

# Regulação do acúmulo de Na<sup>+</sup> e resistência à salinidade em (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

*Regulation of accumulation of Na<sup>+</sup> and salinity resistance in (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)*

Francisco Abel Lemos Alves<sup>1\*</sup>, Sérgio Luiz Ferreira Silva<sup>2</sup>, Josemir Moura Maia<sup>3</sup>, João Batista Santiago Freitas<sup>4</sup>, Joaquim Albenisio Gomes Silveira<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Estação Experimental de Arcoverde, Instituto Agrônomo de Pernambuco, BR 232, Km 253, CEP 56500-000, Arcoverde, PE, Brasil

<sup>2</sup>Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Serra Talhada, PE, Brasil

<sup>3</sup>Campos IV, Centro de Ciências Agrárias (CCHA), Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Catolé do Rocha, PB, Brasil

<sup>4</sup>Laboratório de Metabolismo de Plantas, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil

\*autor correspondente

✉ [abel.alves@ipa.br](mailto:abel.alves@ipa.br)

**RESUMO:** O feijão-caupi é uma leguminosa muito importante para a população brasileira, principalmente por ser cultivado na região Nordeste, muitas vezes em áreas salinizadas. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do estresse salino no crescimento (massa seca) e partição de íons (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>) em feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), visando associar essas variáveis fisiológicas com a resistência entre cultivares à salinidade. Sementes das cultivares Pérola e Pitiúba foram semeadas em casa de vegetação, em vasos plásticos de 0,8 L, contendo areia e vermiculita. Após 15 dias de semeadura, as plântulas foram irrigadas com NaCl (0, 50, 100 e 200 mM) durante oito dias (curta duração) e 20 dias (longa duração), carregado na solução nutritiva por meio da fertirrigação. As avaliações realizadas foram: massa seca e conteúdo de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> em folhas e raízes. O tratamento salino reduziu o acúmulo de massa seca nas folhas e raízes das duas cultivares de feijão-caupi, já no quarto dia de exposição às concentrações de NaCl. Essa diminuição foi proporcional ao tempo de exposição e a dose de NaCl utilizada. A redução de massa seca nas folhas e raízes foi acompanhada pelo aumento proporcional no acúmulo de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nesses órgãos. O conteúdo de K<sup>+</sup> permanece inalterado nas folhas, havendo uma tendência à redução nas raízes. A cultivar Pitiúba foi mais resistente à redução de massa seca das folhas e raízes do que o Pérola sob estresse salino. Os mecanismos de exclusão de Cl<sup>-</sup> nas folhas e raízes do Pitiúba são menos efetivos em comparação ao Na<sup>+</sup>. Assim, o Na<sup>+</sup> parece ter contribuído mais do que o Cl<sup>-</sup> para a redução de massa seca em plantas de feijão-caupi sob estresse salino. O grau de resistência à salinidade em feijão-caupi está associado mais a regulação do acúmulo de Na<sup>+</sup> do que de Cl<sup>-</sup> em seus órgãos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Acúmulo de solutos, crescimento, distribuição de íons, feijão-de-corda.

**ABSTRACT:** Cowpea is a legume very important for the Brazilian population, mainly by be cultivated in the Northeast, often in salinized areas. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of salt stress on growth (dry weight) and ion partition (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup>) in cowpea (*Vigna unguiculata*), order to associate these physiological variables with the resistance between cultivars to salinity. Seeds of cultivars Pérola and Pitiúba were sown in a greenhouse in plastic pots of 0.8 L, containing sand and vermiculite. After 15 days of sowing, the seedlings were irrigated with NaCl (0, 50, 100 and 200 mM) for eight days (short-term) and 20 days (long-term) added in the nutrient solution by fertigation. The evaluations performed were: dry matter and content Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> in leaves and roots. The saline treatment reduced the dry matter accumulation in leaves and roots of the two cowpea cultivars, already in the fourth day of exposure to NaCl concentrations. This reduction was proportional to the exposure time and the NaCl dose used. The reduction of dry matter in leaves and roots was accompanied by a proportional increase in the accumulation of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> in these organs. The K<sup>+</sup> content remains unchanged in leaves, there tendency of reduction in the roots. The cultivar Pitiúba was more resistant to the dry mass reduction of the leaves and roots than Pérola under salt stress. The mechanisms of Cl<sup>-</sup> exclusion in the leaves and roots of Pitiúba are less effective compared to Na<sup>+</sup>. Thus the Na<sup>+</sup> seems to contribute more than the Cl<sup>-</sup> for dry mass reduction in cowpea plants under salt stress. The degree of resistance to salinity in cowpea is associated more the regulation of the accumulation of Na<sup>+</sup> of that Cl<sup>-</sup> in their organs.

**KEYWORDS:** Cowpea, distribution of ions, growth, solutes accumulation.

## Introdução

A salinidade dos solos é um fator ambiental que restringe a produção das culturas agrícolas em diversas partes do mundo, particularmente nas regiões áridas e semiáridas, onde afeta severamente a produtividade vegetal (FAGERIA; STONE; SANTOS, 2011). Atualmente, estima-se que cerca de 20% das áreas cultivadas e 33% das áreas irrigadas do planeta são afetadas em alguma intensidade por sais (ASHRAF; HARRIS, 2004).

No Brasil, cerca de 2% dos solos são comprometidos pelo excesso de sais, a maior parte dessa área situa-se no estado da Bahia (44% do total), seguido pelo Ceará (26% do total) (RIBEIRO; BARROS; SANTOS, 2009). Estima-se que 20% das áreas irrigadas dos projetos públicos de irrigação do Brasil apresentam problemas de salinização, e essas áreas estão concentradas, principalmente, no polígono das secas (semiárido), que inclui áreas de nove estados do Nordeste (FAGERIA et al., 2011).

Nessas áreas, as irregularidades pluviométricas, além das características do material de origem dos solos, as elevadas taxas de evapo-transpiração, as práticas de irrigação, utilizando águas salinas, e o uso intensivo de fertilizantes causam a salinização dos solos (ESTEVES; SUZUKI, 2008).

O excesso de sais na solução do solo pode causar estresse osmótico nas plantas, pela redução do potencial hídrico do solo e toxicidade iônica específica, em função do acúmulo excessivo de íons salinos ( $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ) no tecido vegetal. Os efeitos da salinidade sobre o metabolismo vegetal são complexos e atingem processos metabólicos associados ao déficit hídrico, desbalanço nutricional e iônico, comportamento estomático, eficiência fotossintética e capacidade de assimilação e alocação de carbono (SILVA et al., 2011).

As interações competitivas entre os íons salinos  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  com nutrientes podem afetar as relações  $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , tanto no meio de cultivo, quanto no tecido vegetal, resultando em desbalanço iônico e causando deficiência nutricional, dependendo da intensidade da salinidade (ALVES et al., 2012, 2011, 2009).

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), conhecido também por feijão-de-corda e feijão-macassar, é uma espécie muito importante para o Brasil, principalmente na região Nordeste, servindo de gerador de emprego e renda, e como fonte de nutrientes para as populações rurais e urbanas. Esta leguminosa anual herbácea é um dos principais componentes alimentares dessa região, servindo de importante fonte de proteínas, apresentando quase todos os aminoácidos essenciais, carboidratos, vitaminas e minerais (LIMA et al., 2007).

As características nutritivas do feijão-caupi permitem que o mesmo seja cultivado principalmente, para a obtenção de grãos, secos ou verdes, para o consumo humano *in natura*, em conserva ou desidratado. Além disso, ele é utilizado também como forragem verde, feno, ensilagem, farinha para alimentação animal e adubo verde (BEZERRA et al., 2010).

De acordo com Bezerra et al. (2010), o feijão-caupi tolera condutividade elétrica de até  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$  (22 mM de NaCl) na água de irrigação, sendo considerada uma cultura sensível à salinidade. No entanto, Fageria et al. (2010) afirmam que o feijão-caupi é considerado moderadamente tolerante à salinidade, podendo

suportar, sem perdas expressivas na produção, salinidade em torno de  $4,9 \text{ dS m}^{-1}$  (49 mM de NaCl). Almeida et al. (2011) e Marinho et al. (2009) afirmam, entretanto, que o grau de tolerância do feijão-caupi ao estresse salino varia entre os genótipos.

Assim, o trabalho objetivou avaliar o efeito do estresse salino no crescimento (massa seca) e partição de íons ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ) em feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), visando associar essas variáveis fisiológicas com a resistência entre cultivares à salinidade.

## Material e Métodos

### Obtenção das plantas e aplicação dos tratamentos

No estudo foram utilizados genótipos contrastantes em relação à resistência ao estresse salino. Sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) das cultivares Pérola (sensível) e Pitiúba (tolerante), fornecidas pelo Laboratório de Sementes da Universidade Federal do Ceará, foram semeadas em casa de vegetação, em vasos plásticos de 0,8L, contendo areia e vermiculita granulada, na proporção 1:1 (v/v). A areia utilizada no substrato foi lavada em água destilada corrente, por aproximadamente 15 minutos, para a retirada do excesso de sal. O substrato (areia + vermiculita) foi irrigado e mantida a umidade a 70% da capacidade de campo (CARVALHO et al., 2003), com água destilada até o 4º dia após o semeio (DAS) e com solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), diluída a 1/10, a partir do 5º até 35º DAS).

O estudo foi conduzido em sala de crescimento com condições controladas ( $25 \pm 2^\circ \text{C}$ ,  $240 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , umidade relativa de 70%), em dois tempos, iniciados após 15 DAS, sendo um de curta duração, com oito dias de tratamento com NaCl (0 e 100 mM) e outro de longa duração, com 20 dias de tratamento com NaCl (0, 50, 100 e 200 mM) na solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), diluída a 1/10.

Coletas de folhas e raízes foram realizadas a cada dois e quatro dias para os tempos de curta e longa duração, respectivamente. As amostras foram secas em estufa com ventilação de ar forçado, durante 72 horas a  $70^\circ \text{C}$ , e depois moídas em moinho tipo Willey®, para determinação da massa seca, conteúdo de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$  (MAIA et al., 2010).

### Determinação da massa seca

A determinação da massa seca foi realizada conforme descrito por Maia et al. (2010). Amostras de folhas e raízes foram secas como descrito acima, pesadas em balança analítica de precisão. A análise do incremento de massa seca foi feita com base na regressão linear do conteúdo de massa seca, em função do tempo de exposição aos tratamentos.

### Determinação do conteúdo de $\text{Na}^+$ e $\text{K}^+$

As determinações das concentrações de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  foram realizadas conforme descrito por Maia et al. (2010). A extração foi feita utilizando-se 50 mg de material moído, adicionado de 10 mL de água deionizada, em banho-maria a  $100^\circ \text{C}$ , durante uma hora. O extrato obtido foi filtrado em ponteiras com filtro de algodão, e analisado em fotômetro de chama (Micronal,

modelo B462), calibrado com soluções padrão de NaCl e KCl, contendo 50 ppm de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>, respectivamente. Os conteúdos (mmol Kg<sup>-1</sup>) de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> foram expressos com base na massa seca de folhas e raízes.

### Determinação do conteúdo de Cl<sup>-</sup>

A determinação das concentrações de Cl<sup>-</sup> foram realizadas conforme descrito por Maia et al. (2013). A extração foi feita utilizando-se 100 mg de material moído, adicionado de 25 mL de água deionizada, em banho-maria a 100 °C, durante uma hora. O extrato obtido foi filtrado em ponteiros com filtro de algodão, e alíquotas de 20 mL foram tituladas com nitrato de prata (AgNO<sub>3</sub>) a 28 mmol L<sup>-1</sup>, utilizando dicromato de potássio (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>) 5% (p/v) como indicador do final da reação. O conteúdo (mmol Kg<sup>-1</sup>) de Cl<sup>-</sup> foi expresso com base na massa seca de folhas e raízes.

### Delineamento estatístico e análise dos dados

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (2×2×5), representado por duas cultivares (Pitiúba e Pérola), duas doses de NaCl (0 e 100mM) e cinco tempos de coleta (0, 2, 4, 6 e 8 dias), com quatro repetições, para o primeiro tempo, e do esquema fatorial

(2×4×6), representado por duas cultivares (Pitiúba e Pérola), quatro doses de NaCl (0, 50, 100 e 200mM) e seis tempos de coleta (0, 4, 8, 12, 16 e 20 dias), com quatro repetições, para o segundo tempo. As parcelas experimentais foram representadas por um vaso plástico, contendo duas plantas.

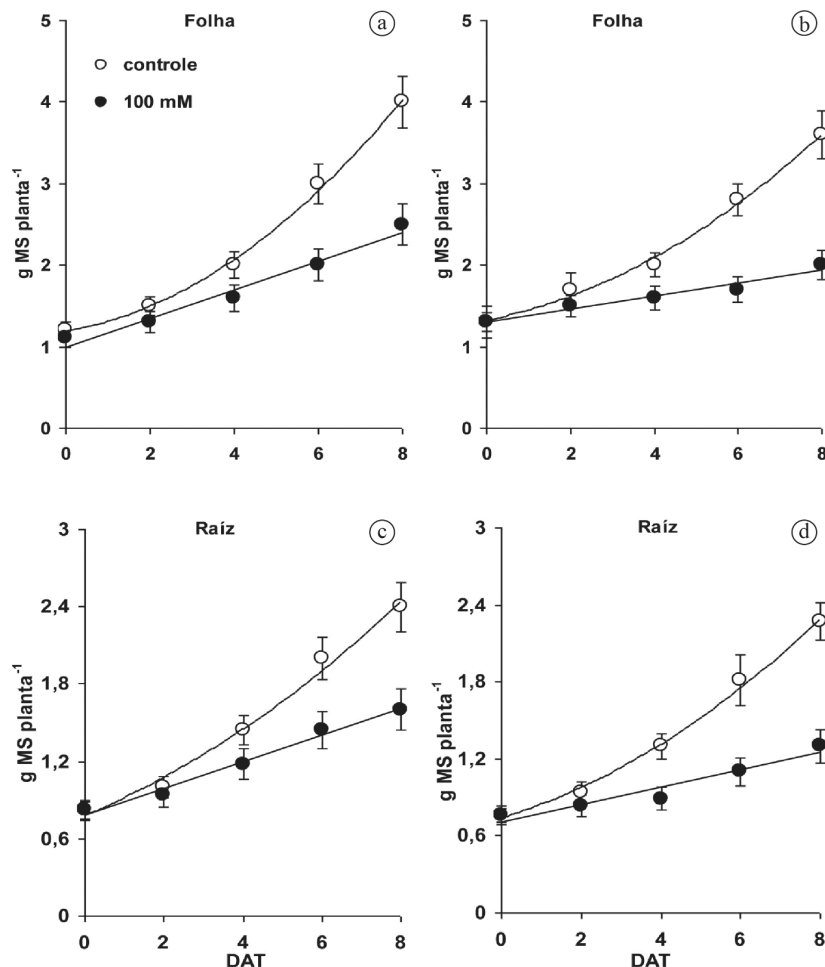
Os dados foram analisados estatisticamente com base na linha de tendência das médias e desvio padrão, por meio de retas e curvas ajustadas, e de regressão linear e polinomial, feitos pelo programa da Microsoft Office® 2010.

## Resultados e Discussão

### Efeito da salinidade no crescimento das duas cultivares de caupi

O tratamento salino induziu forte redução no acúmulo de massa seca em folhas e raízes nas duas cultivares (Figuras 1 e 2). No entanto, a cultivar Pitiúba apresentou melhor capacidade de incremento de massa seca em folhas e raízes, comparada a cultivar Pérola, tanto no experimento de curta, quanto de longa duração.

No experimento de curta duração, oito dias de exposição ao estresse salino, a análise de regressão do incremento de



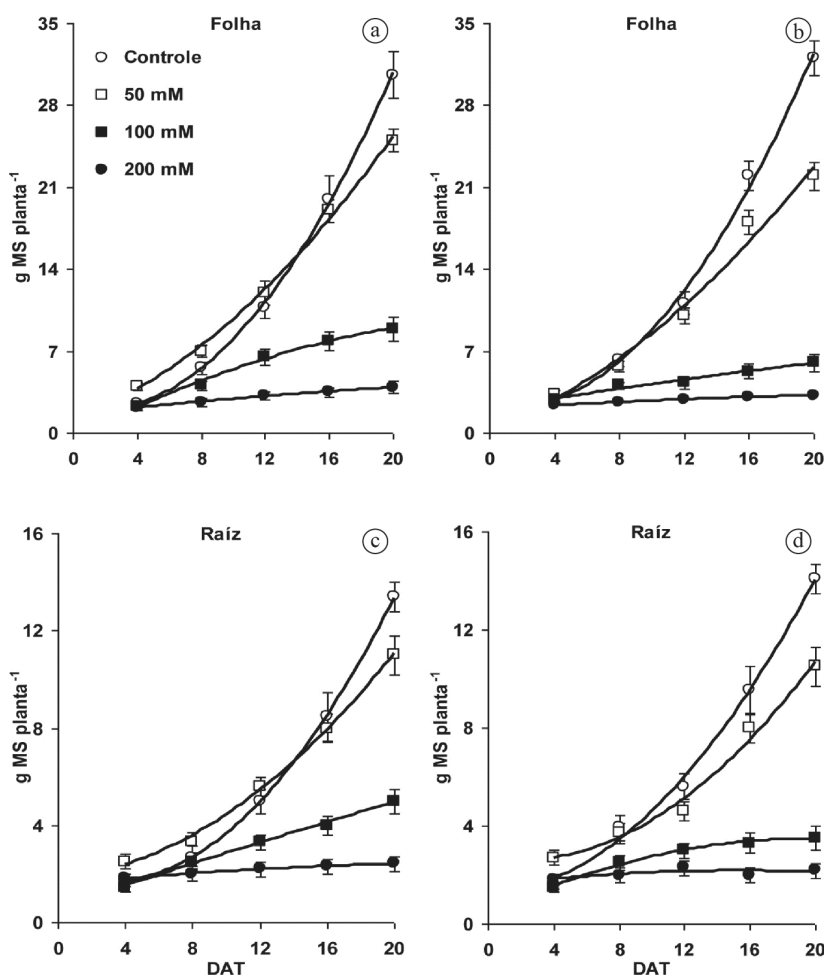
**Figura 1.** Conteúdos de massa seca de folhas e raízes de plântulas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultivares Pitiúba (a) e (c) e Pérola (b) e (d) submetidas a 0 (controle) e 100 mM de NaCl durante oito dias.

massa seca das folhas, em relação ao tempo de exposição a 100mM de NaCl, apresentou coeficiente angular de 0,175 ( $R^2=0,97$ ) e 0,08 ( $R^2=0,95$ ), respectivamente, para as cultivares Pitiúba e Pérola (Tabela 1). Nas raízes, esses valores foram de 0,103 ( $R^2=0,98$ ) e 0,067 ( $R^2=0,93$ ), para Pitiúba e Pérola, respectivamente (Tabela 1). Esses resultados mostram que, na presença de sal, plântulas da cultivar Pitiúba possuem taxas de incremento de massa seca de folhas e raízes, respectivamente 2,18 e 1,53 maiores, que a cultivar Pérola.

No experimento de longa duração, 20 dias de exposição ao estresse salino, a capacidade de incremento de massa seca de

folhas e raízes foi reduzida em ambas as cultivares, a partir de 50 mM de NaCl (Figura 2). Entretanto, a performance de crescimento observada pelo Pitiúba no experimento de curta duração foi reproduzida em um maior tempo de exposição ao NaCl (Figuras 1 e 2).

A análise de regressão do incremento de massa seca, em relação ao tempo de exposição ao NaCl, revelou capacidade superior de crescimento da cultivar Pitiúba em relação à cultivar Pérola, em todas as concentrações de NaCl avaliadas (Tabela 2). Os incrementos de massa seca das folhas da cultivar Pitiúba, verificado pelo coeficiente angular de regressão,



**Figura 2.** Massa seca de folhas e raízes de plântulas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultivares Pitiúba (a) e (c) e Pérola (b) e (d) submetidas a níveis crescentes de NaCl (0, 50, 100 e 200 mM) durante 20 dias.

**Tabela 1.** Análise de regressão do incremento de massa seca de folhas e raízes de plântulas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultivares Pitiúba e Pérola, cultivadas na ausência (controle) e presença de 100 mM de NaCl, durante oito dias.

Orgão	(NaCl) mM	Pitiúba		Pérola	
		Equação da reta	R <sup>2</sup>	Equação da reta	R <sup>2</sup>
Folhas	0	$\hat{Y} = 0,92 + 0,355x$	0,949	$\hat{Y} = 1,14 + 0,285x$	0,959
	100	$\hat{Y} = 1 + 0,175x$	0,972	$\hat{Y} = 1,3 + 0,08x$	0,955
Raiz	0	$\hat{Y} = 0,7 + 0,208x$	0,977	$\hat{Y} = 0,638 + 0,1945x$	0,973
	100	$\hat{Y} = 0,784 + 0,103x$	0,987	$\hat{Y} = 0,706 + 0,0675x$	0,931



foram 1,08 ( $R^2 = 0,98$ ), 2,23 ( $R^2 = 0,97$ ) e 1,97 ( $R^2 = 0,99$ ) maiores, comparativamente ao Pérola, respectivamente para as concentrações de NaCl (50, 100 e 200 mM) (Tabela 2).

Nas raízes o incremento de massa seca da cultivar Pitiúba demonstrado, por meio do coeficiente angular de regressão, situaram-se nos valores de 1,09 ( $R^2 = 0,96$ ), 1,78 ( $R^2 = 0,99$ ) e 2,17 ( $R^2 = 0,97$ ) superiores ao Pérola, para as concentrações de 50, 100 e 200 mM NaCl, respectivamente (Tabela 2).

Inicialmente a cultivar Pitiúba tem uma maior performance de crescimento em comparação ao Pérola aos oito primeiros dias de crescimento na ausência de sal, com valores de incremento de massa seca para as folhas e raízes 1,25 e 1,07, respectivamente superiores. Após esse período essa situação é invertida pelo Pérola onde o mesmo apresenta maior crescimento em comparação ao Pitiúba, com valores de incremento de massa seca para folhas e raízes 1,05 e 1,04, respectivamente superiores.

A redução de massa seca comparado a condição controle (ausência de NaCl) é maior na cultivar Pérola, quando expostos ao NaCl. As reduções foram maiores em comparação a cultivar Pitiúba em 15%, 10% e 3% para as folhas e 10%, 15% e 4% para as raízes nas concentrações de NaCl (50, 100 e 200 mM), respectivamente.

A redução no crescimento do feijoeiro frente à salinidade é atribuída a efeitos negativos sobre processos fisiológicos e bioquímicos essenciais, como a absorção e utilização de nutrientes (NEVES et al., 2009), eficiência fotossintética (SOUZA et al., 2011; ARAGÃO et al., 2005), absorção e assimilação de nitrogênio (ARAGÃO et al., 2011), fixação de carbono (SOUZA et al., 2011; ARAGÃO et al., 2005), utilização eficiente da água, toxicidade iônica (MAIA et al., 2013; DUTRA et al., 2011), danos oxidativos em proteínas, lipídeos, ácidos nucleicos e morte celular (MAIA et al., 2013, 2012, 2010).

Além desses eventos, a redução do crescimento das plantas submetidas ao estresse salino é atribuída ao sistema de compartimentalização e exclusão de Na<sup>+</sup> celular que demandam energia. Os mecanismos responsáveis pela compartimentalização vacuolar e exclusão celular do Na<sup>+</sup>, essenciais para desintoxicação citosólica sob estresse salino, são realizados por sistemas de contra-transporte Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> localizados no tonoplasto e plasmalema, respectivamente. Esses dois sistemas de transporte, embora não utilizem energia metabólica diretamente, necessitam da

manutenção do gradiente de H<sup>+</sup> transmembranar, o qual é mantido pela ação de H<sup>+</sup>ATPases localizadas no tonoplasto e plasmalema, respectivamente, e necessitam de energia na forma de ATP. Dessa forma, os sistemas de transporte de Na<sup>+</sup> em plantas ocorrem com gasto de energia indireto, que pode aumentar consideravelmente na presença de sal, significando desvio de energia para outros processos metabólicos, como o crescimento da parte aérea e raízes (KRONZUCKER; BRITTO, 2011; APSE; BLUMWALD, 2007).

Os resultados indicam que a cultivar Pitiúba possui melhor desempenho de crescimento comparado ao da cultivar Pérola quando expostas ao tratamento salino. Diferença existente entre genótipos de feijão-caupi quanto ao grau de resistência ao estresse salino, como constatada neste trabalho, tem sido relatada por diferentes autores (ALMEIDA et al., 2011; MAIA et al., 2010; MARINHO et al., 2009; ARAGÃO et al., 2005; DANTAS; RIBEIRO; ARAGÃO, 2005; DANTAS et al., 2002). Essa diferença está condicionada a diferentes mecanismos metabólicos relacionados com a manutenção da homeostase hídrica e iônica da planta, além da produção de enzimas antioxidantes e de hormônios (ESTEVES; SUZUKI, 2008).

Alguns resultados indicam que a redução no crescimento do feijão-caupi é causada pelo desequilíbrio iônico, principalmente na relação K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> nos tecidos da planta, causando toxicidade iônica, já que o estado hídrico dos tecidos não é alterado pela salinidade (MAIA et al., 2012; DUTRA et al., 2011).

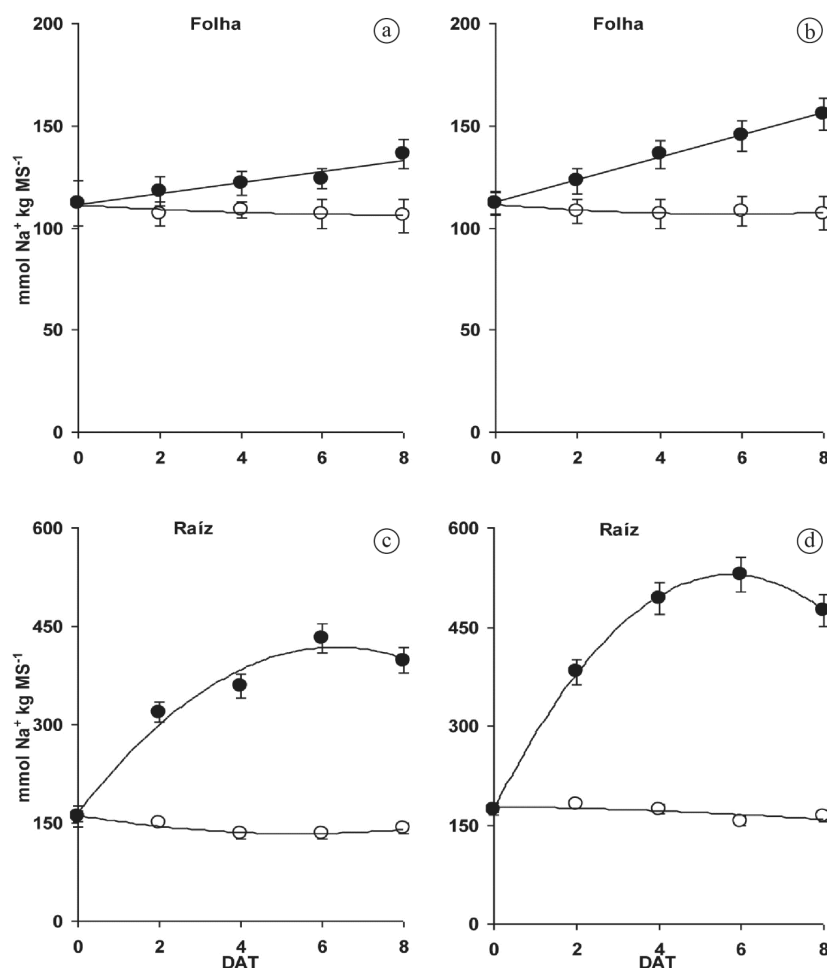
De fato, o desequilíbrio da relação K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> tem sido utilizado como indicador de toxicidade iônica, uma vez que valores abaixo de 1,0 indicam uma razão desfavorável para a aquisição e utilização de K<sup>+</sup>, baseado na competição entre K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> pelos sítios ativos de transportadores de membrana e enzimas dependentes de K<sup>+</sup> (MAIA et al., 2012; DUTRA et al., 2011; ALVES et al., 2012, 2009).

### Efeito da salinidade no acúmulo de Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e K<sup>+</sup> nas duas cultivares de caupi

A exposição das plântulas a 100mM de NaCl, durante oito dias, resultou em intenso acúmulo de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> em tecidos de folhas e raízes das duas cultivares (Figuras 3, 4 e 5). O acúmulo de Na<sup>+</sup> em folhas das duas cultivares ocorreu de forma proporcional ao tempo de exposição ao NaCl (Figuras 3 e 4). No entanto, o conteúdo de Na<sup>+</sup> nas folhas da cultivar Pérola foi

**Tabela 2.** Análise de regressão do incremento de massa seca de folhas e raízes de plântulas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultivares Pitiúba e Pérola, cultivadas na ausência (controle) e presença de 50, 100 e 200 mM de NaCl, durante 20 dias.

Orgão	(NaCl) mM	Pitiúba		Pérola	
		Equação da reta	R <sup>2</sup>	Equação da reta	R <sup>2</sup>
Folhas	0	$\hat{Y} = -7,289 + 1,7648x$	0,949	$\hat{Y} = -7,345 + 1,8493x$	0,949
	50	$\hat{Y} = -2,8 + 1,35x$	0,981	$\hat{Y} = -3,105 + 1,2423x$	0,968
	100	$\hat{Y} = 0,838 + 0,425x$	0,977	$\hat{Y} = 2,205 + 0,1908x$	0,969
	200	$\hat{Y} = 1,789 + 0,1078x$	0,990	$\hat{Y} = 2,169 + 0,0547x$	0,977
Raiz	0	$\hat{Y} = -2,499 + 0,7283x$	0,935	$\hat{Y} = -2,2 + 0,7635x$	0,961
	50	$\hat{Y} = -0,43 + 0,5425x$	0,967	$\hat{Y} = -0,07 + 0,4975x$	0,935
	100	$\hat{Y} = 0,678 + 0,2145x$	0,995	$\hat{Y} = 1,312 + 0,1205x$	0,901
	200	$\hat{Y} = 1,686 + 0,038x$	0,973	$\hat{Y} = 1,846 + 0,0175x$	0,977



**Figura 3.** Conteúdo de sódio em tecidos de folhas e raízes de plântulas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultivares Pitiúba (a) e (c) e Pérola (b) e (d) submetidas a 0 (○) e 100 mM (●) de NaCl durante oito dias.

relativamente maior, comparado ao Pitiúba, a partir do quarto dia de tratamento com NaCl (Figuras 3B e 4B).

No experimento de curta duração o conteúdo de Na<sup>+</sup> nas raízes foi duas vezes maior, comparado ao conteúdo desse íon nas folhas das duas cultivares (Figuras 3 e 4). Entretanto, no experimento de longa duração, após 16 dias de tratamento com NaCl, o conteúdo de Na<sup>+</sup> nas folhas do Pérola foi maior do que nas raízes (Figura 4).

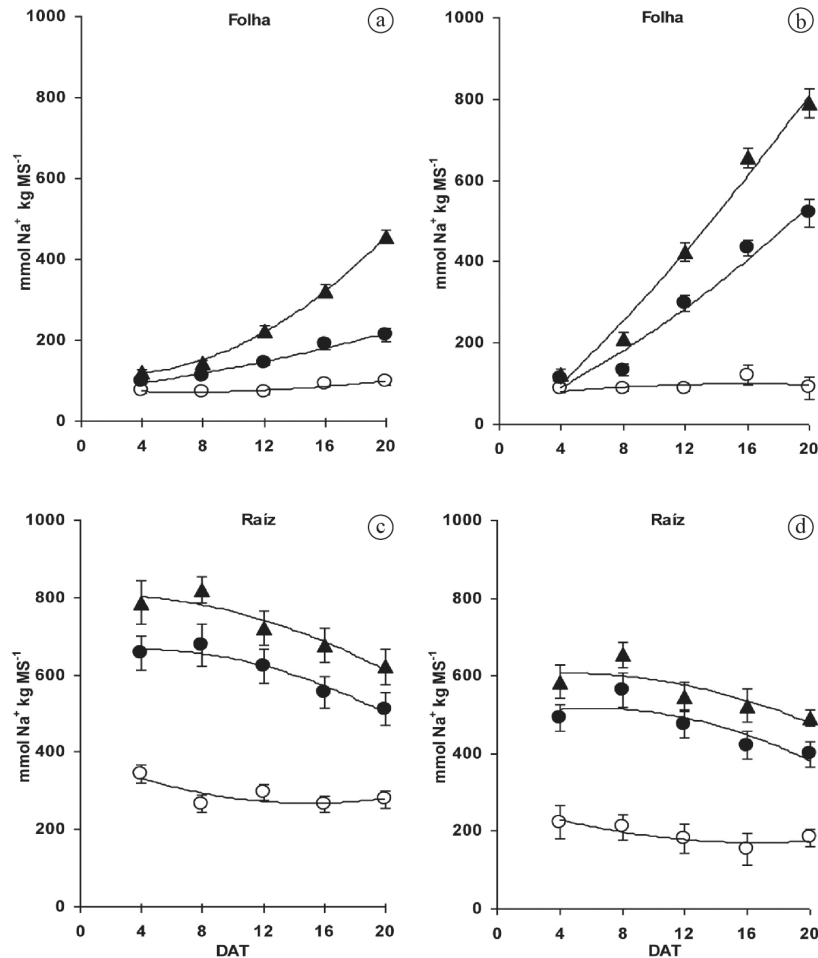
O acúmulo de Na<sup>+</sup> nas raízes, em função do tempo de exposição ao NaCl, apresentou comportamento diferente ao observado nas folhas, nas duas cultivares. Nas raízes, o acúmulo de Na<sup>+</sup> ocorreu de forma sigmóide, com acumulação máxima ao sexto dia de exposição ao NaCl, e decréscimo desse acúmulo após esse período. Nas folhas, o acúmulo de Na<sup>+</sup> ocorreu de forma linear, durante todo o período de tempo (Figuras 3 e 4).

O tratamento salino induziu forte acúmulo de Cl<sup>-</sup> em tecidos de folhas e raízes das duas cultivares (Figuras 5). No quarto dia de exposição ao NaCl, o conteúdo de Cl<sup>-</sup> nas folhas da cultivar Pitiúba foi duas vezes maior, comparado ao da cultivar Pérola (Figuras 5A e 5B), enquanto que nas raízes, o conteúdo desse íon foi relativamente maior no Pérola (Figuras 5C e 5D).

O acúmulo de Cl<sup>-</sup> nas folhas foi proporcional ao tempo de exposição ao NaCl, enquanto nas raízes ocorreu incremento no conteúdo desse íon até o quarto dia da aplicação do tratamento, seguido de estabilização no Pitiúba (Figura 5C) e redução no Pérola (Figura 5D), a partir desse período.

O conteúdo de potássio nas folhas não foi alterado em resposta ao tempo de exposição à salinidade nas duas cultivares (Figura 6). Embora, não tenha apresentado variações significativas nas folhas, o conteúdo de K<sup>+</sup> foi reduzido nas raízes em resposta ao NaCl presente na solução nutritiva, tanto na cultivar Pitiúba quanto na Pérola (Figuras 6C e 6D).

O conteúdo de K<sup>+</sup> nas raízes pode ter sido reduzido pelas altas concentrações de sódio através do antagonismo que existe entre esses dois íons. Pesquisas têm revelado a existência de múltiplos sistemas de absorção com diferentes seletividades para Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> o que pode refletir a necessidade da planta para coordenar o influxo desses cátions. As reduções nas concentrações de K<sup>+</sup> causada pelo excesso de NaCl nas raízes são causadas principalmente pelo aumento no efluxo de K<sup>+</sup> devido aos danos nas membranas e diminuição no influxo, por inibição no sistemas de alta e baixa afinidade de K<sup>+</sup>. Uma menor contribuição se



**Figura 4.** Conteúdo de sódio em folhas e raízes de plântulas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultivares Pitiúba (a) e (c) e Pérola (b) e (d) submetidas a 0 (○), 100 mM (●) e 200 mM (▲) de NaCl, durante 20 dias.

deve à translocação desse nutriente das raízes para a parte aérea sob condições de salinidade, onde esse soluto atuaria no ajuste osmótico, auxiliando a manutenção do turgor celular e absorção de água durante o estresse (ALVES et al., 2009).

Os resultados desse trabalho estão de acordo com os relatos por Maia et al. (2013, 2012), Souza et al. (2011) e Dutra et al. (2011), para os quais a exposição das plântulas de feijão-caupi ao NaCl contribui para o acúmulo de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas folhas e raízes, além de o acúmulo de Cl<sup>-</sup> ser maior do que o de Na<sup>+</sup> nas folhas e menor nas raízes. O conteúdo de K<sup>+</sup> permanece inalterado nas folhas, havendo uma tendência à redução nas raízes.

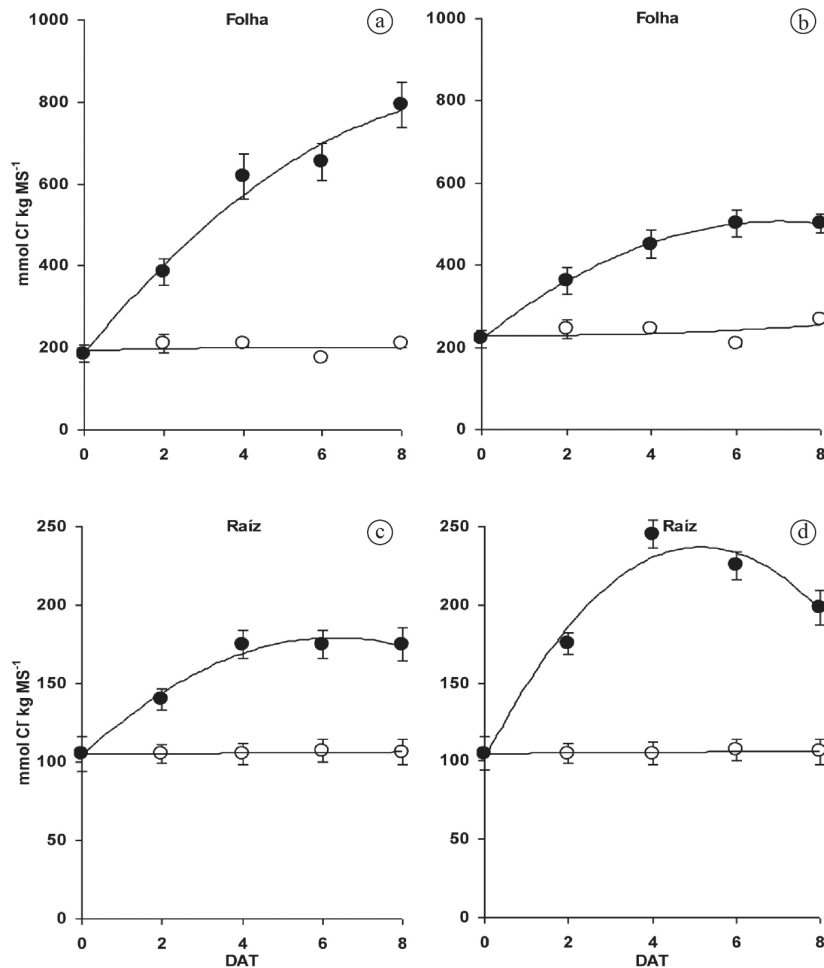
Os mecanismos de exclusão de Cl<sup>-</sup> nas folhas são menos efetivos, possivelmente por um maior transporte via apoplasto, em comparação ao Na<sup>+</sup>. Em algumas espécies, o acúmulo excessivo de Cl<sup>-</sup> pode causar toxicidade e decréscimo na fotossíntese causando redução no acúmulo de massa seca das folhas e raízes (SOUZA et al., 2011). Alguns pesquisadores também observaram que o ion Cl<sup>-</sup> acumula-se em maior quantidade nas folhas, quando comparado com o Na<sup>+</sup>, o que pode sugerir o papel relevante desempenhado por esse ion

nos efeitos negativos do NaCl em plantas de feijão-caupi (FERREIRA SILVA et al., 2008).

Freitas et al. (2013) tentando estabelecer uma correlação entre o acúmulo de íons tóxicos e o agravamento dos efeitos da salinidade em plantas de cajueiro, procederam ao cálculo do fluxo de absorção de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>. Os fluxos de ambos os íons aumentaram consideravelmente com a salinidade, entretanto o Cl<sup>-</sup> parece ter sido o mais prejudicial às plantas, uma vez que esse ion foi absorvido em maior proporção do que o Na<sup>+</sup>.

### Regulação do acúmulo de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> e resistência a salinidade no caupi

A capacidade de manutenção do crescimento e produção em níveis economicamente viáveis é um critério adotado para classificação de culturas, ou cultivares, em resistentes ou sensíveis à salinidade (ALMEIDA et al., 2011; DANTAS et al., 2002). O melhor desempenho de incremento de massa seca, nas folhas e raízes da cultivar Pitiúba (resistente), ocorreu associado ao menor conteúdo de Na<sup>+</sup> nos tecidos das folhas e retenção desse íon nas raízes.



**Figura 5.** Conteúdo de cloreto em tecidos de folhas e raízes de plântulas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultivares Pitiúba (a) e (c) e Pérola (b) e (d) submetidas a 0 (○) e 100 mM (●) de NaCl durante oito dias.

A capacidade das plantas em manter uma baixa concentração de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> na parte aérea (folhas), retendo-os nas raízes, em condições de excesso de salinidade do meio de cultivo, é tida como mecanismo adaptativo de genótipos ao estresse salino (ESTEVEZ; SUZUKI, 2008). O acúmulo excessivo de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> na parte aérea de plantas, em condições de salinização dos solos, causa toxicidade iônica, resultando em perda de área foliar e consequente redução da atividade fotossintética, ocasionando redução de crescimento e produtividade (MAIA et al., 2012; ARAGÃO et al., 2005). No geral, espécies e/ou genótipos que apresentam melhor capacidade de regular os processos de absorção, retenção e fluxo de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> para a parte aérea, em condições de salinidade elevada, apresentam menor toxicidade foliar e melhor performance de crescimento, o que está associado à resistência ao estresse salino em diferentes genótipos de feijão-caupi (MAIA et al., 2012; DUTRA et al., 2011; SOUZA et al., 2011).

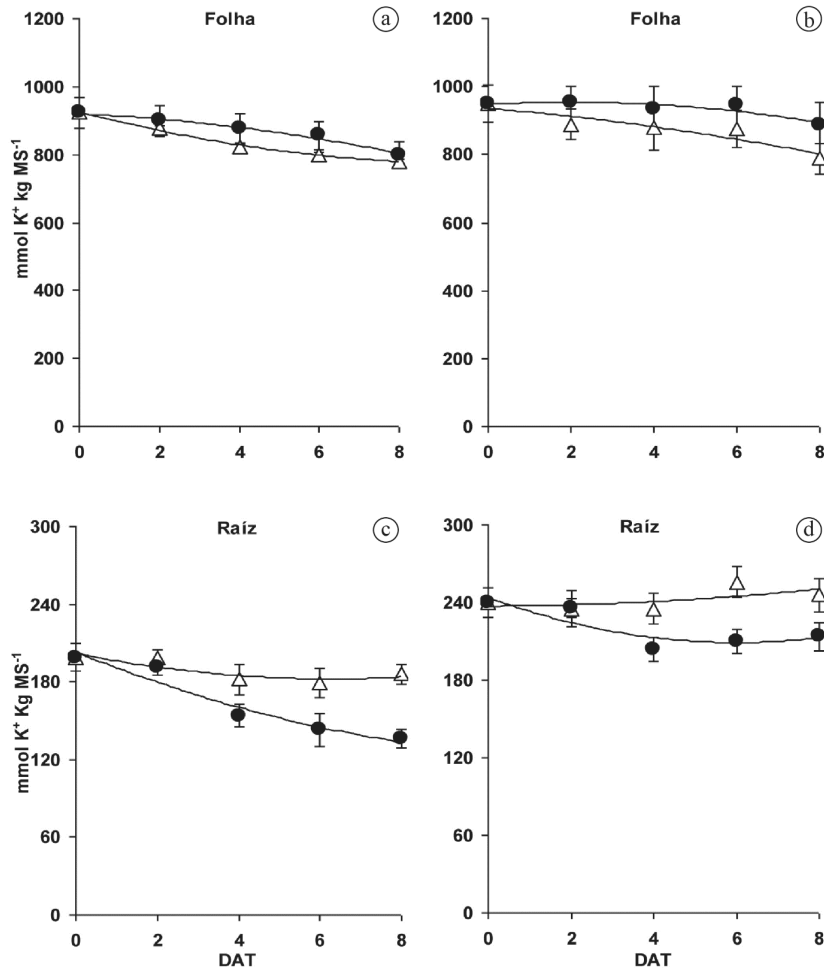
O conteúdo de Na<sup>+</sup> nas raízes de feijão-caupi exibiu uma forte tendência de redução a partir do sexto dia de tratamento salino, em todas as concentrações de NaCl testadas. Esse resultado

pode refletir a ação de mecanismos de exclusão de Na<sup>+</sup> radicular, estando associado a uma alta eficiência de sistemas de contra-transporte Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> na plasmalema de células desse órgão, juntamente com o aumento da atuação desses transportadores nas células do xilema, transportando o excesso desse íon acumulado nas raízes para serem compatimentabilizados nas células vacuolares da parte aérea (KRONZUCKER; BRITTO, 2011; APSE; BLUMWALD, 2007).

O Na<sup>+</sup> parece contribuir mais do que o Cl<sup>-</sup> para a toxicidade em plantas de feijão-caupi sob estresse salino. Contudo, existem estudos que demonstram que algumas culturas, a exemplo da soja, fumo, batata doce, abacateiro, videira, citros e cajueiro são mais sensíveis ao Cl<sup>-</sup> do que ao Na<sup>+</sup> (FREITAS et al., 2013; DIAS; BLANCO, 2010). De fato o maior acúmulo de Cl<sup>-</sup> na parte aérea pode ter contribuído pelo menos em parte para a redução da massa seca em feijão-caupi.

Os mecanismos de exclusão de Cl<sup>-</sup> nas folhas e raízes da cultivar Pitiúba são menos efetivos em comparação ao Na<sup>+</sup>. Assim o Na<sup>+</sup> parece ter contribuído mais do que o Cl<sup>-</sup> para a redução de massa seca em plantas de feijão-caupi sob estresse salino.





**Figura 6.** Conteúdo de potássio em tecidos de folhas e raízes de plântulas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultivares Pitiúba (a) e (c) e Pérola (b) e (d) submetidas a 0 (Δ) e 100 mM (●) de NaCl durante oito dias.

## Conclusões

O tratamento salino (NaCl) reduz o acúmulo de massa seca nos tecidos das duas cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*). No entanto, a cultivar Pitiúba apresenta melhor capacidade de incremento de massa seca, comparada a cultivar Pérola, em condições de estresse salino.

O melhor desempenho de incremento de massa seca da cultivar Pitiúba (resistente), ocorreu associado ao menor conteúdo de Na<sup>+</sup> nos tecidos das folhas e retenção desse íon nas raízes.

O grau de resistência à salinidade em feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) está associado mais a regulação do acúmulo de Na<sup>+</sup> do que de Cl<sup>-</sup> nos órgãos.

## Referências

- ALMEIDA, W. S. et al. Identificação de genótipos de feijão-caupi tolerantes a salinidade avaliado por meio de métodos multivariado. **Ciência Rural**, v. 41, n. 11, p. 1884-1889, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011001100006>.
- ALVES, F. A. L. et al. Cinética de absorção de K<sup>+</sup> na ausência e presença de Na<sup>+</sup> em raízes de cajueiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 439-445, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902012000300004>.
- ALVES, F. A. L. et al. Efeito do Ca<sup>2+</sup> externo no conteúdo de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> em cajueiros expostos a salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 4, p. 602-608, 2011. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i4a1257>.
- ALVES, F. A. L. et al. Mecanismos fisiológicos envolvidos com a diminuição de K<sup>+</sup> em raízes de cajueiro causada por NaCl. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 4, p. 588-595, 2009.
- APSE, M. P.; BLUMWALD, E. Na<sup>+</sup> transport in plants. **FEBS Letters**, v. 581, n. 12, p. 2247-2254, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.febslet.2007.04.014>. PMID:17459382.
- ARAGÃO, M. E. F. et al. Differential responses of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activities of two *Vigna unguiculata* cultivars to salt stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 17, n. 2, p. 207-212, 2005.
- ARAGÃO, R. M. et al. Salinidade modula negativamente a absorção e assimilação de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em plantas de feijão de corda. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 382-389, 2011.

- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v. 166, n. 1, p. 3-16, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.024>.
- BEZERRA, A. K. P. et al. Rotação cultural feijão caupi/milho utilizando-se água de salinidades diferentes. **Ciência Rural**, v. 40, n. 5, p. 1075-1082, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010000500012>.
- CARVALHO, L. M. et al. Disponibilidade de água no solo e crescimento de Artemísia. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 4, p. 726-730, 2003.
- DANTAS, B. F.; RIBEIRO, L. S.; ARAGÃO, C. A. Physiological response of cowpea seeds to salinity stress. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 1, p. 144-148, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222005000100018>.
- DANTAS, J. P. et al. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 425-430, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000300008>.
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicativos**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. p. 129-141.
- DUTRA, A. T. B. et al. Temperatura elevadas afetam a distribuição de íons em plantas de feijão caupipré-tratadas com NaCl. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 403-409, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000400012>.
- ESTEVES, B. S.; SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 4, p. 662-679, 2008.
- FAGERIA, N. K.; SOARES FILHO, W. S.; GHEYI, H. R. Melhoria genética vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicativos**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. p. 205-218.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. Melhoria para tolerância à salinidade. In: FRITSCH NETO, R.; BORÉM, A. (Orgs.). **Melhoramento de plantas para condições de estresse abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 151-176.
- 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.
- FREITAS, V. S. et al. Crescimento e acúmulo de íons em plantas de cajueiro anão precoce em diferentes tempos de exposição à salinidade. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3341-3352, 2013.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soil**. Berkeley: University of California, 1950. 32 p.
- KRONZUCKER, H. J.; BRITTO, D. T. Sodium transport in plants: a critical review. **The New Phytologist**, v. 189, n. 1, p. 54-81, 2011. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03540.x>. PMID:21118256.
- LIMA, C. J. G. S. et al. Resposta do feijão-de-corda a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento**, v. 2, p. 79-86, 2007.
- MAIA, J. M. M. et al. Atividade de enzimas antioxidantes e inibição do crescimento radicular de feijão caupi sob diferentes níveis de salinidade. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 2, p. 342-349, 2012.
- MAIA, J. M. M. et al. Differences in cowpea root growth triggered by salinity and dehydration are associated with oxidative modulation involving types I and III peroxidases and apoplastic ascorbate. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 32, p. 376-387, 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/s00344-012-9308-2>.
- MAIA, J. M. M. et al. Salt-induced changes in antioxidative enzyme activities in root tissues do not account for the differential salt tolerance of two cowpea cultivars. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 22, n. 1, p. 113-122, 2010.
- MARINHO, F. J. L. et al. Tolerância de genótipos de Caupi à salinidade no solo. **Cadernos de Agroecologia**, v. 4, n. 1, p. 1280-1284, 2009.
- NEVES, A. L. R. et al. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 758-765, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000014>.
- RIBEIRO, M. S.; BARROS, M. F. C.; SANTOS, M. B. G. Química dos solos salinos e sódicos. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e mineralogia do solo. Parte II: aplicações**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 449-484.
- SILVA, E. N. et al. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 1, p. 62-68, 2011.
- SOUZA, R. P. et al. Fotossíntese e acúmulo de solutos em feijoeiro caupi submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 6, p. 587-592, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011000600003>.

Recebido: 18 set. 2013  
Aprovado: 24 abr. 2015