

Associação
Brasileira de
Irrigação e
Drenagem



IV INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING
XXVI CONIRD - CONGRESSO
NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM
III SBS - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SALINIDADE

RELAÇÃO SÓDIO/POTÁSSIO EM PLANTAS DE ALGODÃO SUBMETIDAS AOS EFEITOS ISOLADO E COMBINADOS DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EXCESSIVA E DEFICITÁRIA E ESTRESSE SALINO

J. M. G. Pereira¹, C. F de Lacerda², H.N. Diogenes Neto³, M. S. S. Ribeiro⁴, A. A. Ribeiro⁴,
D. R. Oliveira³

RESUMO: Objetivou-se com o presente estudo, avaliar o acúmulo de Na⁺ e K⁺, a relação Na⁺/K⁺, na cultura do algodoeiro submetido aos efeitos de lâminas de irrigação excessiva e deficitária sob estresse salino. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação na Estação Agrometeorológica da UFC – Campus do Pici. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x4, correspondendo a diferentes níveis de reposição hídrica (70, 100 e 130% da demanda hídrica da cultura), associados aos crescentes níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,5; 5,0; e 7,5 dS m⁻¹), com cinco repetições. Ao final do estudo, foram determinados o acúmulo de Na⁺ e K⁺ na planta e a relação entre eles. O acúmulo de K⁺ sofreu influência dos tratamentos isoladamente. Já o acúmulo de Na⁺ e relação Na⁺/K⁺ foram influenciadas pela interação entre os fatores de estudo. Foi possível observar um aumento do acúmulo dos íons em função da lâmina aplicada. Contudo, isoladamente, o estresse salino provocou a redução do acúmulo de K⁺ e favoreceu o acúmulo de Na⁺ e Na⁺/K⁺. Foi possível concluir que o aumento da extração de Na⁺ em detrimento ao K⁺, deveu-se à competição iônica com o aumento da salinidade.

PALAVRAS-CHAVE: *Gossypium hirsutum* L., estresses abióticos, acúmulo de íons

SODIUM / POTASSIUM RELATIONSHIPS IN COTTON PLANTS SUBMITTED TO THE ISOLATED AND COMBINED EFFECTS OF EXCESSIVE AND DEFICITARY IRRIGATION AND SALT STRESS

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the Na⁺ and K⁺ accumulation, the Na⁺/K⁺ ratio, in the cotton crop submitted to the effects of excessive irrigation and deficit irrigation under salt stress. The work was conducted in a greenhouse at the Agrometeorological

¹ Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – Ceará. jordaniapjmp@hotmail.com

² Professor do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – Ceará. claudivan_@hotmail.com

³ Graduado do curso de Agronomia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – Ceará. noqueiraneto_@hotmail.com, davi.r14@outlook.com

⁴ Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – Ceará. sauderibeiro@gmail.com, alburibeiro@hotmail.com

Station of UFC - Campus do Pici. The design was completely randomized, in a 3x4 factorial scheme, corresponding to different levels of water replenishment (70, 100 and 130% of the water demand of the crop), associated to the increasing salinity levels of irrigation water (0.5, 2.5, 5.0 and 7.5 dS m⁻¹), with five replicates. At the end of the study, the accumulation of Na⁺ and K⁺ in the plant and the relation between them were determined. The accumulation of K⁺ was influenced by treatments alone. On the other hand, the Na⁺ accumulation and the Na⁺/K⁺ ratio were influenced by the interaction between the study factors. It was possible to observe an increase in the accumulation of ions as a function of the applied blade. However, saline stress alone reduced K⁺ accumulation and favored the accumulation of Na⁺ and Na⁺/K⁺. It was possible to conclude that the increase of Na⁺ extraction to the detriment of K⁺ was due to ionic competition with increased salinity.

KEYWORDS: *Gossypium hirsutum* L., abiotic stresses, ion accumulation

INTRODUÇÃO

A demanda crescente de água pela agricultura irrigada e a limitação em qualidade e quantidade desse insumo para atender a demanda crescente, principalmente em regiões semiáridas, tem aumentado o interesse pelo uso de fontes de má qualidade nessas regiões. Nesse sentido o aproveitamento de águas salinas vem sendo considerado uma alternativa viável para a produção das culturas, principalmente em áreas que não dispõem de água de boa qualidade e os níveis de precipitação são insuficientes para manter uma agricultura sustentável (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

No entanto é importante destacar que nas regiões semiáridas, como o Nordeste do Brasil a água é fator limitante também pela sua quantidade, devido principalmente a irregularidades das chuvas e os eventos de seca dos últimos anos. O que dentre outras coisas, resulta no menor armazenamento e abastecimento dos corpos hídricos, aumentando a importância da otimização do recurso água. Assim sendo, o estudo da aplicação de déficit hídrico associado a água salina pode ser uma estratégia viável economicamente, visto que o volume de chuvas concentrados podem ajudar a lavar esses solos no intervalo entre os cultivos. No entanto, é inevitável a interferência do déficit hídrico e dos sais sobre o crescimento e rendimento das culturas devido ao estresse a que são submetidas.

Segundo Tavakkoli *et al.* (2012) os principais efeitos dos sais sob as culturas, são o efeito osmótico, no qual o acúmulo de sais no solo interfere diretamente na absorção de água pelas

plantas; os desequilíbrios nutricionais, com a redução da absorção de nutrientes como Ca^{+2} , K^{+} e NO_3^{-} que competem com os íons que se encontram em excesso no solo; e o iônico, o qual decorre, em grande parte, de alterações nas relações $\text{Na}^{+}/\text{K}^{+}$ e de concentração excessiva de íons salinos (Na^{+} , Cl^{-}) em especial nas folhas, que são prejudiciais ao metabolismo celular (HORIE e SCHROEDER, 2004). As consequências lesivas da elevada salinidade são notadas na planta inteira, resultando em morte ou diminuição da produtividade. Como resposta aos danos causados pelo excesso de sais, muitas plantas ampliam os mecanismos de tolerância através de exclusão e/ou compartimentalização dos sais (ESTEVES & SUZUKI, 2008).

Assim nesse estudo objetivou-se avaliar o acúmulo de sódio e potássio bem como a relação entre eles, na cultura do algodoeiro submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária sob diferentes concentrações de sais na água de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Estação Agrometeorológica do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, localizado em Fortaleza, CE ($3^{\circ}45$ S de latitude, $38^{\circ}33$ W de longitude e 20 m de altitude). De acordo com a classificação de Köppen, a área do experimento está inserida em uma região de clima Aw' , ou seja, tropical chuvoso, muito quente, com predomínio de chuvas nas estações do outono e do verão. A precipitação média é de 1600 mm e temperatura média compreendida entre 26°C e 27°C .

O experimento foi instalado em ambiente protegido numa área de 76,8 m^2 , sob delineamento estatístico inteiramente casualizado, em esquema fatorial (3x4) com cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos por três lâminas de irrigação, que representavam percentuais da demanda hídrica da planta (70, 100 e 130% da DHC) e diferentes concentrações de sais na água de irrigação (0,5, 2,5, 5,0 e 7,5 dS m^{-1}).

A irrigação foi realizada diariamente e o volume de água aplicado ao solo em percentuais da evapotranspiração real das plantas (70, 100 e 130%) foi estimado diariamente de acordo com o princípio do lisímetro de drenagem. Para tanto, devido a mudanças na demanda hídrica da cultura pelo estresse salino, havia uma bateria de lisímetros para cada tratamento de água salina, de modo a se obter a lâmina correspondente a 100% da demanda hídrica naquela situação, sendo as demais lâminas estimadas a partir desta.

A água de menor CE ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$) foi obtida a partir da diluição de água de poço ($\text{CE} = 1,1 \text{ dS m}^{-1}$) com água da chuva ($\text{CE} = 0,03 \text{ dS m}^{-1}$). Para obtenção das demais concentrações ($2,5$, $5,0$ e $7,5 \text{ dS m}^{-1}$) foram adicionados à água do poço, os sais NaCl e CaCl_2 na proporção $7:3$, obedecendo-se a relação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e sua concentração ($\text{mmolc L}^{-1} = \text{CE} \times 10$), segundo Rhoades *et al.* (2000).

O material vegetal utilizado foi o algodão, cultivar Fiber Max 910, obtidas no Laboratório de Sementes da Universidade Federal do Ceará. As sementes foram semeadas em vasos de 7 dm^3 contendo solo e substrato, deixando-se cerca de 2 cm entre a superfície do solo e a borda superior do vaso para facilitar a irrigação. Até a diferenciação dos tratamentos, todas as plantas foram mantidas na capacidade de campo, por meio de irrigações diárias. Quatro dias após a emergência, as plantas sofreram desbaste, ficando uma planta por vaso, e os tratamentos foram diferenciados após 10 dias.

O substrato utilizado foi obtido pela mistura de solo retirado da camada de $0 - 0,20 \text{ m}$ de Neossolo Flúvico (EMBRAPA, 2006) coletado na Fazenda Experimental Vale do Curu – FEVC, pertencente à UFC, e húmus, na proporção $2:1$. A análise química da mistura (solo/húmus) encontra-se na tabela 1. A adubação de macronutrientes do algodoeiro e o parcelamento da mesma foi realizado conforme o Manual de recomendação da adubação e calagem do estado do Ceará (FERNANDES, 1993) e a adubação de micronutrientes deu-se com aplicação de 1 g por planta de FTEBR12 de uma única vez. O parcelamento da adubação deu-se com intervalo de 15 dias após a adubação de fundação (Tabela 2). Transcorridos 45 dias de submissão aos tratamentos, as plantas foram coletadas e separadas em raiz, caule, folhas, flores e capulhos e foram determinadas a matéria seca total, sendo pesadas após passarem por secagem em estufa com circulação de ar forçado mantendo-se a temperatura de 72°C . O tempo de secagem foi determinado por pesagens das amostras até a manutenção de peso constante.

Após a secagem e pesagem do material vegetal as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey (modelo MA 340, Marconi, BR) e foi realizada a extração em água, e posteriormente os teores de Na^+ e K^+ para cada parte da planta foram determinados por fotometria de chamas. De posse dos teores, estes foram multiplicados pela matéria seca para determinar o acúmulo dos íons no tecido vegetal.

Os dados foram submetidos a testes de normalidade e posteriormente à análise de variância a 5 e 1% de probabilidade. Quando da interação entre lâminas de irrigação e concentrações de sais na água de irrigação foi significativa, os dados foram desdobrados em análise de regressão sendo o modelo escolhido pelo R^2 ajustado. As análises estatísticas foram

realizadas com o auxílio dos softwares ASSISTAT[®] versão 7.7 beta e os gráficos foram confeccionados no SIGMAPLOT 12.0[®].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acúmulo total de potássio (K^+) em algodoeiro submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e diferentes concentrações de água salina foi influenciado pelos estresses de maneira isolada ($p < .01$) e o acúmulo total de sódio (Na^+) e a relação sódio potássio (Na^+/K^+) foram influenciadas pela interação entre os estresses hídrico e salino (Tabela 3).

Considerando os diferentes órgãos da planta, o acúmulo desses íons também foi alterada em função de ambos os estresses. Em termos gerais as folhas foram o órgão que acumularam maior quantidade de Na^+ e K^+ . Ao contrário do encontrado no presente estudo, Santos *et al.* (2009), considera que um menor acúmulo e, ou teor de Na^+ na folha, em detrimento dos outros órgãos, é uma resposta positiva, uma vez que está relacionada com a capacidade das plantas em diminuir a concentração deste elemento nos órgãos fotossinteticamente ativos, possibilitando a manutenção de produção contínua de folhas.

Já para Esteves & Suzuki, (2008) os mecanismos de tolerância aos sais podem ser simples ou extremamente complexos, podendo incluir acumulação ou extrusão seletiva de íons, compartimentalização de íons a nível celular (vacúolo) e estrutural (folhas). Quanto ao potássio, este é um íon altamente móvel e participante de diversos processos metabólicos, tais como ativações enzimáticas e regulação osmóticas, tendo alta concentração nas folhas visto que grande parte das reações vitais ao vegetal ocorre na folha.

A extração de potássio (Figura 1A) e sódio (Figura 1B) pelas folhas, assim como nos capulhos e caules tiveram sua quantidade modificadas pela lâmina de irrigação aplicada. Sendo os maiores valores, para K^+ , encontrados com o aumento da lâmina, visto que a disponibilidade deste elemento no solo é bastante influenciada pelo teor de água no solo devido, principalmente, à difusão e à relação entre os cátions (RAIJ, 1991).

Para o Na^+ a maior extração na folha do algodoeiro deu-se nas lâmina de 100% da DHC (Figura 1B), o que se deveu ao menor crescimento das plantas sobre déficit hídrico e conseqüentemente menor extração pelos tecidos. Na lâmina de 130% da DHC o menor acúmulo, em comparação com a lâmina de 100% da DHC deu-se pela lixiviação de sais e conseqüentemente menor concentração de Na^+ ficaram em contato com a zona de absorção (Figura 1B).

Quanto ao efeito da água salina na acumulação de Na^+ e K^+ nos diferentes órgãos, foi possível observar comportamento inverso do sódio e potássio na acumulação. A concentração de sais na água de irrigação favoreceu o acúmulo de sódio (Figura 1D) e em consequência, devido a interações antagônicas houve um decréscimo da extração de potássio pela planta (Figura 1C); esses resultados estão relacionados à baixa seletividade dos sistemas de absorção de potássio. Esse efeito foi principalmente observado em folhas e caules, sendo importante destacar que para o sódio, seu acúmulo na raiz foi aumentado pela concentração de sais aplicados.

A extração total pela planta para potássio adequou-se a modelos matemáticos de regressão linear, tendo reduzido $40 \text{ mg planta}^{-1}$ para cada 1 dS m^{-1} de sais aplicados (Figura 2A). No que se refere ao sódio, o efeito foi inverso tendo a acumulação de sódio crescido $15, 26,6$ e $36,3 \text{ mg planta}^{-1}$ para cada 1 dS m^{-1} , nas lâminas de 70, 100 e 130% da DHC, respectivamente (Figura 2B).

A redução da extração de K^+ tem sido apontada com uma resposta comum em plantas submetidas a estresse salino, podendo estar relacionada ao antagonismo entre Na^+ e K^+ durante o processo de absorção (SILVA *et al.*, 2010). Os sistemas de absorção de K^+ são altamente seletivos na zona radicular, mas esses transportadores podem ser utilizados para a absorção de Na^+ quando este íon se encontra em excesso em relação ao K^+ (NIEVES-CORDONES *et al.*, 2000; HORIE & SCHROEDER, 2004; MARTÍNEZ-CORDERO *et al.*, 2005). Adicionalmente, tem-se sugerido que o efluxo de K^+ provocado pelo acúmulo excessivo de Na^+ na zona radicular é resultante do deslocamento do Ca^{2+} das membranas (ALVES *et al.*, 2008).

Devido as relações antagônicas entre os íons, foi possível observar ajuste linear na relação sódio/potássio na planta inteira (Figura 3), tendo esta relação aumentado quando do aumento da concentração de sais na água de irrigação. Esses resultados corroboram com Lima *et al* (2015) que trabalhando com mamoneira sobre diferentes concentrações de sais na água de irrigação e diferentes doses de nitrogênio, observaram que a relação sódio/potássio em folhas e raiz aumentaram com o aumento da concentração de sais na água de irrigação.

Quando a relação Na^+/K^+ alcança valores superiores a 1,0 é indício de um desequilíbrio nutricional e reforça a maior intensidade de toxicidade iônica (FERREIRA-SILVA *et al.*, 2009). Na verdade, diversos autores têm correlacionado a resistência a estresses ambientais com a manutenção de uma nutrição potássica adequada dentro da planta podendo este parâmetro, em alguns casos, ser utilizado como critério de seleção de materiais sensíveis e resistentes a determinado tipo de estresse (MAATHUIS & AMTMANN, 1999).

CONCLUSÃO

A maior extração dos íons Na^+ e K^+ no algodoeiro deu-se nas folhas e o aumento das lâminas aplicadas favoreceu a extração de K^+ e Na^+ . Já o estresse salino reduz a absorção de potássio e aumenta a absorção de sódio devido a interações antagônicas

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade - INCTSal e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALVES, F. A. L.; FERREIRA-SILVA, S. L.; LIMA, J. P. S.; SILVEIRA, J. A. G. Efeitos do KCl e CaCl_2 na absorção e transporte de Na^+ em cajueiro exposto a salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.39, p.287-294, 2008.

FERNANDES, V.L.B. (Org). **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Universidade Federal do Ceará, 1993.

FERREIRA-SILVA, S. L.; VOIGT, E. L.; VIÉGAS, R. A.; PAIVA, J. R.; SILVEIRA, J. A. G. Influência de porta-enxertos na resistência de mudas de cajueiro ao estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.361-367, 2009.

HORIE, T.; SCHROEDER, J. I. Sodium transporters in plants. Diverse genes and physiological functions. **Plant Physiology**, v.136, p.2457-2462, 2004.

LIMA, G. S de; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L, A, A.; PINHEIRO, F. W. A.; DIAS, A. S. Crescimento, teor de sódio, cloro e relação iônica na mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Comunicata Scientiae** 6(2): 212-223, 2015.

MAATHUIS, F. J. M.; AMTMANN, A. K^+ nutrition and Na^+ toxicity: Bases of cellular K^+/Na^+ ratios. **Annals of Botany**, v.84, p.123-133, 1999.

MARTÍNEZ-CORDERO M.A.; MARTÍNEZ, V.; RUBIO, F. High-affinity K^+ uptake in plants. **Journal of Experimental Botany**, v.56, p. 1553-1562, 2005.

NIEVES-CORDONES, M.; MARTÍNEZ-CORDERO, M. A.; MARTÍNEZ, V.; RUBIO, F. An NH_4^+ - sensitive component dominates highaffinity K^+ uptake in tomato plants. **Plant Science**, v.172, p.273-280, 2000.

OLIVEIRA, A.B.; GOMES-FILHO, E.; ENÉAS-FILHO, J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, n.11,437 p.1-16, 2010.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: CERES/POTAFOS, 1991. 343p.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. UFPB: Campina Grande, 2000. 117p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 48).

Santos *et al.* (2009),

SANTOS, P.R. DOS, RUIZ, H.A., NEVES, J.C.L., FREIRE, M.B.G.S., FREIRE, F.J.. Acúmulo de cátions em dois cultivares de feijoeiro crescidos em soluções salinas. **Revista Ceres**, 2009. 56:666-678.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, v.74, p.1130-1137, 2010.

Tavakkoli *et al.* (2012)

TAVAKKOLI, E. PAULL, J.; RENGASAMU, P. MCDONALD, G.K. Comparing genotypic variation in faba bean (*Vicia faba* L.) in response to salinity in hydroponic and field experiments. **Field Crops Research**, v.127, n.1, p.99-108, 2012.

Tabela 1. Composição química da mistura (solo/húmus) (2:1) utilizado no cultivo do algodoeiro. UFC, 2016.

MO	C	N	C/N	Ca	Mg	Na	K	H ⁺ + Al ³⁺	P	pH	CE
----- g kg ⁻¹ -----			-	----- cmol _c kg ⁻¹ -----				mg kg ⁻¹	Água	dS m ⁻¹	
29,07	16,86	1,80	9	8,3	2,5	0,72	1,29	0,66	486	7,2	1,95

*MO: matéria orgânica; C: carbono; N: nitrogênio; C/N: relação carbono e nitrogênio; Ca; cálcio; Mg; magnésio; Na; sódio; K; potássio; H⁺ + Al³⁺; concentração de hidrogênio mais alumínio; P; fósforo; pH; potencial hidrogeniônico; CE: condutividade elétrica do solo.

Tabela 2. Parcelamento e recomendação de macronutrientes para o algodoeiro herbáceo irrigado, pelo Manual de recomendação de adubação do estado do Ceará, (1993) e adubação de micronutrientes.

Adubação	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Zn	B	Cu	Mn	Fe
	-----g-----											
Fundação	0,4	1,4	0,250	1,4	0,3	0,9	0,12	0,092	0,0217	0,034	0,0134	0,034
1ª Cobertura	0,6	-	0,375	-	-0,2	-	0,18	-	-	-	-	-
2ª Cobertura	0,6	-	0,375	-	-0,2	-	0,48	-	-	-	-	-
Total	1,6	1,4	1,00	1,4	0,7	0,9	0,78	0,092	0,0217	0,034	0,0134	0,034

* N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca; cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; Cl: Cloro; Zn: zinco; B: boro; Cu: cobre; Mn: manganês; Fe: ferro.

Tabela 3. Quadrados médios para acúmulo total de potássio e sódio e relação sódio potássio em algodoeiro submetido aos efeitos isolados e combinados de lâminas de irrigação excessiva e deficitária e diferentes concentrações de água salina.

F. Variação	GL	K ⁺	Na ⁺	Na ⁺ /K ⁺
L. Irrigação (F1)	2	566737,07**	67568,60**	0,0044*
C. Sais (F2)	3	231429,36**	1022008,67**	0,2808**
Inter. F1 x F2	6	181185,08 ^{ns}	5808,22**	0,00538**
Resíduos	48	14521,13	1088,33	0,0009
Total	59	-	-	-
CV (%)		14,18	14,99	10,94

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$). ^{ns} não significativo ($p \geq .05$).

Figura 1. Acumulo de potássio (A) e sódio (B) nos diferentes órgãos da planta em função das lâminas de irrigação aplicadas e distribuição de K^+ (C) e Na^+ (D) em função das diferentes concentrações de sais na água de irrigação. Pontos representam médias de 5 repetições e médias foram expressas em $mg\ planta^{-1}$

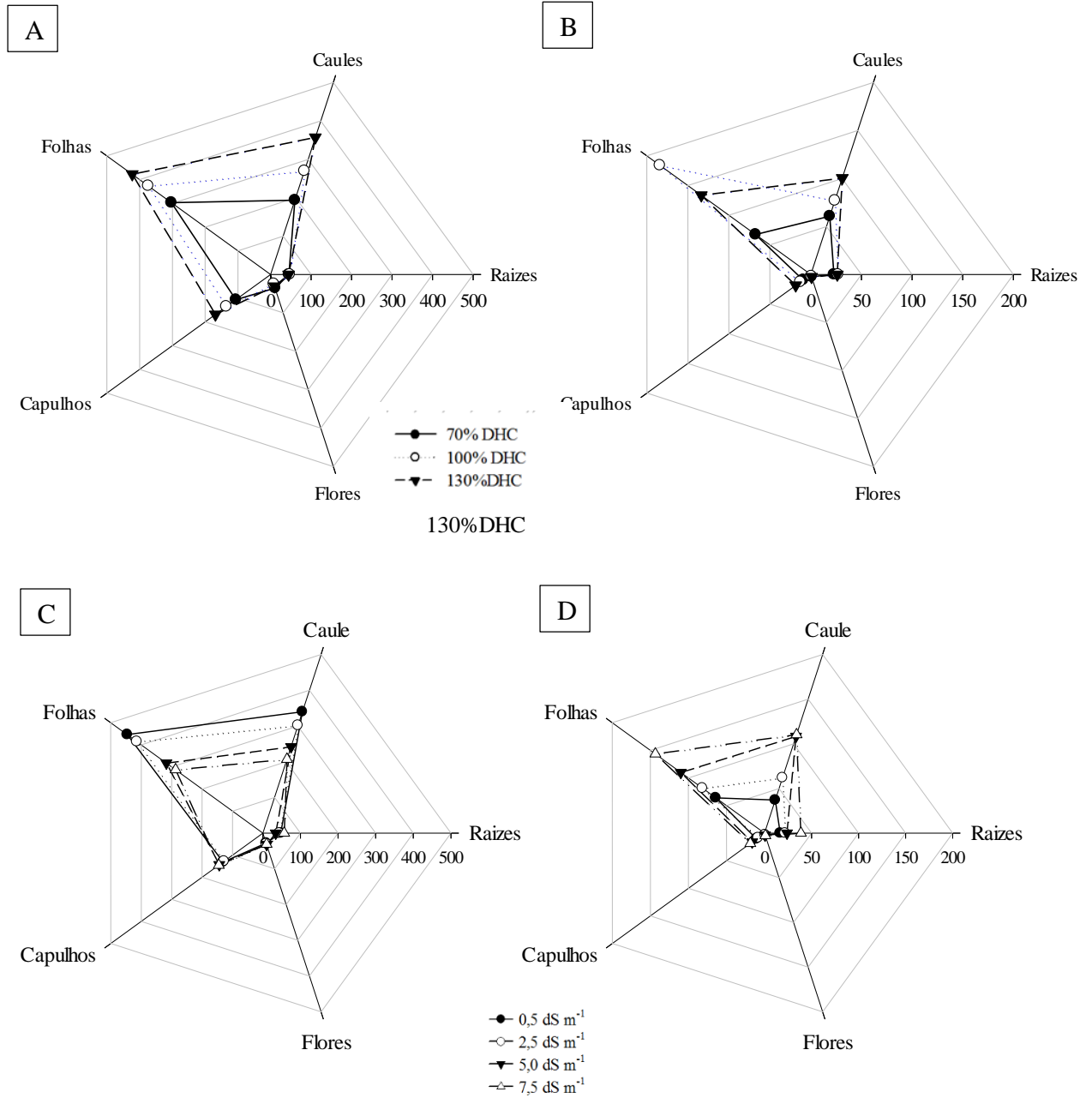


Figura 2. Concentração de potássio (A) e sódio (B) em algodoeiro, em função da concentração de sais na água de irrigação.

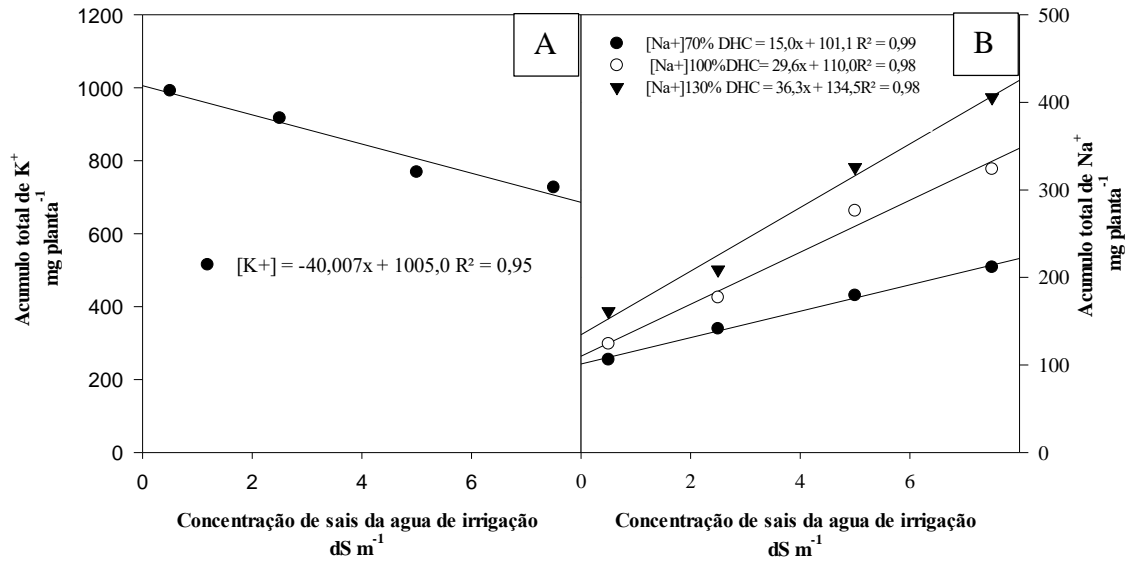


Figura 3. Relação do acumulo de sódio/potássio em algodoeiro, em função da concentração de sais na água de irrigação.

