

Desempenho de genótipos de aveia branca em resposta ao estresse por alumínio

Solange Ferreira da Silveira Silveira ⁽¹⁾; Maraisa Crestani Hawerth ⁽²⁾; Henrique de Souza Luche ⁽¹⁾; Danyela de Cassia Oliveira ⁽¹⁾; Rogério Oliveira de Sousa ⁽³⁾; Luciano Carlos da Maia ⁽¹⁾; Antonio Costa de Oliveira ^(1*)

⁽¹⁾ Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Departamento de Fitotecnia, Laboratório de Genômica e Fitomelhoramento, Caixa Postal, 354, 96001-970 Pelotas (RS), Brasil.

⁽²⁾ Embrapa - Agropecuária Tropical, Rua Dra. Sara Mesquita, 2270, 60511-110 Fortaleza (CE), Brasil.

⁽³⁾ UFPEL, Departamento de Solos, 96001-970 Pelotas (RS), Brasil.

^(*) Autor correspondente: acostol@terra.com.br

Recebido: 21/set./2013; Aceito: 4/nov./2013

Resumo

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é uma cultura que tem um papel importante no sistema de produção de grãos e integração lavoura-pecuária, no entanto, em algumas regiões brasileiras, o pleno estabelecimento e desenvolvimento dessa cultura, bem como o aumento de produtividade são inviabilizados pelo excesso de alumínio (Al) nos solos. A avaliação de caracteres de plântulas de aveia desenvolvidas sob cultivo hidropônico com adoção de solução nutritiva mínima pode ser eficiente para classificar genótipos sensíveis e tolerantes ao Al. Este trabalho objetivou avaliar o desempenho de 10 genótipos de aveia submetidos ao estresse por Al, baseando-se na análise da retomada do crescimento da raiz, com uso de solução mínima e identificando quais caracteres se mantêm correlacionados. Foram adotadas diferentes doses de Al (0, 3, 6, e 9 mg L⁻¹ de Al). Com uso de solução mínima, a dose de 6 mg L⁻¹ de Al é a mais adequada na diferenciação de genótipos sensíveis e tolerantes. Dentre os genótipos estudados, UFRGS 14, UFRGS 19 e URS Guapa são os mais tolerantes e UPFA 20, UPF 18 e IAC 7, os mais sensíveis ao Al. Com o objetivo de classificar genótipos de aveia entre sensíveis e tolerantes ao Al, nenhuma outra variável pode ser utilizada em substituição à retomada do crescimento da raiz.

Palavras-chave: *Avena sativa* L., retomada do crescimento da raiz, solução mínima.

Performance of oat genotypes in response to aluminum stress

Abstract

White oat (*Avena sativa* L.) is a crop that has an important role in the system of grain production and crop-livestock integration. However, in some Brazilian regions the full establishment and development of this crop as well as increased productivity are hampered by aluminum excess (Al) in the soil. The evaluation of oat seedling traits, grown under hydroponic cultivation and minimum nutrient solution can be efficient to identify aluminum tolerant genotypes. This study aimed to evaluate the performance of ten genotypes subjected to stress by Al, based on analysis of the resumption of root growth, using minimum nutrient solution and identifying which characters remain correlated. Different doses (0, 3, 6, and 9 mg L⁻¹ Al) were used. It was observed that the use of minimum nutrient solution is effective for the differentiation of sensitive and tolerant oat lines to Al, being 6 mg L⁻¹ Al is the most appropriate for this scoring. Among the genotypes studied, UFRGS 14, UFRGS 19 and URS Guapa are the most tolerant and UPFA 20, UPF 18 and IAC 7 are the most sensitive to Al. The only character proved to be effective in differentiating aluminum sensitive and tolerant oat genotypes is resumption of root growth.

Key words: *Avena sativa* L., root growth resumption, minimum nutrient solution.

1. INTRODUÇÃO

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é uma cultura de inverno que apresenta papel importante no sistema de produção de grãos e integração lavoura-pecuária em regiões brasileiras. Com múltiplas formas de utilização, seu cultivo se dá principalmente nos estados do sul do Brasil, contudo a área de produção desse cereal vem se expandindo, alcançando áreas também na região centro-oeste (CONAB, 2013).

Em algumas regiões, o pleno estabelecimento e desenvolvimento dessa cultura, bem como o aumento

de produtividade, são inviabilizados pelo excesso de alumínio (Al) disponível nos solos. A toxidez por Al figura como o principal problema associado aos solos ácidos, realidade de cerca de 60% do território nacional (BRONDANI e PAIVA, 1996). Explorando a variabilidade genética existente, o melhoramento vegetal busca por cultivares de aveia tolerantes ao Al, com capacidade de se desenvolver e produzir de forma adequada em solos ricos nesse elemento tóxico.

Comparada a outros cereais como milho, cevada e trigo, a aveia (*Avena sativa* L.) é considerada o cereal mais

tolerante ao Al tóxico (NAVA et al., 2006). No entanto, globalmente, poucos cultivares são caracterizados quanto à sua resposta ao estresse por esse elemento, limitando o conhecimento sobre diferenças comportamentais entre diferentes constituições genéticas (RADMER et al., 2012).

O cultivo hidropônico, com a utilização de soluções nutritivas, tem se consolidado como uma técnica eficiente para quantificar a tolerância ao Al tóxico entre diferentes cultivares de aveia (CAMARGO e OLIVEIRA, 1981; CAMARGO et al., 2006; CRESTANI et al., 2011b; SÁNCHEZ-CHACÓN et al., 2000).

Predominantemente são utilizados protocolos baseados no uso de soluções nutritivas completas, constituídas por macro e micronutrientes mais as concentrações preestabelecidas de Al para promover o estresse. Nesse sentido, o protocolo proposto por CAMARGO e OLIVEIRA (1981) é amplamente utilizado para a caracterização de genótipos de aveia. No entanto, protocolos baseados em soluções mínimas, constituídas basicamente por Ca e a fonte de Al, têm se mostrado eficientes em avaliações de espécies como arroz, soja e milho frente ao estresse por Al (AZURA et al., 2011; MAZZOCATO et al., 2002; SPEHAR e SOUZA, 2006; WATANABE e OKADA, 2005). Em avaliação de tolerância ao Al em alguns cultivares de aveia, o uso de solução mínima demonstrou-se adequado (CRESTANI et al., 2011b). Esses autores salientam que protocolos baseados em soluções mínimas são mais baratos e de mais fácil execução nos laboratórios, estando menos suscetíveis a erros experimentais.

Existe um consenso de que características baseadas no desenvolvimento do sistema radicular empregando soluções nutritivas são os melhores critérios para seleção de plantas tolerantes ao Al (DEL GUERCIO e CAMARGO, 2011). Entre os caracteres que demonstram-se eficientes para discriminar fenotipicamente os genótipos em sensíveis e tolerantes ao Al, destaca-se a retomada do crescimento da raiz (CAMARGO e OLIVEIRA, 1981; CRESTANI et al., 2011a; SILVA et al., 2004). Contudo, caracteres com maior herdabilidade ou de mais fácil aferição que se correlacionem com esse podem ser utilizados na seleção indireta.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de 10 genótipos de aveia submetidos ao estresse por Al, baseando-se na análise da retomada do crescimento da raiz, com uso de solução mínima e identificando-se quais caracteres mantêm-se correlacionados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Capão do Leão, RS. Foram avaliados 10 genótipos de aveia branca: Albasul, Barbarasul, Brisasul, UPF 18, UPFA 20, URS 21, URS Guapa, IAC 7, UFRGS 19 e UFRGS 14. Dentre esses cultivares, URS 21 e UFRGS 14 mantiveram-se como tolerantes, enquanto que Albasul e UPF 18 foram sensíveis em outros experimentos, havendo concordância de

resultados com trabalhos anteriores. As cultivares Albasul, UPF 18, UPFA 20, UFRGS 14 e UFRGS 19 não são mais recomendadas pela Comissão Brasileira de Pesquisa em Aveia (CBPA), contudo são importantes fontes de material genético constituintes de blocos de cruzamento. Os demais cultivares são indicados para cultivo pela CBPA. Dentre esses, URS 21 e URS Guapa destacam-se devido ao potencial produtivo, sendo o último detentor de uma grande parcela de mercado. O cultivar Brisasul, além de produtivo, apresenta baixa estatura, característica essa de grande interesse no melhoramento da cultura. O cultivar IAC 7 destaca-se pela qualidade industrial dos seus grãos. Para aveia ainda não existe um melhoramento e direcionamento de cultivares que considere sua área de produção, contudo tem-se observado que genótipos com bom desempenho na região sul do Rio Grande do Sul têm um desempenho ainda melhor nas demais áreas de produção. O delineamento experimental adotado foi o completamente casualizado, com três repetições, sendo cada repetição composta por 10 plântulas. Primeiramente as sementes foram desinfestadas com hipoclorito de sódio 20%. Posteriormente, foram colocadas para germinar sobre papel germitest umedecido com água destilada, dentro de caixas gerbox. As sementes germinaram em câmara de germinação (BOD) por 72 h e posteriormente, com radículas medindo cerca de 2 mm, foram transferidas para recipientes contendo solução de cultivo, com capacidade de 1,5 L. Adotou-se o protocolo de solução nutritiva mínima, composta por $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (50 mg L⁻¹ de Ca) e água destilada.

As plântulas permaneceram por 72 h em solução nutritiva composta por 10% da solução mínima (5 mg L⁻¹ de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), juntamente com doses de 0, 3, 6 e 9 mg L⁻¹ de Al, fornecido na fonte $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$. Após esse período, as plântulas foram transferidas para a solução contendo 50 mg L⁻¹ de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e água, onde permaneceram por 96 h.

O pH de todas as soluções foi corrigido diariamente para $4,0 \pm 0,3$ e as plântulas receberam aeração e luminosidade constante. No oitavo dia de experimentação, as plântulas foram avaliadas individualmente, mensurando-se os caracteres retomada do crescimento da raiz (RCR, cm), comprimento da raiz (CR, cm), número de raízes (NR, un), comprimento da parte aérea (CPA, cm), comprimento do coleótilo (CC, cm), inserção da primeira folha (IPF, cm), comprimento da primeira folha (CPF, cm), comprimento da segunda folha (CSF, cm), massa seca de raiz (MSR, mg), massa seca de parte aérea (MSPA, mg) e crescimento efetivo da parte aérea (CPAef, cm), definido através da subtração do valor do comprimento inicial da parte aérea das plântulas quando elas foram transferidas para a solução de cultivo, do valor do comprimento final de parte aérea apresentado após a submissão ao protocolo. A medida da RCR foi obtida através da subtração do comprimento da raiz principal mensurada no momento da retirada dos genótipos da solução tratamento

e sua transferência para solução padrão, do comprimento observado ao final do experimento.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância dos fatores e considerando-se que a variável retomada do crescimento da raiz é adotada como eficiente para discriminar genótipos de aveia em sensíveis e em tolerantes, fez-se, para ela, uma análise de médias e ajuste de regressão polinomial a fim de explicar o desempenho individual dos genótipos perante as diferentes doses de Al. Posteriormente foi estimada a correlação fenotípica e genotípica entre os caracteres avaliados, através do quadrado médio esperado, na dose considerada mais eficiente para discriminação dos genótipos em sensíveis e em tolerantes. Nessa etapa estimou-se a proporção da variância genética em relação à variância total. As estimativas dos componentes da variância, i.e., genotípica (σ_g^2), fenotípica (σ_p^2) e de ambiente (σ_e^2) foram obtidas através das esperanças dos quadrados médios (COIMBRA et al., 2006; SILVA et al., 1999). Observados os caracteres que mantiveram correlação significativa com a RCR fez-se para esses uma análise de médias com o objetivo de averiguar o desempenho de cada genótipo frente ao estresse por Al. Os procedimentos estatísticos foram realizados adotando-se os programas GENES (CRUZ, 2001) e WinStat 1.0 (MACHADO e CONCEIÇÃO, 2002).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a análise de variância (Tabela 1) foi possível observar a interação significativa, entre os fatores principais genótipo e dose, para oito dos 11 caracteres estudados, não sendo significativa apenas para os caracteres CPA, CPAef e CPF. Uma vez detectada a interação significativa entre os fatores principais, para a RCR, principal variável usada na classificação de genótipos sensíveis e tolerantes ao Al em seleções feitas sob cultivo hidropônico, foi realizada uma análise de regressão (Figura 1). Embora considerada como um dos cereais mais tolerantes (NAVA et al., 2006), diferentes

genótipos de aveia dão respostas bioquimicamente diferentes ao estresse por Al (PEREIRA et al., 2011).

Os genótipos URS Guapa, UPFA 20 e URS 21 tiveram seu desempenho melhor representado por uma equação linear. Previamente, o genótipo URS 21 foi classificado como tolerante (FINATTO et al., 2007), embora em outro trabalho tenha sido classificado como sensível ao Al (REIS et al., 2009). Para os genótipos URS Guapa e UPFA 20, o que se observou foi que já na dose de 6 mg L⁻¹ de Al a RCR atingiu seu menor comprimento.

Para o genótipo UPF 18, previamente classificado como sensível ao Al (FINATTO et al., 2007; SILVA et al., 2006; 2007), a dose crítica que proporcionou a menor RCR foi 5,75 mg L⁻¹ de Al, concentração essa inferior à necessária para que os demais genótipos estudados atingissem seu menor desempenho.

As concentrações de 6,64, 6,50, 7,22 e 7,05 mg L⁻¹ de Al foram as doses críticas para a RCR nos genótipos Albasul, Barbarasul, Brisasul e IAC 7, respectivamente. O genótipo UFRGS 19 apresentou a maior redução na RCR somente na dose de 8,25 mg L⁻¹ de Al, sugerindo que essa constituição genética apresenta moderada tolerância ao Al.

O genótipo UFRGS 14 não apresentou diferença significativa na RCR frente à adição do elemento tóxico, comportando-se como tolerante, concordando com resultados encontrados em outros experimentos (CRESTANI et al., 2011b; SILVA et al., 2007).

Os resultados sugerem que, dentre as doses adotadas, a mais adequada para discriminar os genótipos de aveia em sensíveis e em tolerantes é a dose 6 mg L⁻¹ de Al, concordando com os resultados obtidos anteriormente (CRESTANI et al., 2011b).

A Tabela 2 apresenta as médias de RCR para os diferentes genótipos expostos ao estresse na dose 6 e na dose 0 mg L⁻¹ de Al e sua redução percentual. Observando-se as médias obtidas pelos genótipos na dose de 6 mg L⁻¹ de Al constata-se que a maior RCR foi obtida por UFRGS 19 e Brisasul,

Tabela 1. Resumo da análise de variância para os caracteres número de raízes (NR), retomada do crescimento da raiz (RCR), comprimento da raiz (CR), comprimento da parte aérea (CPA), crescimento efetivo da parte aérea (CPAef), inserção da primeira folha (IPF), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleóptilo (CC), massa seca de raiz (MSR) e massa seca de parte aérea (MSPA) em genótipos de aveia branca cultivados em solução mínima e submetidos ao estresse por diferentes doses de alumínio

FV	GL	QM										
		NR (unid.)	RCR (cm)	CR (cm)	CPA (cm)	CPAef (cm)	IPF (cm)	CPF (cm)	CSF (cm)	CC (cm)	MSR (mg)	MSPA (mg)
G	9	0,78**	0,02**	0,54**	11,18**	5,99**	1,05**	8,10**	8,50**	0,86**	1,69**	20,00**
D	3	1,32**	0,26**	0,48**	6,08**	4,72**	0,18*	4,43**	1,99**	0,15*	1,67**	6,13**
GxD	27	0,28**	0,02**	0,10**	0,72	0,73	0,08*	0,55	0,70**	0,07*	1,40**	1,30*
Erro	80	0,14	0,00	0,03	0,87	0,77	0,05	0,59	0,06	0,04	0,13	0,74
MG	-	3,26	0,09	1,58	9,56	7,25	2,05	7,33	0,76	1,9	2,25	6,15
CV%	-	11,40	18,18	10,22	9,74	12,10	11,05	10,44	33,09	10,66	15,98	13,95

FV = Fonte de variação; G = Genótipo; D = Dose; GL = Graus de liberdade; QM = Quadrado médio; MG = Média geral; CV = Coeficiente de variação; ** *Significativo, p<0,01 e p<0,05, respectivamente

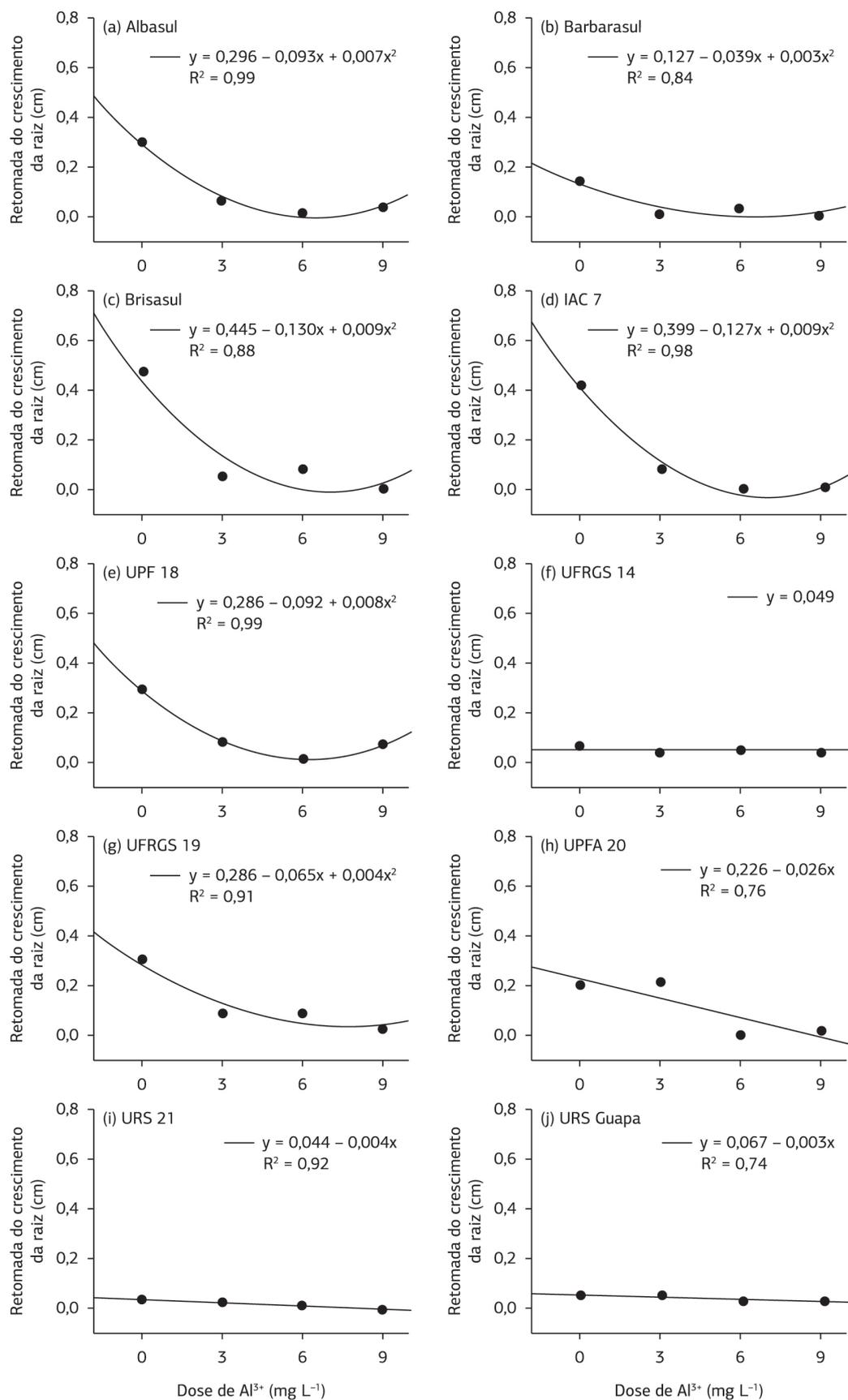


Figura 1. Representação das equações de regressão ajustadas à retomada do crescimento da raiz em função da dose de Al em genótipos de aveia branca em cultivo hidropônico com adoção do protocolo de solução nutritiva mínima; genótipos: (a) Albasul; (b) Barbarasul; (c) Brisasul; (d) IAC 7; (e) UPF 18; (f) UFRGS 14; (g) UFRGS 19; (h) UPFA 20; (i) URS 21; e (j) URS Guapa.

mas esses não divergiram estatisticamente dos genótipos UFRGS 14 e URS 21.

Ao analisar o percentual de redução da RCR, verifica-se que Brisasul e UFRGS 19 reduziram seu desenvolvimento em 81,7% e 70%, respectivamente. As médias dos genótipos UFRGS 14, URS 21, juntamente com URS Guapa não atingiram diferenças significativas quando comparadas as doses 0 e 6 mg L⁻¹ de Al. Sugere-se que tão importante quanto observar o comprimento da RCR na condição de estresse deve ser avaliar a redução percentual dessa variável, pois esse dado pode refletir o quanto o íon tóxico de fato afetou o metabolismo da planta.

Baseando-se nessas considerações é possível classificar-se o genótipo UFRGS 14 como o mais tolerante, seguido por UFRGS 19, Brisasul e URS Guapa. Com adoção do protocolo de solução completa, o genótipo UFRGS 19 foi classificado como tolerante (FINATTO et al., 2007; REIS et al., 2009).

Neste experimento, os genótipos considerados mais sensíveis ao Al foram Albasul, IAC 7, UPFA 20 e UPF 18. Os resultados encontrados para os genótipos Albasul e UPF 18 corroboram os resultados encontrados previamente por outros autores (FINATTO et al., 2007; SILVA et al., 2006; 2007).

Classificar genótipos de aveia quanto à tolerância ao Al é de extrema importância para programas de melhoramento, auxiliando na escolha de genitores que irão compor blocos de cruzamentos e na disponibilização de cultivares melhor adaptados às respectivas regiões de cultivo.

De maneira geral foi possível observar que os valores de RCR, bem como para os valores encontrados de redução percentual, foram menores que os valores encontrados em trabalhos que adotam protocolos de soluções completas, contudo essa tendência já havia sido observada (CRESTANI et al., 2011b). Esses autores sugerem que tais resultados se devem ao fato de que em soluções mínimas macro e micronutrientes essenciais à planta estão ausentes, interferindo no desenvolvimento e crescimento dos primeiros tecidos, o que acarretaria um desempenho inferior e mais desuniforme das plântulas.

Frente às respostas apresentadas pelos diferentes genótipos às diferentes doses de Al e frente a resultados que corroboram resultados encontrados por outros autores, que avaliaram alguns dos genótipos analisados neste trabalho, mas, no entanto, adotaram protocolos de solução completa, fica confirmada a eficiência do uso de soluções mínimas para classificação de genótipos de aveia em sensíveis e em tolerantes.

Analisando-se o desempenho dos genótipos em estudo quanto à RCR e visto que a dose de 6 mg L⁻¹ de Al foi a mais adequada para discriminar os genótipos em sensíveis e em tolerantes ao Al, fez-se uma análise de correlação entre os caracteres analisados, a fim de avaliar se, nessa dosagem, alguma variável de fácil aferição correlaciona-se com a RCR. Os resultados podem ser observados na Tabela 3. Foi verificada a existência de correlação fenotípica e genotípica positiva significativa entre a variável RCR e os caracteres

Tabela 2. Análise de médias para a variável retomada do crescimento da raiz (RCR) e sua redução percentual em genótipos de aveia branca cultivados em solução mínima e submetidos ao estresse por alumínio (6 mg L⁻¹)

Genótipos	RCR - 0 mg L ⁻¹ (cm)	RCR - 6 mg L ⁻¹ (cm)	Redução da RCR (%)
Albasul	A 0,30 c	B 0,01 c	96,67
Barbarasul	A 0,14 e	B 0,03 bc	65,85
Brisasul	A 0,47 a	B 0,09 a	81,69
IAC 7	A 0,41 b	B 0,00 c	100,00
UPF 18	A 0,29 c	B 0,01 c	97,67
UFRGS 14	A 0,06 f	A 0,06 ab	0,00
UFRGS 19	A 0,30 c	B 0,09 a	70,00
UPFA 20	A 0,20 d	B 0,00 c	100,00
URS 21	A 0,04 f	A 0,02bc	50,00
URS Guapa	A 0,06 f	A 0,04 bc	36,84

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, p<0,05

Tabela 3. Estimativa da proporção da variância genética em relação à variância total (σ_g^2/σ_p^2) e correlações entre os caracteres número de raízes (NR), retomada do crescimento da raiz (RCR), comprimento da raiz (CR), comprimento da parte aérea (CPA), crescimento efetivo da parte aérea (CPAef), inserção da primeira folha (IPF), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleótilo (CC), massa seca de raiz (MSR) e massa seca de parte aérea (MSPA) em genótipos de aveia branca cultivados em solução mínima e submetidos ao estresse por alumínio na dose 6 mg L⁻¹

Correlações	Caracteres	Coeficientes de correlação										
		NR (unid.)	CR (cm)	CPA (cm)	CPAef (cm)	IPF (cm)	CPF (cm)	CSF (cm)	CC (cm)	MSR (mg)	MSPA (mg)	
Fenotípicas	RCR	-0,39*	0,74**	0,58**	0,47**	0,19	0,53**	-0,16	0,29	0,61**	-0,14	
Genotípicas	RCR	-0,31	0,83**	0,73**	0,63**	0,28	0,64**	-0,16	0,38**	0,99**	-0,17	
σ_g^2/σ_p^2		93,65	75,35	88,55	75,78	67,79	82,27	74,01	97,90	86,50	39,98	87,53

** *Significativo, p<0,01 e p<0,05, respectivamente

Tabela 4. Análise de médias para os caracteres retomada do crescimento da raiz (RCR), comprimento da raiz (CR), comprimento da primeira folha (CPF) e massa seca de raiz (MSR) em genótipos de aveia branca cultivados em solução mínima submetidos ao estresse por alumínio na dose 6 mg L⁻¹

Genótipos	Caracteres			
	RCR (cm)	CR (cm)	CPF (cm)	MSR (mg)
Albasul	0,01 c	1,32 cd	6,40 b	1,80 a
Barbarasul	0,03 bc	1,87 ab	8,20 ab	2,37 a
Brisasul	0,09 a	1,94 a	7,69 ab	2,20 a
IAC 7	0,00 c	1,46 bcd	8,33 ab	1,76 a
UFP 18	0,01 c	1,68 abc	7,30 ab	1,63 a
UFRGS 14	0,06 ab	1,81 ab	9,01 a	1,87 a
UFRGS 19	0,09 a	1,66 abc	8,88 a	1,89 a
UPFA 20	0,00 c	1,15 d	7,34 ab	1,73 a
URS 21	0,02 bc	2,04 a	7,94 ab	2,19 a
URS Guapa	0,04 bc	1,76 ab	7,66 ab	2,16 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$

CR (0,74; 0,83), CPA (0,58; 0,73), CPAef (0,47; 0,63), CPF (0,53; 0,64) e MSR (0,6; 0,99). A proporção da variância genética em relação à variância total (σ_g^2 / σ_p^2) foi elevada para a maioria dos caracteres em estudo (Tabela 3), sugerindo uma reduzida interferência do ambiente sobre os caracteres avaliados.

Apesar de correlacionados com a RCR, os caracteres CPA e CPAef não apresentaram resultados significativos para a interação dosagem x genótipo (Tabela 1), não permitindo detectar de maneira eficiente a tolerância e a sensibilidade dos genótipos testados nesse experimento.

A análise de médias exposta na Tabela 4 permite a análise do desempenho dos genótipos em estudo para os caracteres CR, CPF, MSR e RCR. O CR foi uma variável que manteve associação com a RCR, e σ_g^2 / σ_p^2 elevada (88,55). Anteriormente, o CR foi indicado como eficiente na discriminação de genótipos de aveia em sensíveis e em tolerantes ao Al (CRESTANI et al., 2011a). Conforme a análise de médias (Tabela 4), pôde ser observado que os genótipos com maior CR foram Brisasul e URS Guapa e que esses não diferiram de Barbarasul, UFRGS 19, URS 21 e UFP 18. Os resultados indicam que uma seleção de genótipos tolerantes ao Al baseada nessa variável não teria a mesma eficiência que a seleção com base na RCR, pois ela permite o agrupamento de genótipos que quando selecionados por meio da RCR formam grupos distintos.

Da mesma forma, o CPF demonstrou-se correlacionado com a RCR, porém ao se observar a análise de médias (Tabela 4) para essa variável fica evidente que uma seleção baseada apenas no CPF é insuficiente para discriminar genótipos de aveia em sensíveis e em tolerantes ao Al. A análise de médias para a MSR não detectou diferenças significativas entre os genótipos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), o que inviabiliza a possibilidade de uso dessa variável na seleção indireta de genótipos tolerantes ao Al.

Diferentes genótipos de aveia foram submetidos ao estresse por Al com adoção do protocolo de solução completa (SILVA et al., 2006). Ao buscar correlações entre RCR e demais caracteres medidos em plântulas, a fim de utilizá-los na seleção indireta de genótipos tolerantes ao Al, esses autores verificaram que nenhuma outra variável poderia ser adotada eficientemente para esse fim. Neste trabalho, com uso de solução mínima de cultivo, também não foi possível identificar uma variável correlacionada a RCR e que permitisse adequada classificação dos genótipos.

4. CONCLUSÃO

Com uso de solução mínima, a dose 6 mg L⁻¹ de Al é a mais adequada na diferenciação de genótipos sensíveis e tolerantes. Dentre os genótipos estudados, UFRGS 14, UFRGS 19 e URS Guapa são os mais tolerantes e UPFA 20, UFP 18 e IAC 7, os mais sensíveis ao alumínio. Nenhuma outra variável pode ser utilizada em substituição à RCR com o objetivo de classificar genótipos de aveia em sensíveis e em tolerantes ao alumínio. Um estudo com os mesmos genótipos adotados neste experimento, em condições reais de cultivo, se faz necessário a fim de confirmar o seu desempenho em solos ricos em Al disponível.

REFERÊNCIAS

- AZURA, A.E.; SHAMSHUDDIN, J.; FAUZIAH, C.I. Root elongation, root surface area and organic acid by rice seedling under Al³⁺ and/or H⁺ stress. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, v.6, p.324-331, 2011. <http://dx.doi.org/10.3844/ajabssp.2011.324.331>
- BRONDANI, C.; PAIVA, E. Análise de "RFLP" da tolerância à toxicidade do alumínio no cromossomo 2 do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.31, p.575-579, 1996.

- CAMARGO, O.C.E.; OLIVEIRA, O.F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. *Bragantia*, v.40, p.21-23, 1981. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051981000100003>
- CAMARGO, C.E.O.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; FELÍCIO, J.C.; RAMOS, L.C.S.; PETTINELLI JÚNIOR, A.; FOLTRAN, D.E.; CASTRO, J.L.; LOBATO, M.T.V. Linhagens diaplóides de trigo: desempenho agrônômico em dois locais do Estado de São Paulo e tolerância à toxicidade de alumínio em laboratório. *Bragantia*, v.65, p.253-268, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052006000200007>
- COIMBRA, J.L.M.; SOUZA, V.Q.; KOPP, M.M.; SILVA, J.G.C.; COSTA DE OLIVEIRA, A.; CARVALHO, F.I.F. Esperanças matemáticas dos quadrados médios: uma análise essencial. *Ciência Rural*, v.36, p.1730-1738, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000600010>
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_07_09_09_04_53_boletim_graos_junho__2013.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2013.
- CRESTANI, M.; SILVA, J.A.G.; BERVALD, C.M.P.; MAIA, L.C.; COSTA DE OLIVEIRA, A.; CARVALHO, F.I.F. Related characteristics and multivariate analyses in the evaluation of white oat aluminum tolerance. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.42, p.247-262, 2011a. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2011.539083>
- CRESTANI, M.; SILVA, J.A.G.; TESSMANN, E.W.; MEZZALIRA, I.; COSTA DE OLIVEIRA, A.; CARVALHO, F.I.F. Proposal for aluminum tolerance selection in white oat under hydroponic conditions. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, v.14, p.1-8, 2011b. <http://dx.doi.org/10.1007/s12892-010-0090-z>
- CRUZ, C.D. Programa Genes – versão Windows 2001.0.0. Viçosa: Editora UFV, 2001. 648p.
- DEL GUERCIO, A.M.F.; CAMARGO, C.E.O. Herança da tolerância à toxicidade de alumínio em trigo duro. *Bragantia*, v.70, p.775-780, 2011.
- FINATTO, T.; SILVA, J.A.G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A. C.; VALÉRIO, I.P.; REIS, C.E.S.; RIBEIRO, G.; SILVEIRA, G.; FONSECA, D.A.R. Reação de tolerância de genótipos de aveia branca a concentrações de alumínio em solução nutritiva. *Magistra*, v.19, p.7-15, 2007.
- MACHADO, A.; CONCEIÇÃO, A. R. Programa estatístico WinStat Sistema de Análise Estatística para Windows. versão 2.0. Pelotas: UFPel, 2002.
- MAZZOCATO, A.C.; ROCHA, P.S.G.; SERENO, M.J.C.M.;BOHNEN, H.; GRONGO, V.; BARBOSA NETO, J.F. Tolerância ao alumínio em plântulas de milho. *Ciência Rural*, v.32, p.19-24, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000100004>
- NAVA, I.C.; DELATORRE, C.A.; LIMA DUARTE, I.T.; PACHECO, M.T.; FEDERIZZI, L.C. Inheritance of aluminum tolerance and its effects on grain yield and grain quality in oats (*Avena sativa* L.). *Euphytica*, v.148, p.353-358, 2006. <http://dx.doi.org/10.1007/s10681-005-9048-5>
- PEREIRA, L.B.; MAZZANTI, C.M.A.; CARGNELUTTI, D.; ROSSATO, L.V.; GONÇALVES, J.F.; CALGAROTO, N.; DRESSLER, V.; NICOLOSO, F.T.; FEDERIZZI, L.C.; MORSCH, V.M.; SCHETINGER, M.R.C. Differential responses of oat genotypes: oxidative stress provoked by aluminum. *Biometals*, v.24, p.73-83, 2011. PMID:20853138. <http://dx.doi.org/10.1007/s10534-010-9375-4>
- RADMER, L.; TESFAYE, M.; SOMERS, D.A.; TEMPLE, S.J.; VANCE, C.P.; SAMAC, D.A. Aluminum resistance mechanisms in oat (*Avena sativa* L.). *Plant and Soil*, v.351, p.121-134, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-011-0937-1>
- REIS, C.E.S.; SILVA, J.A.G.; CARVALHO, F.I.F.; COSTA DE OLIVEIRA, A.; MARTINS, J.L.; FINATTO, T.; CRESTANI, M. Caracterização de cultivares de aveia quanto à tolerância à toxicidade do alumínio, avaliadas em hidroponia. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.15, p.57-64, 2009.
- SÁNCHEZ-CHACÓN, C.D.; FEDERIZZI, L.C.; MILACH, S.C.K.; PACHECO, M.T. Variabilidade genética e herança da tolerância à toxicidade do alumínio em aveia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.1798-1808, 2000.
- SILVA, J.A.G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; SILVA, S.A.; MARCHIORO, V.S.; LORENCETTI, C.; BENIN, G.; SCHIMDT, D.A.M.; HARTWIG, I. Trigos di-haplóides com potencial para tolerância a toxicidade ao alumínio e a sensibilidade ao ácido giberélico em cultivo hidropônico. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.10, p.37-41, 2004.
- SILVA, G.O.; CARVALHO, F.I.F.; COSTA DE OLIVEIRA, A.; SILVA, J.A.G.; BENIN, G.; VIEIRA, E.A.; BERTAN, I.; HARTWIG, I.; FINATTO, T. Parâmetros de avaliação da tolerância ao alumínio tóxico em diferentes cultivares de aveia (*Avena sativa* L.). *Revista Brasileira de Agrociência*, v.12, p.401-404, 2006.
- SILVA, J. A. G.; CARVALHO, F. I. F.; COIMBRA, J. L. M.; VIEIRA, E. A.; BENIN, G.; OLIVEIRA, A. C.; FINATTO, T.; BERTAN, I.; SILVA, G. O.; CORREA, M. R. Tolerância ao alumínio em cultivares de aveia branca sob cultivo hidropônico. *Bragantia*, v.66, p.587-593, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000400008>
- SILVA, H.D.;REGAZZI, A.J.; CRUZ, C.D.; VIANA, J.M.S. Análise de experimentos em látice quadrado com ênfase em componentes de variância. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.1811-1822, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X1999001000007>
- SPEHAR, C.R.; SOUZA, L.A.C. Selection for aluminum tolerance in tropical soybeans. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.36, p.1-6, 2006.
- WATANABE, T.; OKADA, K. Interactive effects of Al, Ca and other cations on root elongation of rice cultivars under low pH. *Annals of Botany*, v.95, p.379-385, 2005. PMID:15546924. <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mci032>