

Tolerância de cultivares de arroz da Epagri à salinidade da água de irrigação na fase vegetativa

Fabiana Schmidt¹ e Leandro Otávio Vieira Filho²

Resumo – A salinização da água de irrigação prejudica o crescimento do arroz. O objetivo do estudo foi averiguar o nível de tolerância de cultivares de arroz irrigado da Epagri à salinidade da água de irrigação, na fase vegetativa. Os tratamentos compreenderam as combinações de 10 cultivares de arroz (Epagri 106, Epagri 108, Epagri 109, SCS 112, SCSBRS Tio Taka, SCS114 Andosan, SCS116 Satoru, SCS117 CL, SCS118 Marques e SCS121 CL) e 4 níveis de salinidade na água de irrigação (CE – condutividade elétrica de 0, 1, 2 e 4 dS m⁻¹). O início da aplicação das soluções salinas ocorreu em 2 épocas distintas, no estádio S₃ e no estádio V₃-V₄. A tolerância dos cultivares da Epagri à salinidade foi semelhante dentro de cada nível de CE da água de irrigação. O início da irrigação com água salgada no estádio V₃-V₄ resultou, após 20 dias de irrigação, na redução dos sintomas do estresse salino e das perdas de massa seca da parte aérea. O estresse salino provocou redução da condutância estomática de água e CO₂; da taxa de transpiração e do crescimento das plantas. O nível crítico da CE de 2 dS m⁻¹, recomendado como limite para a utilização da água de irrigação nas lavouras de arroz, está adequado para a fase vegetativa dos cultivares da Epagri.

Termos para indexação: Arroz irrigado; manejo da irrigação; estresse salino; *Oryza sativa*.

Tolerance of Epagri's rice cultivars to salinity of irrigation water on vegetative stage

Abstract – The natural process of water salinization impairs severely rice growth. The aim of study was to investigate the water salinity tolerance of Epagri's rice cultivars, in the vegetative stage. The treatments comprised combinations of 10 rice cultivars (Epagri 106, Epagri 108, Epagri 109, SCS 112, SCSBRS Tio Taka, SCS 114 Andosan, SCS116 Satoru, SCS117 CL, SCS118 Marques and SCS121 CL) and four salinity levels in the irrigation water (electrical conductivity (EC) values of 0, 1, 2 and 4 dS m⁻¹). The early application of saline solutions occurred at two different times, in the S₃ stage, and V₃-V₄ stage. The tolerance of Epagri's rice cultivars to salinity was similar within each level of water conductivity. The irrigation at the stage V₃-V₄ with saline water after 20 days of irrigation reduced the visual symptoms of salt stress and losses from dry matter shoots. Salt stress caused the reduction of the stomatal conductance of water and CO₂ by decreasing the transpiration rate of the plants and plant growth. The critical level EC of 2 dS m⁻¹, as recommended limit for the use of irrigation water in rice fields, is suitable for the vegetative stage of the cultivars released by Epagri.

Index terms: Irrigated rice; water management; salinity stress; *Oryza sativa*.

Introdução

A salinização da água dos mananciais hídricos, utilizados na irrigação das lavouras de arroz, pode reduzir o crescimento das plantas (GOMES et al., 2004). Em condições de estresse salino, o desempenho da cultura do arroz pode ser influenciado pela composição e concentração de sais, pela intensidade e duração do estresse, e pela interação destes com as condições edafoclimáticas, os genótipos e o estádio fenológico da cultura (GRATTAN et al., 2002; SCIVITTARO et al., 2012).

Com relação ao estádio fenológico, o arroz é muito sensível à salinidade da

água de irrigação nas fases de plântula e floração, o que pode ocasionar danos irreversíveis no crescimento, diminuição do perfilhamento, esterilidade de espiguetas e morte das plantas (YOSHIDA, 1981; MARCONDES & GARCIA, 2009). Os efeitos tóxico-fisiológicos do estresse salino incluem ainda a diminuição da germinação, da expansão foliar e do crescimento de mudas, causando uma redução na área fotossintética e na matéria seca (ASHRAF, 2010).

O efeito depressivo proporcionado pela salinidade no desenvolvimento do arroz aumenta com a concentração de sais na água, existindo um nível mínimo a partir do qual ocorre supressão

no crescimento das plantas. Esse nível varia entre espécies de *Oryza* e mesmo entre cultivares de uma mesma espécie. O critério utilizado para verificar a salinidade é a condutividade elétrica (CE) da água de irrigação, dada a relação direta entre as variáveis, a qual pode ser estimada por um condutímetro, sendo expressa em mili siemens por centímetro (mS cm⁻¹) ou deci siemens por metro (dS m⁻¹).

Para os cultivares modernos de arroz irrigado, a recomendação da Sociedade Sul-brasileira de Arroz Irrigado é que a irrigação deve ser suspensa quando a condutividade elétrica da água atinge valores iguais ou maiores que 2dS m⁻¹ ▶

Recebido em 12/5/2016. Aceito para publicação em 16/1/2017.

¹ Engenheira-agrônoma, Dra., Estação Experimental de Itajaí (Epagri/EEL), Bairro Itaipava 6800, 88318-112 Itajaí, SC, fone: (47) 3398-6365, e-mail: fabianaschmidt@epagri.sc.gov.br.

² Graduando de agronomia do Instituto Federal Catarinense/Campus Santa Rosa do Sul, e-mail: leandrovieirafh@gmail.com.

(SOSBAI, 2014). Os cultivares de arroz com alto potencial produtivo, utilizados nos estados de SC e RS, não toleram irrigação com água cujo teor de cloreto de sódio (NaCl) seja igual ou superior a 0,25% (CE da água próxima a 5dS m⁻¹). A água com esses teores, aplicada no início da fase reprodutiva, pode determinar uma redução na produtividade superior a 50% (SOSBAI, 2014).

Nas regiões costeiras de SC e RS, as fontes de água para irrigação conectadas ao Oceano Atlântico sofrem a sua influência, principalmente em épocas de baixa precipitação pluvial e em dias quentes, devido à evapotranspiração e ao consumo pelas próprias lavouras de arroz no entorno. A diminuição do nível de água dos rios e lagoas litorâneas propicia a entrada da água do mar (cunha salina), aumentando a concentração de sais em níveis que podem ocasionar danos à cultura do arroz. Esse fenômeno ocorre com mais frequência nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, pois são os meses mais quentes do ano e coincidem com o ciclo de irrigação das lavouras.

Na região de influência da cunha salina do Rio Araranguá, que pode chegar a 45km de extensão, atingindo os afluentes nos municípios de Araranguá, Meleiro, Turvo e Maracajá, foram verificadas variações de 0,221 a 12,803dS m⁻¹ na CE, nos anos de 1989 e 1990 (ALTHOFF, 2000). Nessa região é comum ocorrer perdas de lavouras pela inadvertida irrigação com “água salgada”.

As pesquisas realizadas na região Sul do Brasil, sobre o efeito da salinidade da água de irrigação no arroz, demonstraram que a tolerância da maioria dos cultivares e linhagens testados não ultrapassa a concentração de 2,5g L⁻¹ de NaCl na água de irrigação em condições de campo (MACHADO & TERRES, 1995; GOMES et al., 2004). Desde então, vários cultivares de arroz irrigado foram lançados e muitas linhagens incorporadas aos programas de melhoramento genético, de instituições públicas e privadas que atendem a região, desconhecendo sua reação à salinidade da água de irrigação.

Os programas de melhoramento de arroz irrigado em Santa Catarina são desenvolvidos em condições de baixa ou ausência de salinidade. Portanto, não se espera haver genótipos tolerantes entre os cultivares já lançados. Assim, realizou-se esse trabalho, com o objetivo de averiguar o nível de tolerância de cultivares de arroz da Epagri à salinidade da água de irrigação na fase vegetativa.

Material e métodos

O estudo foi realizado em casa de vegetação, na Estação Experimental da Epagri, em Itajaí, SC. Dois experimentos foram conduzidos de forma semelhante e simultaneamente, mas com duas épocas distintas, definidas pelo início da aplicação das soluções salinas: I – na emergência do prófílo do coleóptilo (estádio S₃); e II – 20 dias após a germinação do arroz (estádio V₃-V₄).

Os tratamentos compreenderam as combinações de dez cultivares de arroz irrigado lançados pela Epagri: Epagri 106, Epagri 108, Epagri 109, SCS 112, SCSBRS Tio Taka, SCS114 Andosan, SCS116 Satoru, SCS117 CL, SCS118 Marques e SCS121 CL; e quatro níveis de salinidade na água de irrigação, expressos em condutividades elétricas de: 0 (testemunha), 1, 2 e 4dS m⁻¹. Esses tratamentos foram dispostos em delineamento experimental de parcelas subdivididas com três repetições, alocando o fator “cultivar” nas sub-parcelas e o fator “salinidade” nas parcelas.

As parcelas foram constituídas por bandejas plásticas com capacidade para 10dm³, contendo 9kg de solo seco proveniente da camada superficial (0 a 20cm) de um Gleissolo Háplico. Em pré-semeadura, procedeu-se à adubação com ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, em doses correspondentes a 30kg ha⁻¹ de N, 120kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 100kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. A adubação nitrogenada em cobertura, em dose correspondente a 40kg ha⁻¹ de N, foi realizada depois, no estágio V₃-V₄, com ureia diluída em água.

Em cada bandeja foram semeadas

quinze sementes de arroz, em dez linhas, sendo um cultivar por linha. Após a semeadura, cada bandeja recebeu 2L de água deionizada para propiciar a germinação. Quando o colar da primeira folha do colmo principal (estádio V₁) tornou-se visível, realizou-se um desbaste, mantendo 8 plantas por linha.

As soluções salinas foram preparadas com a diluição de cloreto de sódio (NaCl) em água deionizada. Para atingir as condutividades elétricas de 1, 2 e 4dS m⁻¹ foram preparadas soluções com as concentrações de 8,5mM, 17,8mM e 35mM de NaCl, respectivamente. Essas concentrações equivaleram a teores de NaCl de 0,05%, 0,1% e 0,2%, respectivamente. As soluções salinas foram então colocadas nas bandejas, no volume de 1L por bandeja, a cada 4 dias, simulando a irrigação por inundação. Nas parcelas testemunha foi colocada apenas água deionizada no mesmo volume. No experimento II, no período que antecedeu a aplicação das soluções salinas, foi fornecida apenas água deionizada até 20 dias após a semeadura.

A massa seca da parte aérea e o grau de tolerância dos cultivares de arroz à salinidade foram avaliados aos 20 dias após a irrigação com solução salina. No experimento I, que perdurou por mais tempo, as avaliações foram refeitas aos 40 dias. O grau de tolerância à salinidade foi obtido pelo percentual de folhas descoloridas e/ou mortas, conforme escala proposta por IRRRI (1975). Na escala visual de avaliação da tolerância à salinidade foram atribuídas as notas: 1 – ausência de sintomas de danos por salinidade (“planta tolerante”); 3 – 1% a 5% das folhas com sintomas de danos por salinidade (planta com as pontas das folhas com sintomas) (“planta tolerante”); 5 – 5% a 25% das folhas com sintomas de danos por salinidade – extremidade das folhas esbranquiçadas e enroladas (“planta moderadamente tolerante”); 7 – 25% a 50% das folhas com sintomas de danos por salinidade – crescimento retardado, folhas com pontas secas e enroladas (“planta moderadamente suscetível”); 9 – mais de 50% das folhas

com sintomas de danos por salinidade (“planta suscetível”), interrupção do crescimento, maioria das folhas secas, morte de algumas plantas.

A determinação da massa seca da parte aérea foi efetuada através do corte, rente ao solo, de quatro plantas de cada cultivar. As plantas cortadas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar a 60°C, em estufa de circulação de ar forçada, até atingir massa constante. Em seguida, foram pesadas em balança analítica.

Para o experimento I (aplicação das soluções salinas no estádio S_3), foram ainda avaliados, aos 20 dias, a estatura das plantas, a concentração de CO_2 e o fluxo de vapor d’água, medidos na última folha formada e completamente expandida. Para tal, usou-se o equipamento IRGA – analisador de gás por infravermelho (LI-COR, modelo LI-6400), sendo a concentração de CO_2 do aparelho fixada em 400ppm, a intensidade luminosa em $1.200\mu mol m^{-2} s^{-1}$, e a temperatura da folha em 25°C. Essas avaliações foram realizadas das 8h às 11h30. Os parâmetros de fotossíntese, transpiração, condutância estomática e concentração de CO_2 interno foram calculados pelo programa de análise de dados do LI-6400 e armazenados quando o coeficiente de variação foi menor do que 0,5%.

Realizou-se a análise de variância pelo teste F, utilizando-se o programa estatístico R. Quando houve significância do efeito do fator nível de salinidade na água de irrigação, para as variáveis altura e massa seca, foram realizadas as análises de regressão polinomial ($p < 0,05$). As médias das variáveis resposta fotossíntese e trocas gasosas dos tratamentos testemunha *versus* CE da água de irrigação de $4dS m^{-1}$ foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resultados e discussão

Crescimento das plantas

O efeito dos níveis de salinidade na água de irrigação sobre a altura das

plantas foi similar para todos os genótipos avaliados, obtendo-se um ajuste quadrático. A altura das plantas aumentou de 3% a 10% com a aplicação da água de irrigação com CE de 1 ou $2dS m^{-1}$ (Tabela 1 e Figura 1 A).

Esse efeito está relacionado à concentração de sódio (Na), que beneficiou temporariamente o crescimento das plantas de arroz. Isso ocorre pois o Na pode substituir o K em algumas de suas funções (MARSCHNER, 2011). Em espécies com alto e médio potencial para absorção e translocação de Na, tem sido observado, além do potencial para substituição de K por Na, um efeito adicional deste íon no crescimento das plantas, explicado por um ajuste osmótico mais eficiente nessas espécies, às custas do Na estocado nos vacúolos e também pela existência de isoenzimas, as quais teriam maior atividade na presença simultânea de K e Na (MARSCHNER, 1971). Entretanto, cabe salientar que as plantas crescidas com o fornecimento de água com CE de 1 e $2dS m^{-1}$, embora tenham aumentado a altura e massa seca da parte aérea, apresentaram sintomas de estresse por salinidade, como as pontas das folhas secas e clorose.

Após 40 dias de crescimento em condições salinas, oito genótipos apresentaram decréscimo na massa seca da parte aérea com ajuste linear. Os genótipos SCS114 Andosan e Epagri 106 apresentaram reduções com ajuste quadrático, pois os níveis de CE de 1 e $2dS m^{-1}$ não prejudicaram o crescimento destes genótipos (Tabela 1 e Figura 1 C). Contudo, as plantas desses cultivares apresentaram sintomas visuais típicos de estresse por salinidade, comprovando o efeito nocivo da salinidade nos processos bioquímicos e fisiológicos das plantas.

A utilização da água de irrigação com CE de $4dS m^{-1}$ a partir do estádio S_3 prejudicou o crescimento das plântulas de arroz (Figura 1 A, B e C). Em comparação com as plantas que receberam água sem sal, foram verificadas reduções da ordem de 13% a 22% na altura e de 7%

a 31% na massa seca da parte aérea dos genótipos de arroz aos 20 dias após a irrigação. Com o avançar do desenvolvimento do arroz, os danos da salinidade sobre o crescimento se intensificaram, com reduções que variaram de 35% a 62% na massa seca da parte aérea do arroz cultivado por 40 dias em solução salina com CE de $4dS m^{-1}$.

Resultados oriundos de experimentos conduzidos em lavouras de arroz mostraram que a utilização de água com CE de $3dS m^{-1}$ ocasionou reduções de até 40% na densidade de perfilhamento aos 28 dias da semeadura (GRATTAN et al., 2002). Em ensaios conduzidos em casa de vegetação, apenas 20% das plântulas irrigadas com água de CE de $3dS m^{-1}$ sobreviveram, porém com crescimento reduzido (GRATTAN et al., 2002). Tanto em experimentos conduzidos em campo quanto em condições controladas, confirmou-se que o arroz é sensível à salinidade durante os estádios iniciais de crescimento e que o nível de CE da água de irrigação de $1,9dS m^{-1}$ já pode causar prejuízos ao crescimento e desenvolvimento das plantas (GRATTAN et al., 2002).

O atraso do início da irrigação com água salina para o estádio V_3-V_4 (experimento II) não reduziu a produção de massa seca da maioria dos genótipos de arroz após 20 dias da irrigação (Figura 1 D). Esses resultados mostram que, em situações de salinização temporária da água de irrigação, a adoção de medidas de manejo da água, como a irrigação tardia após a semeadura do arroz, pode minimizar os prejuízos no estabelecimento e crescimento vegetativo inicial das plântulas.

Sintomas visuais do estresse salino

Os sintomas visuais do estresse salino nas plantas de arroz foram similares entre os genótipos para cada nível de CE da água (Figura 2). Nos genótipos crescidos em água de irrigação com CE de $1dS m^{-1}$, os sintomas de estresse por salinidade foram amenos: apenas as pontas das folhas secas (nota 3). Já sob nível de ▶

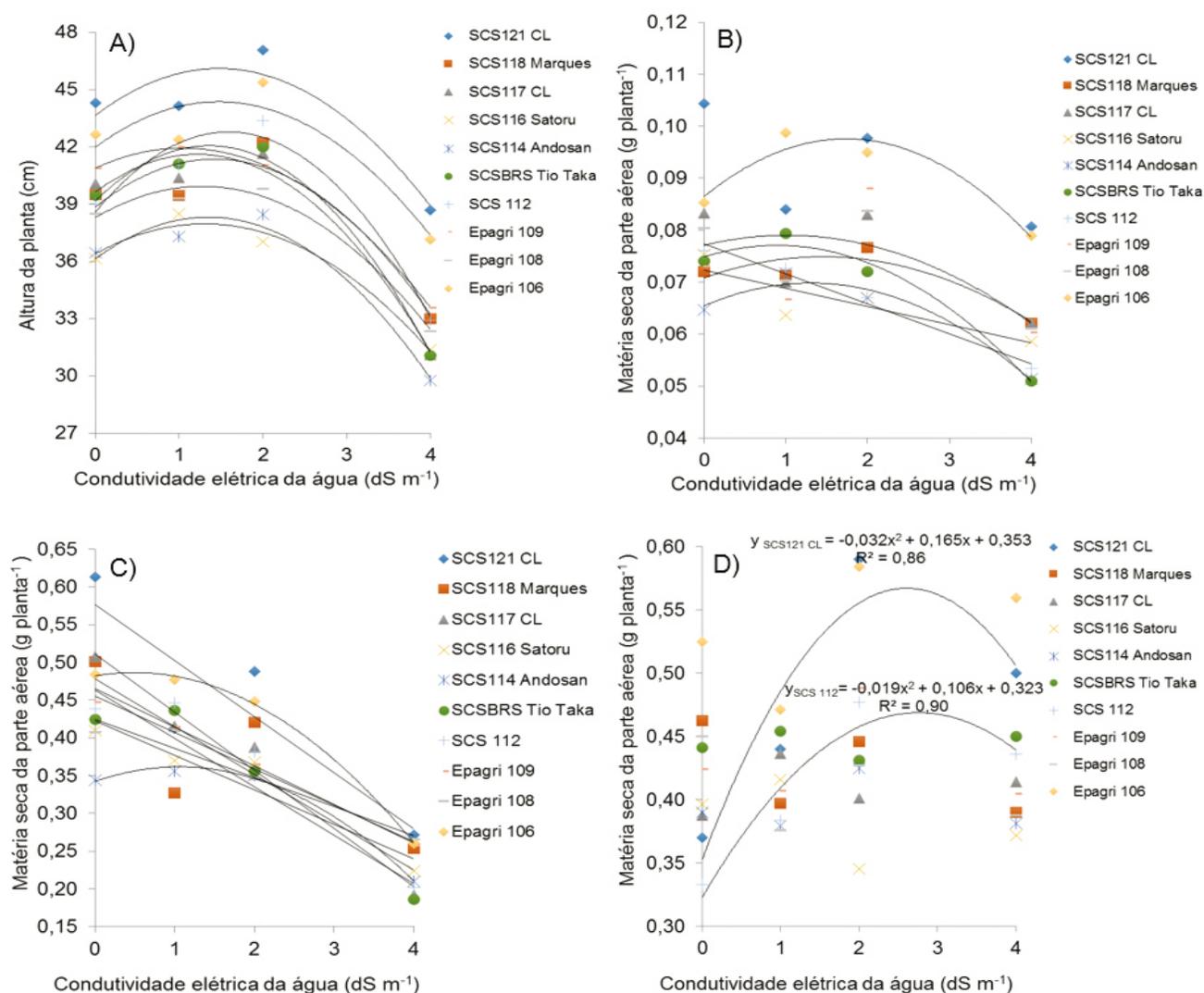


Figura 1 - Altura da planta (A) e matéria seca da parte aérea aos 20 dias (B) e 40 dias (C) após a irrigação em S_3 e aos 20 dias após a irrigação em V_3-V_4 (D), de 10 genótipos de arroz em função de níveis de condutividade elétrica (CE) da água de irrigação

CE de 2dS m^{-1} , que é considerado crítico para o arroz no estágio vegetativo, os genótipos testados mostraram-se moderadamente tolerantes à salinidade (nota 5) aos 20 dias, e moderadamente suscetíveis (nota 7) aos 40 dias após a irrigação iniciada no estágio S_3 . Aos 20 dias, as plantas apresentavam pontos e manchas esbranquiçadas (clorose), enrolamento do limbo e pontas secas. A evolução dos sintomas foi contínua, de forma que aos 40 dias após a irrigação, 25% a 50% das folhas apresentavam sintomas de danos por salinidade.

Todos genótipos crescidos em água de irrigação com CE de 4dS m^{-1} apresentaram mais de 50% das folhas com sintomas de danos por salinidade já aos 20 dias após a irrigação (nota 7). Aos 40

dias, além do secamento do ápice de folhas jovens e da clorose das folhas, foi possível verificar: redução do número de folhas formadas, queda de folhas, folhas velhas totalmente secas e morte de plantas (nota 9). Os sintomas visuais dos danos causados pelo excesso de sal na água de irrigação caracterizaram-se inicialmente pela descoloração das folhas novas, evoluindo até o branqueamento e posterior enrolamento, terminando com a seca total das folhas. Os sintomas evoluíram da ponta para a base das folhas.

Os danos por salinidade nas plantas foram menores quando o início da irrigação ocorreu no estágio V_3-V_4 . Isso provavelmente ocorreu devido ao desenvolvimento mais avançado das plan-

tas (V_3-V_4) e ao período de duração do estresse salino (apenas 20 dias), que possibilitaram maior tolerância dos cultivares à salinidade. Embora a produção de massa seca da maioria dos genótipos não tenha sido prejudicada significativamente, estes apresentaram enrolamento e pontas das folhas jovens secas com CE de 2 e 4dS m^{-1} na água de irrigação.

Salinidade da água de irrigação e eficiência fotossintética do arroz

O efeito antagônico do excesso de sais na água de irrigação sobre a taxa de transpiração das plantas e a condutância estomática foi significativo (Figura 3 B e C). Esses dois parâmetros fisiológicos podem ser considerados os

Tabela 1. Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R²) para altura da planta e matéria seca da parte aérea de 10 genótipos de arroz, em função de níveis de condutividade elétrica (CE) da água de irrigação, aos 20 e 40 dias após a irrigação iniciada em S₃ (Epagri/EEI, 2016).

Genótipo	Equação de regressão	R ²
<i>20 dias após irrigação</i>		
..... Altura da planta (cm)		
SCS121 CL	$y = -1,13x^2 + 3,33x + 43,64$	0,87
SCS118 Marques	$y = -1,23x^2 + 3,51x + 38,84$	0,89
SCS117 CL	$y = -1,33x^2 + 3,24x + 39,63$	0,97
SCS116 Satoru	$y = -0,92x^2 + 2,39x + 36,39$	0,98
SCS114 Andosan	$y = -1,20x^2 + 3,24x + 36,12$	0,97
SCSBRS Tio Taka	$y = -1,56x^2 + 4,24x + 39,17$	0,99
SCS112	$y = -1,67x^2 + 5,30x + 38,57$	0,96
Epagri 109	$y = -0,96x^2 + 1,99x + 40,88$	0,99
Epagri 108	$y = -1,01x^2 + 2,57x + 38,28$	0,99
Epagri 106	$y = -1,09x^2 + 3,23x + 41,98$	0,85
..... Matéria seca da parte aérea (g)		
SCS121 CL	$y = ns$	ns
SCS118 Marques	$y = -0,0019x^2 + 0,0056x + 0,0708$	0,85
SCS117 CL	$y = ns$	ns
SCS116 Satoru	$y = -0,0035x + 0,0723$	0,74
SCS114 Andosan	$y = -0,0026x^2 + 0,0067x + 0,0654$	0,97
SCSBRS Tio Taka	$y = -0,0027x^2 + 0,0049x + 0,0749$	0,98
SCS 112	$y = -0,0058x + 0,0774$	0,98
Epagri 109	$y = ns$	ns
Epagri 108	$y = -0,0019x^2 + 0,0038x + 0,0771$	0,60
Epagri 106	$y = -0,0037x^2 + 0,0128x + 0,0865$	0,93
<i>40 dias após irrigação</i>		
.... Matéria seca da parte aérea (g planta ⁻¹)		
SCS121 CL	$y = -0,074x + 0,576$	0,79
SCS118 Marques	$y = -0,051x + 0,465$	0,65
SCS117 CL	$y = -0,077x + 0,510$	0,97
SCS116 Satoru	$y = -0,046x + 0,423$	0,91
SCS114 Andosan	$y = -0,017x^2 + 0,037x + 0,342$	0,99
SCSBRS Tio Taka	$y = -0,064x + 0,463$	0,91
SCS 112	$y = -0,063x + 0,478$	0,90
Epagri 109	$y = -0,048x + 0,456$	0,99
Epagri 108	$y = -0,038x + 0,424$	0,93
Epagri 106	$y = -0,018x^2 + 0,018x + 0,482$	0,99

principais fatores que determinaram a resposta das plantas ao estresse por salinidade, uma vez que interferem diretamente na eficiência do consumo de água. Esse consumo, por sua vez, determina a absorção de nutrientes e íons tóxicos, como o próprio Na, prejudicando o desenvolvimento das plantas.

A menor condutância estomática, ocasionada pelas menores aberturas dos estômatos, levaram a redução na taxa de transpiração e diminuição na concentração de CO₂ intercelular no estômato, o que reduziu a taxa fotossintética da maioria dos cultivares de arroz quando submetidos a água de irrigação salina (Figura 3 A).

A condutância estomática é o mecanismo fisiológico que as plantas possuem para o controle da transpiração. Por isso, representa a medida do fluxo de água e de CO₂ através dos estômatos, sendo considerada a principal limitação da assimilação do CO₂ fotossintético (TAIZ & ZEIGER, 2004). A transpiração é a perda de vapor d'água pelas plantas; assim, plantas que possuem altas taxas de absorção de CO₂ apresentam grande perda por transpiração e, provavelmente, grande consumo de água, o que implica incremento positivo da produtividade (KLAR, 1984).

Os sintomas do estresse salino no arroz iniciaram com o aparecimento de clorose nas folhas (branqueamento dos tecidos clorofilados) provocada pela redução na concentração de clorofila (Figura 2), um dos efeitos primários da salinidade sobre a fotossíntese em plantas sensíveis. O NaCl acelera o processo de senescência foliar e aumenta a síntese de endoproteínas responsáveis pela degradação de ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco). Outro fator responsável pela perda de clorofila e degradação de Rubisco é o rompimento da integridade das membranas plasmáticas nos cloroplastos, que desempenham importantes papéis estruturais, como o empilhamento de membranas adjacentes na grana (BARBER, 1982).▶

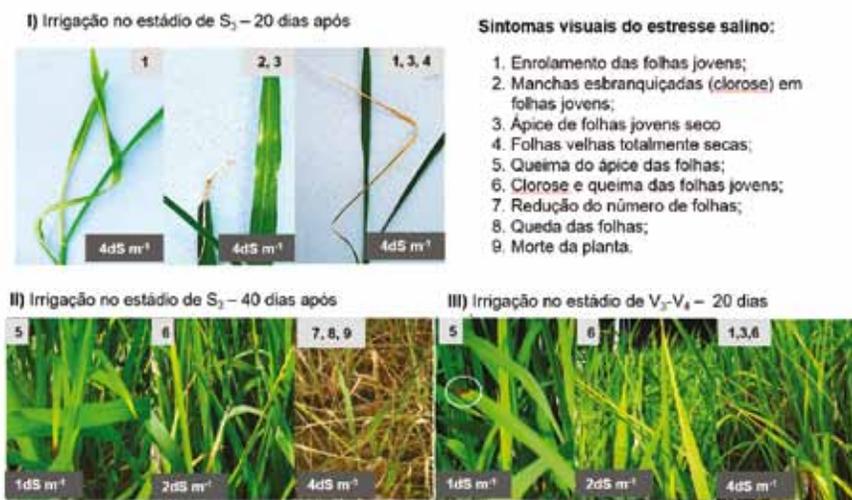
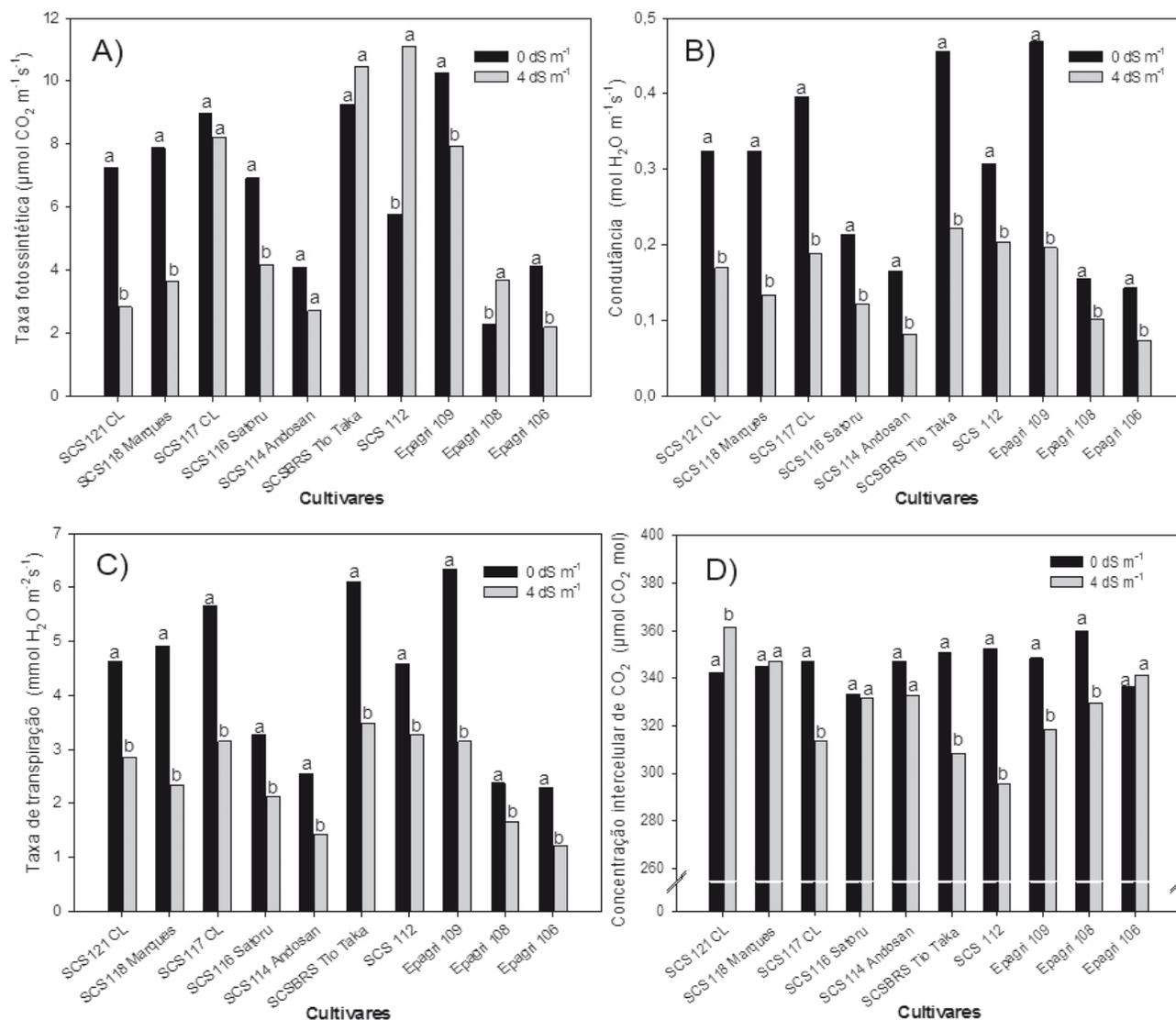


Figura 2. Sintomas visuais do estresse salino em plantas de arroz irrigado

O estresse salino altera a composição iônica do estroma, modificando as cargas na superfície da membrana tilacoide, além do próprio efeito do Na⁺, contribuindo para a sua desorganização (SALAMA et al., 1994). Dessa forma, todos os componentes dos fotossistemas (o transporte de elétrons na membrana; o gradiente de prótons entre o lúmen do tilacoide e o estroma, envolvido na produção de ATP) são afetados e podem inibir a fotossíntese, limitando a produção de açúcar e energia para a planta. Por consequência, as plantas estressadas pela salinidade apresentam redução e até mesmo paralisação do crescimento



Letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Figura 3. Taxa fotossintética (A), condutância estomática (B), taxa de transpiração (C) e concentração intercelular de CO₂ (D) em plantas de cultivares de arroz, cultivadas por 20 dias em água de irrigação com condutividades elétricas de 0 e 4 dS m⁻¹

to da parte aérea (Figura 1).

Em plantas sujeitas a estresse salino também podem ocorrer a superprodução de radicais livres (espécies reativas de oxigênio) nos cloroplastos. Com a diminuição da concentração de CO_2 , como resultado do fechamento dos estômatos há também redução na disponibilidade de NADP^+ , que é receptor de elétrons do fotossistema 1 (FS1). Simultaneamente, ocorre a geração das espécies reativas de oxigênio, a partir da hidrólise da H_2O . As reações oxidativas tóxicas, mediadas por O_2 ou H_2O_2 , prejudicam as membranas celulares, em particular a membrana tilacoide (HERNÁNDEZ et al., 1995).

As plantas apresentam sistemas enzimáticos antioxidantes que constituem a defesa primária contra os radicais livres gerados sob condições de estresse, como a superóxido dismutase (SOD), que catalisa a dismutação do radical superóxido em H_2O_2 e O_2 , a catalase (CAT) e a ascorbato peroxidase (APX), que podem quebrar o H_2O_2 em H_2O e O_2 . Entretanto, Hernández et al. (1995) mostraram que os íons de Na também são inibidores da atividade das metaloenzimas superóxido dismutase (SOD) em plantas sensíveis a salinidade. Assim, essa regulação é perdida em condições de estresse salino severo, aumentando a produção de radicais livres que podem ocasionar a peroxidação de lipídeos, avançando para degradação de membranas e morte celular.

Desse modo, o monitoramento da qualidade da água utilizada na irrigação do arroz na fase vegetativa torna-se fundamental, devido à sensibilidade a salinidade dos cultivares de arroz avaliados. Aos produtores de arroz de SC, que utilizam águas de rios litorâneos, recomenda-se a aquisição de condutivímetros portáteis, que são de baixo custo e fácil operação, para que possam acompanhar a qualidade da água e tomar decisões acertadas no manejo da irrigação nas lavouras.

Conclusões

A recomendação de suspender a irrigação quando a condutividade elétrica da água atinge valores iguais ou maiores

que 2dS m^{-1} está adequada para a fase vegetativa dos cultivares de arroz lançados pela Epagri nas condições de cultivo em SC.

O uso de água de irrigação com CE de 4dS m^{-1} a partir da sementeira provoca estresse salino severo, causando a redução da condutância estomática de água e de CO_2 , e reduzindo também a taxa de transpiração o crescimento das plantas de arroz.

As plantas de arroz são mais sensíveis à salinidade quando o estresse salino inicia no estágio de emergência da plântula.

Referências

ALTHOFF, D.A. Salinidade do rio Araranguá versus arroz irrigado: problemas e alternativas. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v.8, p.83-92, 2000.

ASHRAF, M. Inducing drought tolerance in plants: some recent advances. **Biotechnology Advances**, v.28, p.169-183, 2010.

BARBER, J. Influence of surface charges on thylacoide structure and function. **Annual Review of Psychology**, v.33, p.261-295, 1982.

GRATTAN, S.R.; ZENG, L.; SHANNON, M.C.; ROBERTS, S.R. Rice is more sensitive to salinity than previously thought. **California Agriculture**, v.56, p.189-195, 2002.

GOMES, A. da S.; PAULETTO, E.A.; FRANZ, A.F.H. Uso e manejo da água em arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de. (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Clima Temperado, 2004. p.417-455.

HERNÁNDEZ, J.A.; OLMOS, E.; CORPAS, F.J.; SEVILLA, F.; DEL RÍO, L.A. Salt-induced oxidative stress in chloroplasts of pea plants. **Plant Science**, v.105, p.151-167, 1995.

IRRI (INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE). **Standard evaluation system for rice**. Los Baños, IRRI, 1975. 384p.

KLAR, A.E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984. 408p.

MACHADO, M.O.; TERRES, A.L. Melhoria genética de arroz irrigado na Embrapa-CPACT: IX - Tolerância de genótipos à salinidade do solo – safra 1994/95. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 21., 1995, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 1995. p.48-53.

MARCONDES, J.; GARCIA, A.B. Aspectos citomorfológicos do estresse salino em plântulas de arroz (*Oryza sativa* L.). **Arquivos do Instituto Biológico**, v.76, p.187-194, 2009.

MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3.ed. Academic Press, 2011, 672p.

MARSCHNER, H. **Why can sodium replace potassium in plants?** In: INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE. Potassium in Biochemistry and Physiology. Proceedings of the 8th Colloquium of the International Potash Institute, Bern, 1971, p.50-63.

SALAMA, S.; TRIVEDI, S.; BUSHEVA, M.; ARAFA, A.A.; GARAB, G.; ERDEI, L. Effects of NaCl salinity on growth, cation accumulation, chloroplast structure and function in wheat cultivars differing in salt tolerance. **Journal of Plant Physiology**, v.144, p.241-247, 1994.

SCIVITTARO, W.B.; SILVA, R.S.; MARCO, E.; KLUMB, E.K.; SILVA, P.S. Tolerância de genótipos de arroz à salinidade da água de irrigação na fase vegetativa. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO; SIMPÓSIO SOBRE SELÊNIO NO BRASIL. Maceió, 2012. **Resumos...** Viçosa: SBCS, 2012. p.1-4.

SOSBAI. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 30., 6 a 8 ago. 2014, Bento Gonçalves, RS, Brasil. Santa Maria: Sosbai, 2014, 192p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. São Paulo: Artmed, 2004. 719p.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños, IRRI, 1981. 269p. ■