



ARTIGO ORIGINAL

Crescimento inicial e acúmulo de sódio em plantas de arroz submetidas à salinidade

Initial growth and sodium content in rice plants under salinity

Elisa Souza Lemes^{1*}
Sandro de Oliveira¹
Edinilson Henrique das Neves¹
Ronan Ritter¹
André Oliveira de Mendonça²
Geri Eduardo Meneghello¹

¹ Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Rua Gomes Carneiro, 1, Centro, 96010-610, Pelotas, RS, Brasil

² Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Farroupilha, Rodovia RS 377, s/n, Passo Novo, 97555-000, Alegrete, RS, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: lemes.elisa@yahoo.com.br

PALAVRAS-CHAVE

Oryza sativa L.
Estresse abiótico
Análise de crescimento
Tolerância

KEYWORDS

Oryza sativa L.
Abiotic stress
Growth analysis
Tolerance

RESUMO: A análise de crescimento é um método acessível, de baixo custo e bastante preciso, utilizado para avaliar o crescimento vegetal em diferentes condições de ambiente de cultivo e manejo. Diante disso, objetivou-se avaliar o efeito da salinidade sobre o crescimento inicial e acúmulo de sódio no tecido vegetal de duas cultivares de arroz com diferentes níveis de tolerância à salinidade. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 (cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, com e sem estresse salino) com cinco repetições. Para simular o estresse salino foi utilizada água com condutividade elétrica de 2 Ds m⁻¹. As avaliações foram realizadas aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência (DAE), sendo avaliados os parâmetros: altura de planta, área foliar, matéria seca de parte aérea e teor de sódio. Para o cálculo das taxas assimilatórias líquidas (TAL), de crescimento relativo (TCR) e de crescimento da cultura (TCC), contemplaram-se os períodos de 10, 30 e 50 DAE. A salinidade reduz a altura da planta, área foliar e massa de matéria seca das plantas, enquanto aumenta o teor de sódio nos tecidos das cultivares. A cv. BRS Bojuru, submetida à salinidade, tem melhor resposta no início do crescimento que a cv. IRGA 417, e apresenta melhor taxa de crescimento relativo aos 30-50 DAE. A taxa assimilatória líquida não é influenciada pela salinidade no período de 30-50 DAE em ambas as cultivares.

ABSTRACT: Growth analysis is an affordable, cheap, and accurate method to evaluate plant growth against different environmental and management conditions. In this sense, this study aimed to evaluate the effect of salinity on the initial growth and sodium accumulation in the plant tissue of two rice cultivars. The experimental model used was a completely randomized design, constituting a 2 x 2 factorial (BRS Bojuru and IRGA 417 cultivars; with and without salt stress) with five replications. One level of salinity (2.0 dS m⁻¹) was used by the addition of sodium chloride solution, except for the control, which received only tap water. Plant height, the leaf area, shoot dry matter, and sodium content were assessed at 10, 20, 30, 40 and 50 days after emergence (DAE). For calculation of the growth rates [net assimilation rate (NAR), relative growth rate (RGR) and crop growth rate (CGR)] the periods of 10, 30 and 50 DAE were considered. Based on the results obtained, it is concluded that the salinity reduces plant height, leaf area, shoot dry matter, and increases the sodium content in the cultivars' tissues. At the early growth, the BRS Bojuru cultivar in salt stress condition shows better response than IRGA 417 cultivar. The BRS Bojuru cultivar presents better RGR at 30-50 DAE in salinity condition. The NAR is not influenced by the salinity in the period of 30-50 DAE in both cultivars.

1 Introdução

A maioria das cultivares e híbridos de arroz irrigado recomendados para cultivo no Rio Grande do Sul e Santa Catarina são sensíveis a vários tipos de estresses abióticos. A salinidade é um dos mais importantes fatores de estresse abiótico. Além de trazer prejuízos às propriedades físicas e químicas do solo, provoca a redução generalizada do crescimento das plantas cultivadas, acarretando sérios prejuízos à atividade agrícola (Cavalcante et al., 2010). O estresse salino pode ocorrer tanto pela presença de sais em excesso no solo quanto por sua introdução ao sistema de cultivo, via água de irrigação (Schossler et al., 2012). Em ambas as situações a quantidade elevada de sais pode afetar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura do arroz.

A qualidade da água de irrigação é determinada pela salinidade, que é estabelecida pelas concentrações excessivas de sais solúveis que afetam o crescimento das plantas. No Rio Grande do Sul, devido ao principal sistema de irrigação da cultura do arroz ser por inundação, pode resultar em salinização dos solos com drenagem inadequada, especialmente àqueles que utilizam água da Laguna dos Patos, sujeita à salinização pela entrada de água do mar quando abaixa o nível desse manancial, tornando-se uma das maiores limitações ambientais na produção de arroz.

Da mesma forma que a salinidade afeta o solo, há também reflexos dos seus efeitos nas plantas. O excesso de sal afeta as culturas de duas maneiras: pelo aumento do potencial osmótico do solo – quanto mais salino for um solo, maior será a energia gasta pela planta para absorver água e com ela os demais elementos vitais, tais como CO_2 , micro e macronutrientes – e pela toxicidade de determinados elementos, principalmente sódio, boro, bicarbonatos e cloretos, que em concentração elevada causam distúrbios fisiológicos nas plantas (Silva et al., 2013). Em consequência do potencial osmótico do solo, as plantas fecham os estômatos para reduzir a perda de água por transpiração, resultando em menor taxa fotossintética, o que constitui uma das causas do reduzido crescimento das espécies sob condições de estresse salino (Taiz et al., 2017).

Um dos métodos mais difundidos para determinação da tolerância das plantas ao excesso de sais é a observação durante a fase de germinação e crescimento inicial das plântulas em meio salino. A tolerância de plantas durante a germinação e emergência é baseada em percentual de sobrevivência, enquanto em estádios posteriores de desenvolvimento a tolerância é baseada em variáveis de crescimento. Quando o estresse acontece na fase inicial de desenvolvimento da planta, pode haver prejuízo às características agrônômicas e, conseqüentemente, na produtividade e, nos casos mais graves, o excesso de sais causa a morte das plântulas (Farias et al., 2009). Pedrotti et al. (2015) destacam que a redução da taxa de crescimento das plantas sob estresse salino ocorre de forma mais acentuada nos tecidos jovens, afetando os mecanismos de divisão e expansão celular nos pontos de crescimento da planta.

As plantas cultivadas são classificadas como sensíveis, moderadamente sensíveis, moderadamente tolerantes e tolerantes ou resistentes, no que se refere à ação degenerativa dos sais na germinação, crescimento e produção. O arroz é classificado como moderadamente suscetível, havendo também variações

quanto à tolerância salina entre genótipos da mesma espécie. No entanto, sabe-se que algumas cultivares podem apresentar tolerância às condições salinas do ambiente, sendo o limite de tolerância dependente da concentração do sal em solução, do tempo de exposição, bem como do estágio de desenvolvimento das plantas (Santo & Brito, 2016).

A análise de crescimento é método acessível, de baixo custo, bastante preciso e utilizado para avaliar o crescimento vegetal em diferentes condições de meio e de manejo (Aumonde et al., 2013). A técnica possibilita a inferência da contribuição de distintos processos fisiológicos sobre o desempenho vegetal e consiste no primeiro passo para interpretação e análise da produção primária (Pedó et al., 2013). Portanto, a análise da influência do ambiente sobre o estabelecimento da cultura pode ser evidenciada pelas alterações no crescimento e desenvolvimento dos vegetais ao longo do tempo, em condições estressantes de ambiente.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito da salinidade sobre o crescimento inicial e acúmulo de sódio no tecido vegetal de duas cultivares de arroz com diferentes níveis de tolerância à salinidade.

2 Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação e no Laboratório Didático de Análise de Sementes (LDAS) do Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPel), seguindo um delineamento inteiramente casualizado em arranjo bifatorial AxB (Fator A: BRS Bojuru e IRGA 417; Fator B: com e sem estresse salino), com cinco repetições. Utilizaram-se sementes das cultivares IRGA 417 (Harter, 2014) que tem ciclo médio, estatura média (79 cm), suscetível à salinidade; e BRS Bojuru, que tem ciclo médio, estatura média (90 cm), tolerante à salinidade (Larré et al., 2014).

A semeadura foi realizada em vasos plásticos, preenchidos com 8 litros de solo peneirado, coletado do horizonte A1 de um Planossolo Háptico Eutrófico solódico (Streck et al., 2008), pertencente à unidade de mapeamento Pelotas. A calagem e adubação foi feita de acordo com os resultados da análise de solo, seguindo as recomendações do CQFS-RS/SC (2004), nas doses de $3,2 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário, 80 kg ha^{-1} de ureia, 55 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 50 kg ha^{-1} de K_2O , incorporando manualmente o corretivo ao solo aos 30 dias e os adubos 14 dias antes da semeadura, para permitir adequada reação do calcário no solo elevando a saturação por bases e disponibilidade dos nutrientes para as plantas.

Para simular o estresse salino, realizou-se a irrigação com solução de cloreto de sódio (NaCl), com condutividade elétrica de 2 dS m^{-1} . Após a semeadura, a irrigação foi feita diariamente no período da manhã, mantendo-se o solo próximo à capacidade de campo até o estabelecimento definitivo da lâmina de água, ocorrido 30 dias após a emergência, procurando manter uma lâmina de água em torno de 10 cm, conduzindo, dessa forma, o experimento até o final da avaliação. Para monitorar os vasos quanto à necessidade de irrigação, instalou-se um tensiômetro na profundidade de 20 cm, em vaso separado dos demais tratamentos.

As avaliações transcorreram aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência (DAE). As plantas foram retiradas dos vasos, cortadas rente ao solo e colocadas em sacos plásticos contendo algodão umedecido, para minimizar os efeitos de perda de água. Foram coletadas duas plantas, nas quais foram avaliadas em relação à altura de planta, medindo-se da base até o ápice das folhas. A área foliar, verificada utilizando determinador fotoelétrico (Area Meter, modelo LI-3100 da Li-COR Ltda.), que fornece leitura direta em cm². A matéria seca de parte aérea foi realizada pelo método de estufa a 70°C, na qual as plântulas foram mantidas por período de 72 horas e, para sua mensuração, utilizou-se balança com precisão centesimal.

Também foi avaliado o acúmulo de sódio no tecido vegetal em cada época, cuja determinação foi estabelecida com o uso de 1 g de material triturado, obtido a partir da trituração do material vegetal nas épocas propostas no trabalho. Utilizou-se a metodologia proposta por Tedesco et al. (1995), cuja atividade inicial consiste em adicionar 6,0 mL de HNO₃ em tubos de digestão, os quais são mantidos em repouso até o dia seguinte. Cada tubo foi agitado manualmente e levado para um bloco digestor à temperatura de 80-90°C por ½ hora. Após esse período, foi elevada a temperatura 120°C, sendo mantidos nessa condição até restar 0,5-1,0 mL de ácido. Ao final dessa etapa, desliga-se o bloco digestor e os tubos permanecem em esfriamento por 10 minutos, adicionando-se 1 mL de HClO₄. Em seguida, os tubos de digestão são aquecidos até a temperatura de 180-190°C, quando começa o desprendimento de vapor de HClO₄ (branco), funis de 30 mm de diâmetro são colocados nos tubos de digestão. Depois de duas horas na temperatura de 180-190°C, e após resfriado, adicionam-se 5 mL de água destilada. Posteriormente, o volume é ajustado para 20 mL com adição de água destilada, deixando decantar até o dia seguinte. No dia seguinte, transferem-se as soluções para frascos “snap-cap” de 90 mL. Para a emissão de sódio, pipetam-se 15 mL da solução mais 5 mL de água destilada e, então, realiza-se a leitura em fotômetro de chama.

Por meio dos dados obtidos para AP, AF e MMS, foram calculadas as taxas de crescimento contemplando os períodos de 10, 30 e 50 DAE. Para tanto, foram determinadas a taxa assimilatória líquida (TAL), que representa a taxa de incremento de massa de matéria seca (W) por unidade de área foliar (L) existente na planta, assumindo-se que tanto L como W aumentam exponencialmente, mediante cálculo pela fórmula a seguir:

$$TAL = (W_2 - W_1) * (\ln L_2 - \ln L_1) / (L_2 - L_1) * (T_2 - T_1) \text{ (g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}\text{)}$$

Em que W₁ e W₂ são as variações da massa da matéria seca e L₁ e L₂ são as variações da área foliar em duas amostras consecutivas tomadas nos tempos T₁ e T₂. A taxa de crescimento relativo (TCR) representa a quantidade de material vegetal produzido por determinada quantidade de material existente (mg), durante um intervalo de tempo (dias) prefixado.

$$TCR = \ln P_2 - \ln P_1 / T_2 - T_1$$

Em que P₁ e P₂ são as variações da massa da matéria seca em duas amostras consecutivas tomadas nos tempos T₁ e T₂; a taxa de crescimento da cultura

(TCC) indica a variação de crescimento em determinado intervalo de tempo, ou um incremento de matéria seca nesse mesmo intervalo.

$$TCA = (P_2 - P_1) / (T_2 - T_1) = \text{mg dia}^{-1} \text{ (ou outra medida de tempo)}$$

Em que P₁ e P₂ são as variações da massa da matéria seca em duas amostras consecutivas tomadas nos tempos T₁ e T₂.

Os dados do experimento foram submetidos à análise de variância e, havendo significância pelo teste F, compararam-se as médias por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3 Resultados e Discussão

Verificou-se interação entre os fatores cultivar (BRS Bojuru e IRGA 417) e a condição de cultivo (controle e estresse salino) para as variáveis altura de planta (AP) aos 10, 40 e 50 DAE; área foliar (AF) aos 30, 40 e 50 DAE; e massa de matéria seca (MMS) aos 20, 30, 40 e 50 DAE. A interação desses fatores demonstrou que as cultivares se desenvolvem de forma diferente em função da irrigação controle e com solução salina. No entanto, observou-se que, em algumas épocas avaliadas, se obteve somente efeito individual dos fatores sobre o crescimento inicial.

Na primeira época de avaliação (10 DAE) foi observado que, para altura de plântula (AP), a cultivar BRS Bojuru foi superior a IRGA 417 nas condições controle e com estresse salino. Além disso, quando irrigadas somente com água, as plantas apresentaram melhor resposta do que quando submetidas à irrigação com solução salina (Tabela 1). Esse mesmo efeito da salinidade foi observado por Cruz et al. (2006) em maracujazeiro-amarelo. Nesse estudo, os autores constataram que as plantas apresentaram maior altura quando cultivadas em ausência de salinidade.

Para as variáveis área foliar (AF) e massa de matéria seca (MMS), detectou-se que a BRS Bojuru foi superior. No caso da AF, não foi constatada diferença entre as condições controle e com estresse salino. Já para a MMS, observou-se uma redução de 9,3% do controle em relação à condição de estresse salino, independentemente da cultivar (Tabela 1). A inibição do crescimento das plantas pelo sal pode ser sinal do desvio de energia do crescimento para a manutenção, sendo que a diminuição da massa seca pode refletir no custo metabólico de energia, associado à adaptação à salinidade e redução do ganho de carbono (Cruz et al., 2006).

Aos 20 DAE, independentemente da cultivar utilizada, a condição de controle foi estatisticamente superior à condição com salinidade, tanto para AP como para AF, sendo que a salinidade resultou em redução acentuada de 23,9% na área foliar (Tabela 1). Na média das condições para AP, a cultivar IRGA 417 foi superior em 7,1% e, para AF, a cultivar BRS Bojuru obteve melhor resultado, superior em 54,4%. Para MMS, observou-se que a cultivar BRS Bojuru foi maior em ambas as condições (controle e com estresse salino) e, dentro de cada cultivar, a condição controle foi a que proporcionou maior massa seca de planta (Tabela 1). Vale salientar que espécies consideradas tolerantes ao sal apresentam redução de crescimento em presença de salinidade, sendo que, em

igual concentração de sal, as plantas tolerantes são capazes de manter taxas maiores de crescimento em relação às sensíveis.

Na terceira época de avaliação (30 DAE) foi constatado, independentemente da cultivar utilizada, que a condição controle permitiu maior crescimento em AP, aproximadamente 16% em relação à condição de estresse salino (Tabela 1). Em relação à cultivar, sem efeito da condição de irrigação, a IRGA 417 foi superior em 15,3%. No que se refere à AF, para a cultivar BRS Bojuru, não foi verificada diferença entre o controle e a condição de estresse. Já para a cultivar IRGA 417, a irrigação somente com água proporcionou maior área foliar. No entanto, na comparação entre as cultivares, a BRS Bojuru respondeu melhor ao estresse salino.

A intensidade com que a salinidade afeta o crescimento e a produtividade do arroz é determinada por fatores associados à própria planta, ao solo e à água, às práticas de manejo e às condições ambientais (Carmona et al., 2010). Levando-se em consideração a interação entre tais fatores, uma cultivar pode manifestar tolerância à salinidade, sobrevivendo e, às vezes, até crescendo, mesmo que em taxas menores, ou pode mostrar-se suscetível, apresentando redução severa no crescimento ou morte, dependendo da intensidade do estresse (Cambraia, 2005). Um significativo decréscimo no crescimento é efeito imediato do estresse salino, ao qual se segue uma recuperação gradual até atingir nova taxa de crescimento, geralmente inferior àquela existente antes da indução do estresse (Willadino & Camara, 2010).

Já para a MMS, constatou-se melhor resposta da cultivar BRS Bojuru na condição controle, enquanto, para a IRGA 417, não foi observada diferença entre as condições. Porém, quando comparadas as cultivares em cada condição, não foi detectada diferença entre as cultivares na condição controle, mas, para a condição de estresse, a cultivar IRGA 417 foi superior. A salinidade apresenta relação inversa com a AF, uma vez que ocorrem reduções na área de captação de energia luminosa, bem como na fixação da CO_2 , por unidade de área, acompanhadas pelo aumento da taxa transpiratória. As baixas taxas de assimilação de CO_2 , no período luminoso, são também acarretadas por déficit hídrico e fechamento parcial dos estômatos, o que diminui o turgor das células mesofílicas (Taiz et al., 2017).

A água está relacionada ao crescimento das plantas, visto que a condutância estomática é diretamente afetada pela menor disponibilidade de água no meio, o que altera o fluxo transpiratório responsável pela ascensão de água no xilema e pelo fornecimento para os tecidos meristemáticos, assim como folhas e caules (Scalon et al., 2011). A redução de AF, em muitos casos, pode ser reflexo de estresse no ambiente radicular, provocando, em alguns casos, desequilíbrio fisiológico nas plantas em geral, devido a alterações na partição de fotoassimilados e à redução na área de folhas destinada ao processo fotossintético, o que pode acarretar perdas de produtividade (Pedó et al. 2013). No entanto, a redução em AF também pode ser vista como importante mecanismo adaptativo de plantas cultivadas sob excesso de sais e estresse hídrico, visto que, sob tais condições, é interessante a redução na transpiração, conseqüentemente, diminuindo o carregamento de Na e Cl no xilema e conservação da água nos tecidos das plantas.

Para a quarta época de avaliação (40 DAE), em relação à AP, a cultivar IRGA 417 foi superior 18,6 e 12,3% em relação à BRS Bojuru, dentro das condições controle e estresse salino, respectivamente (Tabela 1). Quando verificado o comportamento de cada cultivar em função da irrigação, constatou-se que a condição controle proporcionou melhor resposta das cultivares. Para AF, a cultivar IRGA 417 foi superior na condição controle, já na condição de estresse salino, não se obteve diferença entre as cultivares. A condição de irrigação somente com água propiciou melhor área foliar em ambas as cultivares. No entanto, não foi detectada diferença entre as cultivares na condição controle para MMS, enquanto, na condição estresse salino, a cultivar IRGA 417 teve melhor desempenho (Tabela 1).

No último período de avaliação (50 DAE) não foi constatada diferença entre as cultivares na condição controle para altura de planta e na condição estresse salino para AF e MMS (Tabela 1). Considerando apenas a cultivar BRS Bojuru, não foi notada diferença entre as condições para todas as variáveis. Já para a cultivar IRGA 417, o controle foi o que proporcionou melhor resposta para AP, AF e MMS. A alta concentração de sais na rizosfera provoca a redução da permeabilidade das raízes à água, tendo como consequência direta o estresse hídrico. Dessa forma, ocorre o fechamento dos estômatos para reduzir as perdas de água por transpiração, diminuindo, conseqüentemente, a taxa fotossintética afetando, assim, o desenvolvimento das plantas ao longo do seu ciclo (Taiz et al., 2017).

A redução das variáveis de crescimento (MMS e AF) foi constatada durante todas as épocas avaliadas, o que pode ser resultado de uma adaptação das plantas à condição de estresse nos estádios iniciais da cultura. Além disso, a resposta entre as cultivares foi diferente no decorrer do crescimento, como a cultivar BRS Bojuru, nas primeiras avaliações, mostrando-se mais tolerante à condição de estresse do que a IRGA 417. Ademais, na última avaliação, foi possível verificar que, entre o controle e o estresse salino, essa diferença não foi significativa para a BRS Bojuru (Tabela 1).

Outra explicação para o crescimento reduzido das plantas em condição de estresse salino é a incapacidade de absorver a quantidade de água necessária para seu desenvolvimento, ocasionada pelo decréscimo do componente osmótico e potencial hídrico do solo, acabando intoxicadas pela alta concentração de sais. Embora muitas plantas possuam mecanismo de ajuste osmótico, que se dá com a compartimentação de íons contidos nos vacúolos das células, e consigam sobreviver, o fato de parte da energia ser utilizada nesse mecanismo pode se refletir negativamente no crescimento e desenvolvimento das estruturas vegetais (Taiz et al., 2017).

A alta exigência, em termos de capacidade de transporte e seletividade, requer, em muitos casos, energia metabólica produzida a partir de carboidratos das raízes, o que afeta seu desenvolvimento. De modo geral, as plantas cultivadas em ambiente salino apresentam o crescimento da parte aérea mais afetado do que o crescimento das raízes (Carmona et al., 2009). Isso confirma o fato de que o estresse localizado em uma parte afeta mais a outra parte, porque a planta envia mais assimilados para o local do estresse, para aumentar o crescimento desse órgão em detrimento da outra parte (Lima et al., 2005).

Tabela 1. Altura de plantas (AP), área foliar (AF) e massa da matéria seca (MMS) avaliadas aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência (DAE) de plantas de arroz das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, submetidas ao estresse salino.**Table 1.** Plant height (PA), leaf area (AF) and shoot dry matter (SDM) assessed at 10, 20, 30, 40, and 50 days after emergence (DAE) of rice plants of the cultivars BRS Bojuru and IRGA 417, under salinity.

Cultivar	AP (cm)			AF (cm ² pl ⁻¹)			MMS (mg pl ⁻¹)		
	10 DAE								
	Controle	NaCl	Média	Controle	NaCl	Média	Controle	NaCl	Média
BRS Bojuru	22,2 a ^{1*2}	19,4 a	20,8	10,0	10,8	10,4 a	55,1	48,5	51,8 a
IRGA 417	15,3 b*	14,1 b	14,7	4,3	4,2	4,2 b	28,7	27,5	28,1 b
Média	18,7	16,8		7,1	7,5		41,9*	38,0	
C.V (%)	3,89			18,29			7,88		
p (C*S) ³	0,02			0,45			0,07		
	20 DAE								
BRS Bojuru	34,2	33,3	33,7 b	55,9	46,2	51,1 a	332,7 a*	290,7 a	311,7
IRGA 417	36,9	35,2	36,1 a	39,7	26,5	33,1 b	235,0 b*	145,6 b	190,3
Média	35,5*	34,3		47,8*	36,4		283,9	218,1	
C.V (%)	3,58			6,62			6,61		
p (C*S) ³	0,46			0,17			0,006		
	30 DAE								
BRS Bojuru	55,1	46,9	51,0 b	109,7 b	110,3 a	110,0	1547,0 a*	1029,6 b	1288,3
IRGA 417	62,8	54,8	58,8 a	127,1 a*	98,1 b	112,6	1378,4 b	1260,1 a	1319,2
Média	59,0*	50,8		118,4	104,2		1462,7	1144,9	
C.V (%)	2,32			5,64			7,64		
p (C*S) ³	0,88			7,77E-5			0,0004		
	40 DAE								
BRS Bojuru	66,1 b*	58,4 b	62,2	388,5 b*	231,6 a	310,0	4523,3 a*	3403,8 b	3963,5
IRGA 417	78,4 a*	65,6 a	72,0	477,7 a*	257,5 a	367,6	4591,5 a	4080,0 a	4335,8
Média	72,2	62,0		433,1	244,5		4557,4	3741,9	
C.V (%)	3,34			5,94			6,24		
p (C*S) ³	0,02			0,003			0,02		
	50 DAE								
BRS Bojuru	73,9 a	72,7 a	73,3	453,5 b	443,6 a	448,5	6682,5 b	6298,5 a	6490,5
IRGA 417	76,0 a*	69,0 b	72,5	599,0 a*	449,8 a	524,4	8401,5 a*	6126,3 a	7263,9
Média	74,9	70,9		526,2	446,7		7542,0	6212,4	
C.V (%)	2,58			5,73			5,77		
p (C*S) ³	0,003			4,09E-5			6,8E-5		

¹ Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, comparando as cultivares para cada condição de cultivo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ² Médias seguidas na linha de *, comparando as condições de cultivo para cada cultivar, diferem entre si na linha pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ³ Significância a 5% para a interação entre os fatores cultivar (C) e condição de cultivo (S).

Em relação ao teor de sódio no tecido vegetal das plantas coletadas em cada época de avaliação (Tabela 2), constatou-se aos 10 DAE que a cultivar BRS Bojuru obteve menor acúmulo de sódio nos tecidos na condição de estresse salino. Porém, quando cultivado em condições normais de cultivo – ou seja, sem estresse – essa cultivar apresentou maior acúmulo de sais nos tecidos quando comparada à cultivar IRGA 417. No entanto, ao comparar o controle e estresse salino, a cultivar IRGA 417 apresentou maior concentração de sais em seus tecidos quando cultivado com aplicação de sal. Ferreira et al. (2001) afirmam que uma das respostas da planta à aplicação de NaCl é o

aumento nas concentrações de Na e Cl e, conseqüentemente, redução nos níveis de K e Ca. Já a cultivar BRS Bojuru não apresentou diferença na concentração de sais em seus tecidos, quando contraposta à utilização ou não de sal, o que mostra uma estabilidade dessa cultivar em relação à salinidade aos 10 DAE.

Aos 20 DAE (Tabela 2), observou-se comportamento semelhante à primeira época, em que a cultivar BRS Bojuru apresentou menor teor de sódio nos tecidos na condição de estresse salino em relação à IRGA 417. Quando cultivado em condições sem sal (controle), a cultivar BRS Bojuru apresentou maior acúmulo de sódio nos tecidos. Já a IRGA 417, quando

analisada em cultivo com estresse e controle, teve menor acúmulo de sal quando cultivada somente em água. Esse fato demonstra estabilidade inicial da cultivar BRS Bojuru em relação à absorção de sódio, independentemente das condições de cultivo – fato não observado na cultivar IRGA 417. É importante destacar que o acúmulo de Na e Cl em tecidos vegetais acarreta toxicidade iônica devido a mudanças nas relações Na/K, Na/Ca e Cl/NO, provocando reduções do início do desenvolvimento até a morte das plantas.

A partir da terceira época de avaliação (Tabela 2), as plantas começaram a apresentar um padrão de resposta às condições de estresse impostas neste estudo, ou seja, não foi notada diferença entre as cultivares, e a condição com salinidade proporcionou maior acúmulo de sódio nos tecidos das plantas. A resposta das plantas à salinidade é um fenômeno complexo, envolvendo alterações morfológicas e de crescimento, além de processos fisiológicos e bioquímicos (Graciano et al., 2011). Assim, a sobrevivência em ambientes salinos pode resultar de processos adaptativos envolvendo absorção, transporte e distribuição de íons nos vários órgãos da planta e sua compartimentação dentro das células (Garcia et al., 2010). Menores concentrações de sódio na MMS da parte aérea das plantas podem ser indicativo de mecanismo de tolerância à salinidade, refletindo menor absorção e/ou translocação do elemento presente no meio de

cultivo. Esse pode ser um importante indicador na seleção de genótipos tolerantes.

A taxa assimilatória líquida (TAL) reflete a dimensão do sistema assimilador que é envolvida na produção de matéria seca, sendo dependente da dimensão da área foliar, distribuição das folhas no dossel, ângulo foliar, translocação e partição de assimilados e da radiação solar disponível. Com os resultados obtidos em cada período de avaliação, constatou-se que o controle para a cultivar BRS Bojuru resultou em TAL maior aos 10-30 DAE, sendo não significativo aos 30-50 DAE (Tabela 3). Essa resposta explica-se pelos dados obtidos para área foliar e massa seca, nos quais nas primeiras avaliações ocorreram diferenças entre as condições de cultivo, tornando-se semelhante nas últimas avaliações.

Já a cultivar IRGA 417 apresentou TAL elevada sob estresse salino no período de 10-30 DAE, mesmo com redução de área foliar e massa seca. Também não foi percebida diferença para o período de 30-50 DAE entre cultivares. Da mesma forma, Silva et al. (2007), ao trabalharem com a análise de crescimento em cultivares de trigo submetidos à salinidade, observaram incremento da TAL, embora a área foliar tenha reduzido em função da salinidade. No entanto, Azevedo Neto & Tabosa (2000) observaram redução na TAL de dois genótipos de milho submetidos a diferentes concentrações salinas.

Tabela 2. Teor de sódio da parte aérea de plantas avaliadas aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência (DAE) de sementes de arroz das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, submetidas ao estresse salino.

Table 2. Shoot sodium content assessed at 10, 20, 30, 40, and 50 days after emergence (DAE) of rice plants of the cultivars BRS Bojuru and IRGA 417, under salinity.

Cultivar	10 DAE			20 DAE		
	Controle	NaCl	Média	Controle	NaCl	Média
	----- g kg ⁻¹ -----			----- g kg ⁻¹ -----		
BRS Bojuru	1,48 a ¹	1,45 b	1,47	0,94 a*	1,66 b	1,30
IRGA 417	0,77 b* ²	2,45 a	1,61	0,80 b*	2,52 a	1,66
Média	1,13	1,95		0,87	2,09	
C.V (%)	10,91			28,98		
p (C*S) ³	4,51E-9			0,02		
	30 DAE			40 DAE		
BRS Bojuru	1,57	6,00	3,78	1,47	5,48	3,47
IRGA 417	1,57	5,42	3,50	1,52	5,42	3,47
Média	1,57*	5,71		1,49*	5,45	
C.V (%)	10,14			6,68		
p (C*S) ³	0,09			0,59		
	50 DAE					
	Controle		NaCl		Média	
	----- g kg ⁻¹ -----					
BRS Bojuru	1,78		6,09		3,94	
IRGA 417	1,73		5,75		3,74	
Média	1,76*		5,92			
C.V (%)	12,53					
p (C*S) ³	0,51					

¹ Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, comparando as cultivares para cada condição de cultivo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ² Médias seguidas na linha de *, comparando as condições de cultivo para cada cultivar, diferem entre si na linha pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ³ Significância a 5% para a interação entre os fatores cultivar (C) e condição de cultivo (S).

Tabela 3. Taxa assimilatória líquida (TAL), taxa de crescimento relativo (TCR) e taxa de crescimento da cultura (TCC) de plantas de arroz das cultivares BRS Bojuru e IRGA 417, submetidas ao estresse salino.**Table 3.** Net assimilation rate (NAR), relative growth rate (RGR) and crop growth rate (CGR) of rice plants of the cultivars BRS Bojuru and IRGA 417, under salinity.

Cultivar	TAL (mg cm ⁻² dia ⁻¹)					
	10-30 DAE			30-50 DAE ^{NS}		
	Controle		NaCl	Controle		NaCl
BRS Bojuru	1,79 a ^{1*2}		1,16 b	1,06		1,10
IRGA 417	1,87 a*		2,08 a	1,16		1,06
Média	1,83		1,62	1,11		1,08
C.V (%)	8,54			9,19		
p (C*S) ³	8,4E-6			0,14		
Cultivar	TCR (mg mg ⁻¹ dia ⁻¹)					
	10-30 DAE			30-50 DAE		
	Controle		NaCl	Controle		NaCl
BRS Bojuru	0,33 b*		0,31 b	0,15 b*		0,18 a
IRGA 417	0,39 a		0,38 a	0,18 a*		0,16 b
Média	0,36		0,34	0,17		0,17
C.V (%)	3,05			4,31		
p (C*S)	0,02			1E-6		
Cultivar	TCC (mg dia ⁻¹)					
	0-10 DAE		10-30 DAE		30-50 DAE	
	Controle		NaCl	Controle		NaCl
BRS Bojuru	5,18 a		74,59 a*	50,08 b		263,53 b
IRGA 417	2,81 b		67,48 b	61,36 a		351,16 a*
Média	4,19*		3,80	71,04		55,72
C.V (%)	7,86		7,66		6,40	
p (C*S)	0,07		0,0006		4,9E-6	

¹ Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, comparando as cultivares para cada condição de cultivo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ² Médias seguidas na linha de *, comparando as condições de cultivo para cada cultivar, diferem entre si na linha pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ³ Significância a 5% para a interação entre os fatores cultivar (C) e condição de cultivo (S).

A taxa de crescimento relativo (TCR) representa o acúmulo de matéria seca por plantas, por unidade de tempo, em relação ao peso inicial, e está expresso em mg mg⁻¹ dia⁻¹. A cultivar BRS Bojuru apresentou pequena redução na TCR aos 10-30 DAE entre a condição controle e com estresse salino, porém, à medida que a planta foi crescendo, verificou-se uma inversão nessa avaliação, uma vez que a TCR foi maior nas plantas que estavam sendo irrigadas com solução salina aos 30-50 DAE (Tabela 3). Em relação à cultivar IRGA 417, não se constatou diferença no primeiro período (10-30 DAE), apresentando redução na TCR aos 30-50 DAE. Segundo Azevedo Neto (2000), a TCR é um parâmetro fortemente influenciado pelas concentrações de íons de Na⁺ no tecido vegetal, sendo a redução do crescimento ocasionada pelo desvio de recursos energéticos para a regulação osmótica. Além disso, a diminuição desse parâmetro em condição normal de cultivo é esperada, visto que é resultado, em parte, do aumento gradativo de tecidos não fotossintetizantes com o desenvolvimento da planta (Silva et al., 2007).

A taxa de crescimento da cultura (TCC) fornece a ideia da velocidade média do crescimento ao longo do período de observação. Diante disso, constatou-se que a cultivar BRS Bojuru apresenta velocidade de crescimento maior que a IRGA 417 na

primeira avaliação (0-10 DAE), independentemente da condição de cultivo (Tabela 3). Para o período de 10-30 DAE, as plantas apresentaram diminuição no crescimento pelo excesso de sal no meio, chegando a igualar esse crescimento aos 30-50 DAE, ou seja, no início do crescimento, a planta reduziu a produção de matéria seca para se aclimatar ao ambiente em função da presença do sal. Possivelmente, no último período de avaliação, a planta tinha maior capacidade de acumular sódio (Tabela 2) nos seus tecidos, o que permitiu à planta se desenvolver em condição salina. Já a cultivar IRGA 417 não foi afetada pelo estresse salino aos 10-30 DAE, no entanto, apresentou redução de 30,7% aos 30-50 DAE em relação ao controle.

Diante desses resultados, destaca-se o fato de a cultivar BRS Bojuru – considerada tolerante ao nível médio de salinidade – apresentar menor acúmulo de sódio nos tecidos e conseguir melhor resposta em AP, AF, MMS e TCR e TCC mediante estresse salino (Tabelas 1 e 3). Lacerda et al. (2004), estudando o efeito da aplicação de NaCl em genótipos de sorgo tolerante e sensível à salinidade, observaram diferenças nos teores de sódio nas folhas da planta, e os menores teores foram encontrados no genótipo tolerante à salinidade. Já nos períodos intermediários de avaliação, a cultivar BRS Bojuru

não se destacou em relação à IRGA 417, apresentando até resultados inferiores de AP e MMS.

No entanto, no último período de avaliação do crescimento, essa cultivar se mostrou mais adaptada à condição de estresse do que a IRGA 417, mesmo não apresentando diferença no teor de sódio entre as cultivares. O conhecimento das espécies capazes de suportar determinada condição de estresse salino é importante tanto para a caracterização da cultura quanto para auxiliar na adequada recomendação para o plantio nessas situações, principalmente ao ponderar as cultivares com tais condições de cultivo (Rego et al., 2011). Além disso, a menor redução no crescimento do genótipo tolerante pode estar associada ao menor custo energético para regulação osmótica, conseguido por meio do acúmulo e da compartimentação de solutos inorgânicos no vacúolo e solutos orgânicos no citoplasma.

4 Conclusões

A salinidade reduz altura de planta, área foliar e massa de matéria seca das plantas, e aumenta o teor de sódio nos tecidos das cultivares.

A BRS Bojuru, no início do crescimento, em condição de salinidade, apresenta melhor resposta à salinidade que a IRGA 417.

A cultivar BRS Bojuru mostra melhor taxa de crescimento relativo aos 30-50 DAE em condição de salinidade.

A taxa assimilatória líquida não é influenciada pela salinidade no período de 30-50 DAE em ambas as cultivares.

Referências

AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E. G.; MORAES, D. M.; VILLELA, F. A.; LOPES, N. F. Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de maria-pretinha submetidas a níveis de sombreamento. *Planta Daninha*, v. 31, p. 99-108, 2013.

AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: parte II: distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n. 2, p. 165-171, 2000.

CAMBRAIA, J. Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas. In: NOGUEIRA, R. J.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. *Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas*. Recife: Editora da UFRPE, 2005. v. 1, p. 95-105.

CARMONA, F. C.; ANGHINONI, I.; HOLZSCHUH, M. J.; ANDRIGHETTI, M. H. Cation dynamics in soils with different salinity levels growing irrigated rice. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 6, p. 1851-1863, 2010.

CARMONA, F. C.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; HOLZSCHUH, M. J.; FRAGA, T. I. Estabelecimento do arroz irrigado e absorção de cátions em função do manejo da adubação potássica e do nível de salinidade no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 2, p. 371-383, 2009.

CAVALCANTE, L. F.; CORDEIRO, J. C.; NASCIMENTO, J. A. M.; CAVALCANTE, I. H. L.; DIAS, T. J. Fontes e níveis da salinidade da água na formação de mudas de mamoeiro cv. Sunrise solo. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 31, p. 1281-1290, 2010.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. *Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 10. ed. Porto Alegre: SBCS, 2004. 400 p.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; COELHO, E. F.; CALDAS, R. C.; ALMEIDA, A. Q. QUEIROZ, J. R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. *Bragantia*, v. 65, n. 2, p. 275-284, 2006.

FARIAS, S. G. G.; SANTOS, D. R.; FREIRE, A. L. O.; SILVA, R. B. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de glicirídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.)) em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 5, p. 1499-1505, 2009.

FERREIRA, R. G.; TÁVORA, F. J. A. F.; HERNANDEZ, F. F. F. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 1, p. 79-88, 2001.

GARCIA, G. O.; NAZÁRIO, A. A.; MORAES, W. B.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C. Respostas de genótipos de feijoeiro à salinidade. *Engenharia na Agricultura*, v. 18, p. 330-338, 2010.

GRACIANO, E. S. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; LIMA, D. R. M.; PACHECO, C. M.; SANTOS, R. C. Crescimento e capacidade fotossintética da cultivar de amendoim BR 1 sob condições de salinidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 8, p. 794-800, 2011.

HARTER, F. S. *Tolerância de cultivares de arroz irrigado ao estresse salino*. 2014. 131 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas, 2014.

LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A. RUIZ, H. A. Influência do cálcio sobre o crescimento e solutos em plântulas de sorgo estressadas com cloreto de sódio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 289-295, 2004.

LARRÉ, F. C.; MIRINI, P.; MORAES, C. L.; AMARANTE, L.; MORAES, D. M. Influência do 24-epibrassinolídeo na tolerância ao estresse salino em plântulas de arroz. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 35, n. 1, p. 67-76, 2014.

LIMA, M. G. S.; LOPES, N. F.; MORAES, D. M.; ABREU, C. M. Qualidade fisiológica de sementes de arroz submetidas a estresse salino. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 27, n. 1, p. 54-61, 2005.

PEDÓ, T.; AUMONDE, T. Z.; LOPES, N. F.; VILLELA, F. A. MAUCH, C. R. Análise comparativa de crescimento entre genótipos de pimenta cultivados em casa de vegetação. *Bioscience Journal*, v. 29, n. 1, p. 125-131, 2013.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

REGO, S. S.; FERREIRA, M. M.; NOGUEIRA, A. C.; GROSSI, F.; SOUSA, R. K.; BRONDANI, G. E.; ARAUJO, M. A.; SILVA, A. L. L. Estresse hídrico e salino na germinação de sementes de *Anadenanthera colubrina* (Veloso) Brenan. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 2, n. 4, p. 37-42, 2011.

SANTOS, M. R.; BRITO, C. F. B. Irrigação com água salina, opção agrícola consciente. *Agrotecnologia*, v. 7, n. 1, p. 33-41, 2016.

- SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). *Ciência Florestal*, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011.
- SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D. M.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; PIAULINO, A. C. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. *Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer*, v. 8, n. 15, p. 1563-1578, 2012.
- SILVA, A. O.; KLAR, A. E.; SILVA, E. F. F.; TANAKA, A. A.; JUNIOR, J. F. S. Relações hídricas em cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 11, p. 1143-1151, 2013.
- SILVA, R. N.; LOPES, N. F.; DUARTE, G. L.; MORAES, D. M.; PEREIRA, A. L. A. Análise de crescimento de plantas de *Hordeum Vulgare* L. submetidas a estresse salino. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 13, n. 4, p. 455-463, 2007.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. *Solos do Rio Grande do Sul*. 2. ed. Porto Alegre: Emater-RS; Ascar, 2008. 222 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.
- WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. *Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer*, v. 86, n. 11, p. 1-23, 2010.

Contribuição dos autores: Elisa Lemes realizou os experimentos e a escrita científica (o trabalho fez parte da tese); Sandro de Oliveira contribuiu com a condução do trabalho e avaliações; Edilson das Neves, estagiário do grupo, contribuiu com a condução do experimento e avaliações; Ronan Ritter estagiário do grupo contribuiu com a condução do experimento e avaliações; André de Mendonça contribuiu com a condução do experimento, avaliações e revisão da escrita científica; Geri Meneghello, orientador do autor correspondente, contribuiu com a orientação do trabalho e revisão da escrita científica.

Agradecimentos: Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de doutorado, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto e ao Programa de Pós-Graduação Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas.

Fontes de financiamento: CAPES e CNPq.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.