERDÁ, A. Implications of calcium nutrition on the response of *Phaseolus vulgaris* L. to salinity. **Plant and Soil, The Hague**, v. 159, n. 02, p. 205-212, Feb. 1994.
- CRAMER, G. R.; EPSTEIN, E.; LAUCHLI, A. Effects of sodium, potassium and calcium on salt-stressed barley. I. Growth analysis. **Physiological plantarum**, v. 80, p. 83-88, 1990.
- CRAMER, G. R.; EPSTEIN, E.; LAUCHLI, A. Effects of sodium, potassium and calcium on salt-stressed barley. II. Elemental analysis. **Physiological plantarum**, v. 81, p. 197-202, 1991.
- DAVENPORT, R. J.; REID, R. J.; SMITH, F. A. Sodium-calcium interactions in two wheat species differing in tolerance. **Physiologia Plantarum**, v. 99, p. 323-327, 1997.
- EBERT, G.; EBERLE, J.; ALI-DINAR, H.; LUDDERS, P. Ameliorating effects of Ca(NO₃)₂ on growth, mineral uptake and photosynthesis of NaCl-stressed guava seedlings (*Psidium guajava* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 93, p. 125-135, 2002.

- GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity-nutrient relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v. 78, p. 127-157, 1999.
- GRUMET, R.; ISLEIB, T. G.; HANSON, A. D. Genetic Control of Glycinebetaine Level in Barley. **Crop Science**, v. 25, p. 618-622, 1985.
- HORIE, T.; SCHROEDER, J. Sodium Transporters in Plants. Diverse Genes and Physiological Functions. **Plant Physiology**, v. 136, p. 2457-2462, 2004.
- HU, Y.; OERTLI, J. J.; SCHMIDHALTER, U. Interactive effects of salinity and macronutrient level on wheat. I. Growth. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 20, n. 09, p. 1155-1167, Sept. 1997.
- KATSUHARA, M.; TAZAWA, M. Salt tolerance in *Nitellopsis obtusa*. **Protoplasma**, v. 135, p. 155-161, 1986.
- LACERDA, C. **Efeitos da salinidade no desenvolvimento e composição mineral do feijão-de-Corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e utilização do Ca^{2+} como meio para minorar tais efeitos**. Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, p. 52-70, 1995.
- LACERDA, C. F. et al. Influência do Cálcio sobre o crescimento e solutos em plântulas de sorgo estressadas com Cloreto de sódio. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, p. 289-295, 2004.
- LIMA, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1977, Campina Grande. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. Cap. 4, p. 113-36.
- MAATHUIS, F. J. M.; AMTMANN, A. K^+ Nutrition and Na^+ Toxicity: Basis of Cellular K^+/Na^+ Ratios. **Annals of Botany**, v. 84, p. 123-133, 1999.
- MELLONI, R.; SILVA, F. A. M.; CARVALHO, J. G. Cálcio, Magnésio e Potássio como amenizadores dos efeitos da salinidade sobre a nutrição mineral e o crescimento de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*). **Cerne**, v. 06, n. 02, p. 35-40, 2000.
- NOAMAN, M. N. Effect of Potassium and Nitrogen Fertilizers on the Growth and Biomass of some Halophytes Grown under High Levels of Salinity. **Journal of Agronomy**, v. 03, n. 01, p. 25-30, 2004.
- PÉREZ-ALFOCEA, F. et al. Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in a commercial tomato hybrid. **Plant Soil**, v. 180, p. 251-257, 1996.
- SCHACHTMAN, D. P.; TYERMAN, S. T.; TERRY, B. R. **The K^+/Na^+ Selectivity of a Cation Channel in the Plasma Membrane of Root Cells Does Not Differ in Salt-Tolerant and Salt-Sensitive Wheat Species**. **Plant Physiology**, v. 97, p. 598-605, 1991.
- SHABALA, S.; SHABALA, L. VAN VOLKENBURGH E. Effect of calcium on root development and root ion fluxes in salinised barley seedlings. **Functional Plant Biology**, v. 30, p. 507-514, 2003.
- SHI, H. et al. The putative plasma membrane Na^+/H^+ antiporter SOS1 controls long-distance Na^+ transport in plants. **The Plant Cell**, v. 14, p. 466-477, 2002.
- SILVA, J. V. et al. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with $CaCl_2$. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 15, n. 02, p. 99-105, 2003.
- TALEISNIK, E.; GRUNBERG, K. Íon balance in Tomato Cultivars differing in salt tolerance. **Physiologia Plantarum**, v. 92, p. 528-534, 1994.
- TIPIRDAMAZ, R.; ELLIALTIO-LU, S. Using of different techniques on determination of salt tolerance in tomato genotype. Ankara Un. Zir. Fak. Yayin. n° 1358. **Bilimsel Arastirma ve Inceleme**, v. 751, p. 1-22, 1994.
- VIÉGAS, R. A. et al. Effect of NaCl-salinity on growth and inorganic solute accumulation in young cashew plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Capina Grande, v. 05, n. 02, p. 216-222, 2001.
- ZHU, J. K. Regulation of íon homeostasis under salt stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 06, p. 441-445, 2003.
- WEGNER, L. H.; RASCHKE, K. Ion Channels in the Xylem Parenchyma of Barley Roots. **Plant Physiology**, v. 105, p. 799-813, 1994.
- WEGNER, L. H.; BOER, A. H. Properties of two Outward-Rectifying Channels in Root Xylem Parenchyma Cell Suggest a Role in K^+ Homeostasis and Long-Distance Signaling. **Plant Physiology**, v. 115, p. 1707-1719, 1997.
- WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Origen Y naturaleza de ambientes salinos. In: Reigosa, M. J.; Pedrol, N.; Sánchez, A. (Eds.). **La Ecofisiologia Vegetal**, p. 303-303. Thomson, Madrid, Espanha. 2004.