

# Resposta de plântulas de aveia ao estresse por ácidos acético e butírico

Solange Ferreira da Silveira (1); Viviane Kopp da Luz (1); Daiana Doring Wolte (1); Fabiane Igansi Castro dos Santos (1); Taiane Peres Viana (1); Bianca Silva Fernandes (1); Danyela de Cassia Oliveira (1); Rogério Oliveira de Sousa (2); Luciano Carlos da Maia (1); Antonio Costa de Oliveira (1\*)

(1) Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Departamento de Fitotecnia, Caixa Postal: 354, 96001-970 Pelotas (RS), Brasil.

(2) UFPel/FAEM, Departamento de Solos, 96001-970 Pelotas (RS), Brasil.

(\*) Autor correspondente: acostol@cgfufpel.org

Recebido: 28/maio/2014; Aceito: 18/ago./2014

## Resumo

A aveia branca é uma excelente opção como cultura de inverno em sistemas de sucessão de culturas. A decomposição do material orgânico, mantido na superfície do solo no plantio direto, associado a condições de má drenagem ou umidade excessiva, acentua a formação de ácidos orgânicos. Dentre estes, os ácidos acéticos e butírico apresentam grande potencial fitotóxico. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito dos ácidos acético e butírico na germinação e no desenvolvimento inicial de plântulas de diferentes cultivares de aveia branca. O experimento foi conduzido em blocos completamente casualizados, onde sementes das cultivares Afrodite, Albasul, Brisasul, FAEM 06, IAC 7, URS 21 e URS Taura foram embebidas em quatro doses de ácido acético (0, 4, 8 e 12 mM) e butírico (0, 3, 6 e 9 mM). As sementes foram mantidas em câmara de germinação por dez dias. Foram avaliados os caracteres comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR) e a porcentagem de germinação (% GER). O ácido butírico demonstrou-se mais fitotóxico que o ácido acético, sendo o desenvolvimento das raízes mais afetado que a parte aérea. As cultivares IAC 7 e Brisasul demonstraram-se mais sensíveis e as cultivares URS Taura e Afrodite demonstraram-se menos afetadas pelos ácidos orgânicos em estudo. Sem a adição de ácidos e na dose de 12 mM de ácido acético, verificou-se a correlação entre % GER e CR. Existe grande variabilidade entre as cultivares estudadas, em resposta aos ácidos acético e butírico.

Palavras-chave: fitotoxidez, *Avena sativa*, germinação, raiz, parte aérea.

## Response of oat seedlings to stress caused by acetic and butyric acids

### Abstract

The white oat is an excellent winter crop choice in crop succession systems. The decomposition of organic matter sustained on the soil surface in no tillage conditions associated with poor drainage or excessive moisture increase the formation of organic acids. Among these, acetic and butyric acids have great phytotoxic potential. The objective of this study was to evaluate the effect of acetic and butyric acids on germination and early seedling development of different oat cultivars. The experiment was conducted in a completely randomized block design, where seeds of cultivars Afrodite, Albasul, Brisasul, FAEM 06, IAC 7, URS 21 and URS Taura, were subjected to four doses of acetic (0, 4, 8 and 12 mM) and butyric (0, 3, 6 and 9 mM) acid. The seeds were kept in germination chamber for ten days. The characters evaluated were shoot length (CPA), root length (CR), and the percentage of germination (% GER). The toxicity of butyric acid was higher than acetic acid, damaging root development more than shoot length. Cultivars IAC 7 and Brisasul were sensitive and cultivars URS Taura and Afrodite were tolerant to the organic acids studied. In control and 12 mM acetic acid, there was a correlation between CR and % GER. There is great variation among cultivars in response to acetic and butyric acids.

Key words: phytotoxicity, *Avena sativa*, germination, root, shoot.

## 1. INTRODUÇÃO

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é cultivada objetivando a produção de grãos, para a alimentação humana e animal, para a formação de pastagens e/ou como cobertura de solo para o sistema de plantio direto, sendo uma

alternativa viável para a rotação de culturas (CBPA, 2006; Kopp et al., 2009a).

Trata-se de uma cultura anual, que tem assumido grande importância como uma alternativa de cultivo

na estação fria, principalmente na região sul do Brasil (Crestani et al., 2010), alcançando áreas também na região centro-oeste. Nas áreas de expansão do cultivo da aveia, o principal objetivo é a manutenção da cobertura de solo para formação de biomassa e produção de grãos em sistema de plantio direto (Castro et al., 2012).

O sistema de produção de plantio direto caracteriza-se pela manutenção de resíduos vegetais sobre a superfície do solo. Durante a decomposição desses restos culturais ocorre um aumento da produção dos ácidos orgânicos (Camargo et al., 2001). Dentre os ácidos alifáticos de cadeia curta formados, os ácidos acético e butírico são os que se encontram em maiores concentrações, sendo que o ácido acético apresenta-se em concentrações superiores ao ácido butírico, ca. de 10x (Bohnen et al., 2005).

A região sul do Brasil é constituída por uma área de 6,8 milhões de hectares com solos hidromórficos, caracterizados pela má drenagem natural (Pinto et al., 2004). Esses solos, quando associados aos resíduos vegetais resultantes do sistema de plantio direto, favorecem a produção dos ácidos orgânicos (Kopp et al., 2009b; Sousa and Bortolon, 2002). Mesmo em solos não hidromórficos, quando existe muita umidade no momento do cultivo no sistema de plantio direto, a palha, úmida, pode ser alocada na mesma profundidade da semente, e, durante a decomposição dessa, a formação de ácidos pode afetar o desenvolvimento das plântulas (Lynch, 1986).

Para alguns genótipos de aveia, a toxidez causada pelos ácidos orgânicos tem sido verificada nas fases iniciais do desenvolvimento das plantas, reduzindo a germinação, o crescimento radicular e a altura das plântulas (Kopp et al., 2009a; Lynch, 1978; Tunes et al., 2008). Esses sintomas estão associados à inibição da respiração, com consequentes alterações na divisão celular e degradação de membranas (Camargo et al., 2001).

Os ácidos orgânicos interferem em processos vitais das plantas, responsáveis pela produção de energia no sistema radicular como a respiração e a fosforilação oxidativa, além de atuarem como inibidores de funções mitocondriais (Bortolon et al., 2009).

Compreender o comportamento de genótipos de aveia na presença de ácidos orgânicos, bem como identificar a variabilidade genética de cultivares, em resposta a estes, é de extrema importância para programas de melhoramento que visem disponibilizar ao mercado cultivares melhor adaptadas às respectivas regiões de cultivo. O trabalho objetivou avaliar o efeito dos ácidos acético e butírico na germinação e no desenvolvimento inicial de plântulas de diferentes cultivares de aveia branca.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram feitos dois experimentos simultaneamente, um com ácido acético e outro com ácido butírico. Cada experimento foi conduzido em blocos completamente

casualizados, sendo um fatorial simples (cultivar x dose). Utilizou-se sementes de sete cultivares de aveia branca, sendo estas: Afrodite, Albasul, Brisasul, FAEM 06, IAC 7, URS 21 e URS Taura. As doses adotadas foram 0 (controle), 4, 8 e 12 mM para o ácido acético e 0 (controle), 3, 6 e 9 mM para o ácido butírico.

Para induzir o estresse, as sementes foram embebidas em soluções, com as respectivas concentrações do ácido em estudo, por um período de 90 minutos. Após o período de embebição, as sementes foram colocadas para germinar em papel toalha (*germitest*), umedecido com água destilada, na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco (BRASIL, 2009). Os rolos foram acondicionados em câmara de germinação BOD, fotoperíodo de 12 horas, mantidos a 20 °C, por dez dias.

No décimo dia de experimentação, foram avaliados os caracteres comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento de raiz (CR), medido em centímetros (cm), e a germinação (% GER), expressa em porcentagem de plântulas normais obtidas.

Para a % GER foram avaliadas quatro repetições, onde cada unidade experimental foi composta por um rolo com 50 sementes. Para CPA e CR foram avaliadas três repetições, onde para cada repetição foram medidas dez plântulas normais que estavam dispostas no terço superior do papel de germinação.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão polinomial. Também foi executado teste de correlação simples de Pearson entre as variáveis mensuradas, dentro de cada dose estudada. O programa estatístico utilizado foi o WinStat (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 dose e cultivar, para todos os caracteres avaliados. A resposta individual das cultivares estudadas foi verificada por meio de análises de regressão polinomial. Nos gráficos também podem ser observadas as barras de desvio padrão da média. Para todas as análises foi verificado o poder do teste, sendo refutada a existência de erro tipo II na análise.

O desempenho de cada cultivar frente à adição de ácido acético para a % GER está ilustrado na figura 1. Foi possível observar que o acréscimo nas doses desse ácido não alterou a % GER nas cultivares Afrodite, Albasul, FAEM 06 e IAC 7. Em um experimento que adotou a mesma metodologia utilizada nesse trabalho, os autores notaram que a cultivar de aveia UPF 18 também não alterou sua porcentagem de germinação frente ao estresse por ácido acético (Tunes et al., 2013). No cultivo a campo, a fase de germinação é mais sensível, possivelmente porque nessas condições a plântula necessita romper uma barreira formada pela camada de solo

**Tabela 1.** Análise de variância para as variáveis porcentagem de germinação (% GER), comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento da raiz (CR) de cultivares de aveia branca, submetidas ao estresse por diferentes doses de ácido acético e butírico

F.V.	G.L.	Quadrado Médio		G.L.	Quadrado Médio			
		Ác. Acético	Ác. Butírico		Ác. Acético		Ác. Butírico	
		%GER			CR	CPA	CR	CPA
Genótipo	6	449,58*	694,48*	6	16,11*	19,25*	5,52*	11,12*
Dose	3	20,61*	280,67*	3	9,39*	0,90*	23,94*	1,83*
G x D	18	17,66*	111,77*	18	2,49*	0,39*	2,72*	3,41*
Resíduo	84	5,61	5,90	56	0,12	0,15	0,13	0,18
Média		91,62	87,94		6,89	13,82	5,96	13,84
CV (%)		2,58	2,76		5,05	2,84	5,99	3,08

\* Significativo ( $p < 0,05$ ) pelo teste F; G.L. = graus de liberdade.

e restos vegetais ricos em ácidos orgânicos, que cobrem a semente.

A cultivar Brisasul teve sua % GER melhor explicada por uma equação quadrática. Ainda que alterações significativas pelo teste F tenham sido observadas, com base nas barras de desvio padrão, cabe salientar que a dose mais restritiva diferiu apenas das doses intermediárias de 4 e 8 mM, as quais promoveram um pequeno acréscimo na porcentagem de germinação. As cultivares URS Taura e URS 21 comportaram-se de forma similar, sendo representadas por uma equação linear, havendo um pequeno aumento de 6,43% e 4,60 % na % GER, respectivamente, na dose máxima de ácido acético. Um estudo com outros ácidos orgânicos (succínico, fumárico, málico e láctico) indicou a capacidade destes em estimular a % GER em aveia, até determinadas concentrações, por promover direta ou indiretamente a absorção de oxigênio (Adkins et al., 1985).

A figura 2 representa graficamente a resposta das cultivares, frente à adição de ácido butírico, para a % GER. Apenas as cultivares Albasul e FAEM 06 mantiveram sua % GER inalterada. As cultivares Afrodite, URS Taura e URS 21 foram melhor ajustadas a uma equação quadrática, com leves acréscimos na germinação em doses intermediárias de 3 e 6 mM. Para a cultivar URS 21, a dose de 9 mM foi restritiva para a % GER, causando uma redução significativa, quando em comparação com o controle. A cultivar Brisasul também foi ajustada a uma equação quadrática, contudo foi possível observar a sensibilidade desta ao ácido butírico, reduzindo de forma acentuada a % GER, já em doses iniciais. A dose crítica para esta cultivar foi 6,55 mM de ácido butírico atingindo uma % GER igual a 70%.

Diferentemente ao observado para o ácido acético, para o ácido butírico a cultivar IAC 7 reduziu de forma linear a sua % GER, com adição de ácido. O ácido butírico é de fato considerado mais fitotóxico que o ácido acético (Camargo et al., 2001). Na dose máxima (9 mM), a % GER foi 13,7% inferior à observada no tratamento controle, atingindo apenas 79% GER. Decréscimos na % GER, pela adição de ácido butírico, foram previamente observados em aveia e arroz, sendo que para aveia a diferença foi significativa, contudo inferior a 5% (Tunes et al., 2008; 2013). Cabe salientar que pequenas diferenças na %

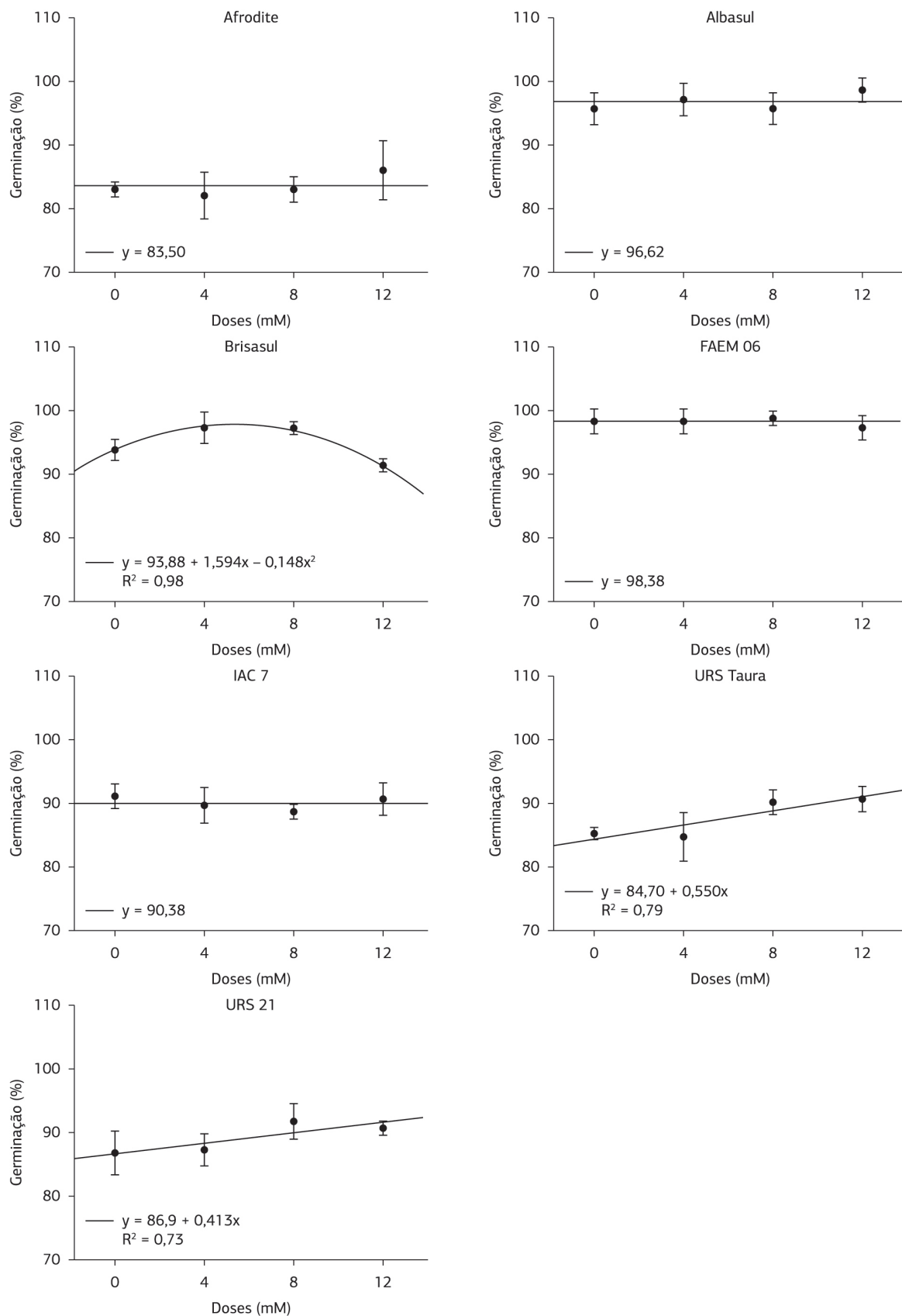
GER, ainda que significativas estatisticamente, podem não acarretar perdas de produtividade, dada a capacidade perfilhadora da aveia.

Para a variável CPA, observou-se que em adição ao ácido acético as cultivares Afrodite, FAEM 06, URS Taura e URS 21 não alteraram seu comprimento (Figura 3). As cultivares Albasul e IAC 7 foram representadas por uma equação quadrática, sendo suas doses críticas iguais a 3,89 e 5,46 mM, respectivamente. Diferentemente das demais, a cultivar Brisasul aumentou o seu CPA em resposta à adição do ácido acético. Embora significativo, o acréscimo na dose máxima foi de apenas 1,04 cm.

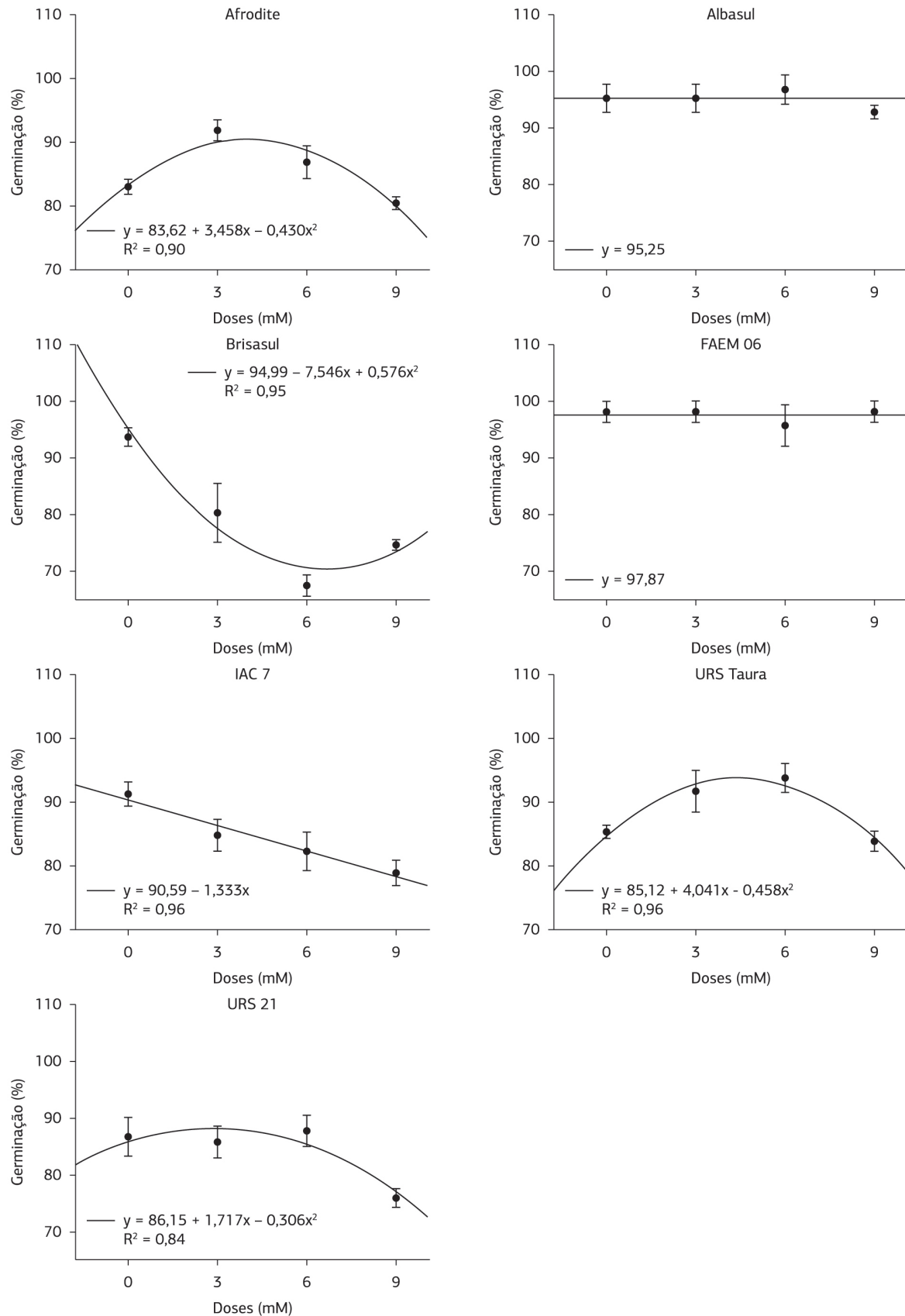
Em trabalhos com arroz (Neves et al., 2010) e trigo (Neves et al., 2009) foi observado um aumento da parte aérea após a embebição de sementes, em doses menos concentradas de ácido acético, o que os autores sugerem ser produto da translocação de nutrientes desdobrados no endosperma da semente pela ação das enzimas hidrolases. Neves e Moraes (2005) verificaram que a atividade total da  $\alpha$ -amilase foi aumentada com o incremento da concentração do ácido acético.

Frente à adição de ácido butírico (Figura 4), observou-se que a cultivar URS Taura não alterou o CPA, da mesma forma que foi observado frente à adição de ácido acético. A cultivar IAC 7 teve o comprimento dessa variável reduzido de forma linear, alcançando 11,34 cm de CPA na dose de 9 mM de ácido butírico, equivalente a 71% do comprimento observado no tratamento controle. As cultivares Brisasul e URS 21 apresentaram ajuste a uma equação quadrática, havendo um significativo incremento da variável na dose inicial de 3 mM de ácido butírico. Este também foi o grau do polinômio representativo das cultivares Albasul e FAEM 06, contudo para estas a curva foi côncava, cabendo salientar que as variações ocorridas no caráter foram de baixa magnitude. O desempenho da cultivar Albasul foi muito semelhante ao apresentado por esta em adição ao ácido acético.

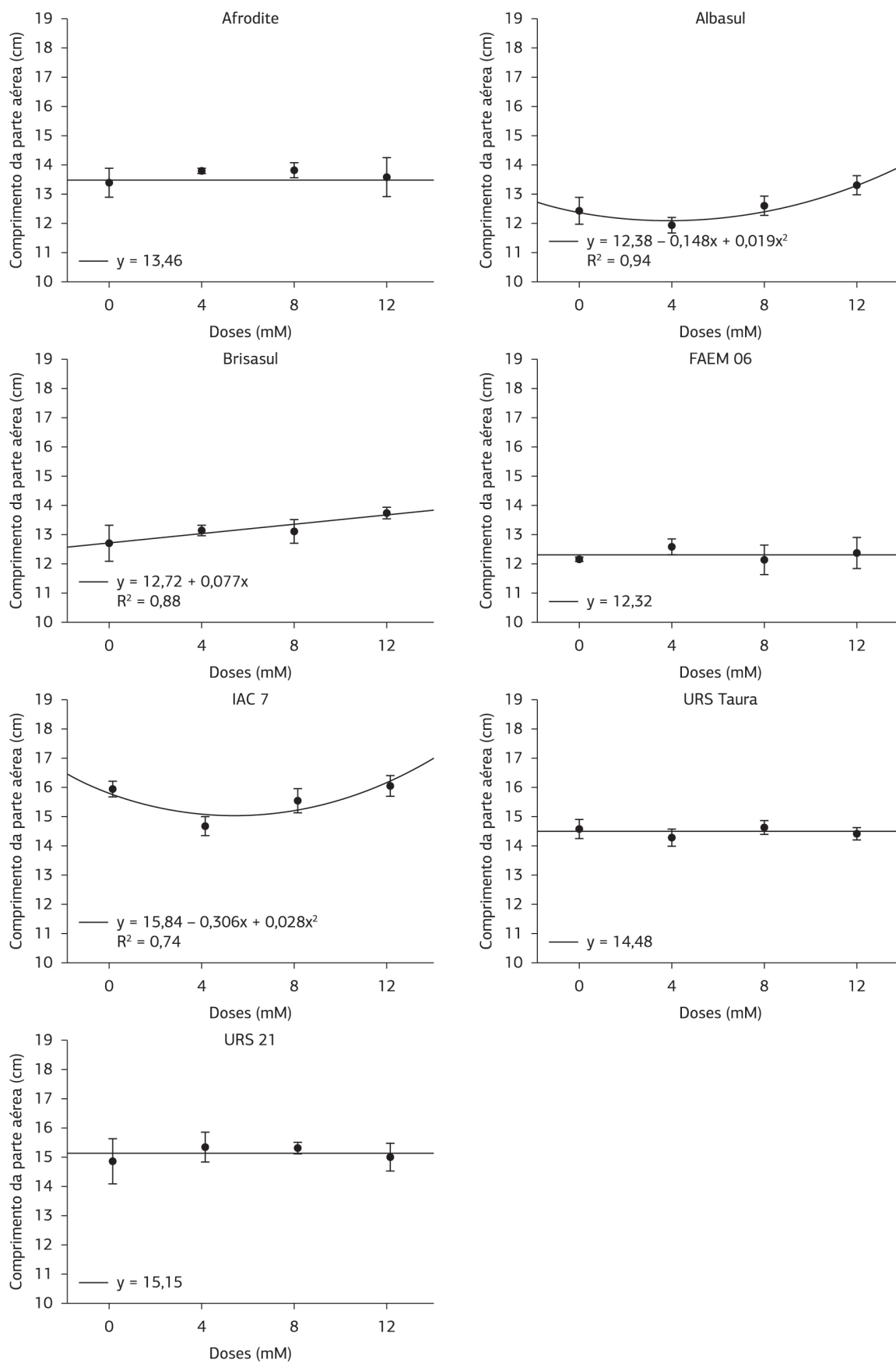
O comprimento da raiz frente ao incremento das doses de ácido acético está graficamente ilustrado na figura 5. Essa variável manteve-se constante nas cultivares Albasul e URS Taura. Nota-se que nenhum dos ácidos estudados alterou o CR da cultivar URS Taura (Figuras 5 e 6).



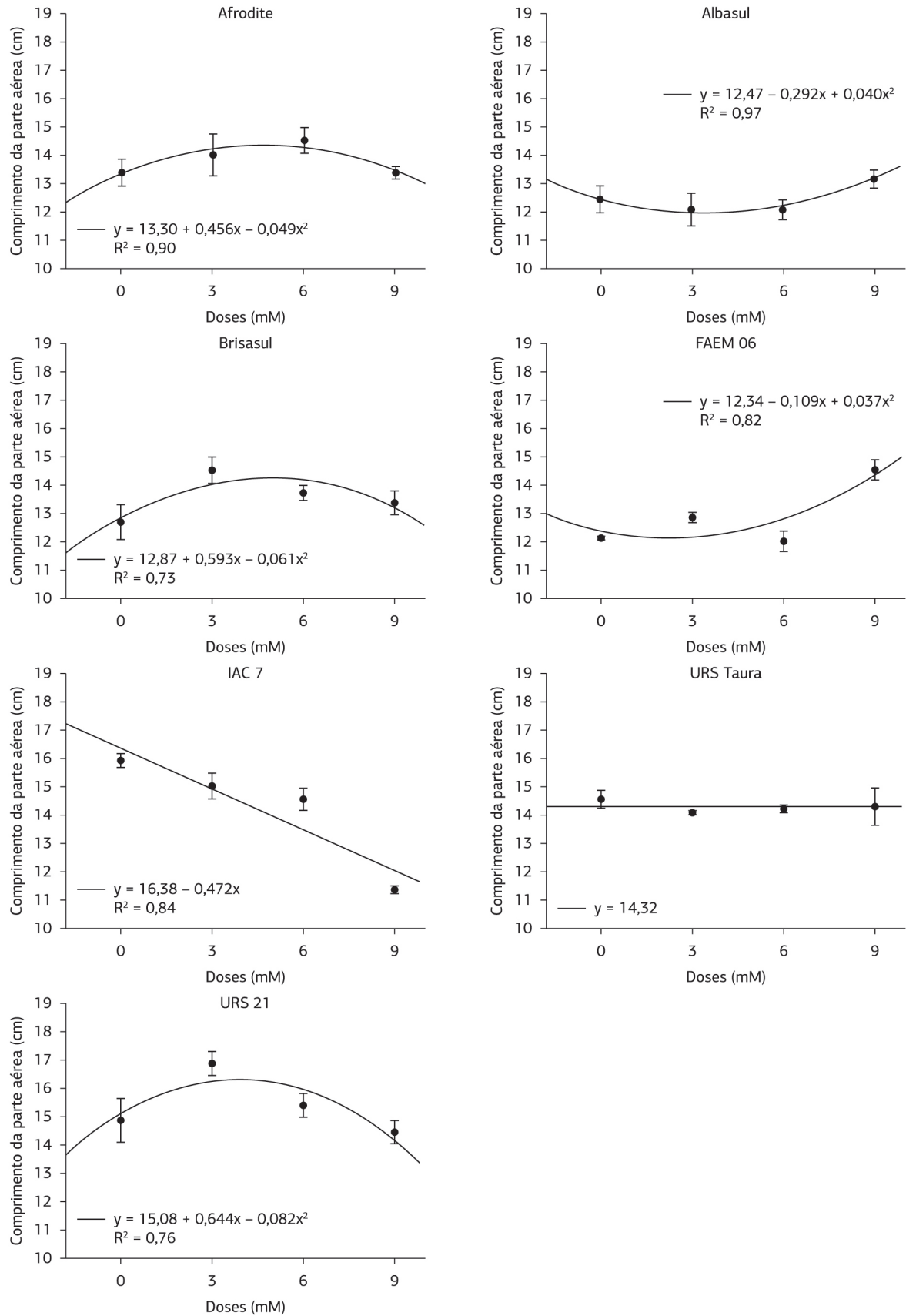
**Figura 1.** Representação gráfica, ajuste das equações de regressão e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da variável porcentagem de germinação, para cultivares de aveia submetidas ao estresse por diferentes doses de ácido acético.



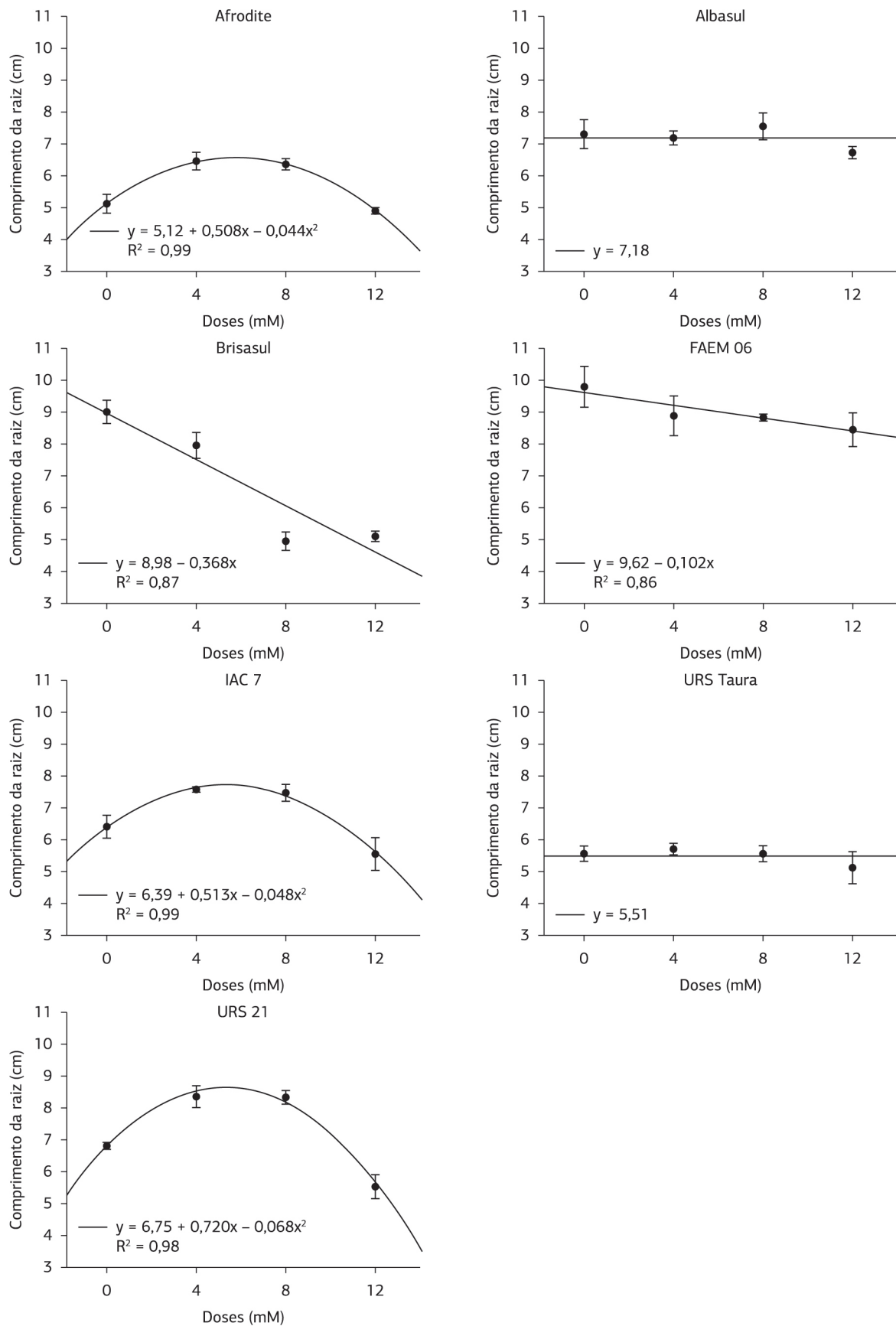
**Figura 2.** Representação gráfica, ajuste das equações de regressão e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da variável porcentagem de germinação, para cultivares de aveia submetidas ao estresse por diferentes doses de ácido butírico.



**Figura 3.** Representação gráfica, ajuste das equações de regressão e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da variável comprimento de parte aérea, para cultivares de aveia submetidas ao estresse por diferentes doses de ácido acético.

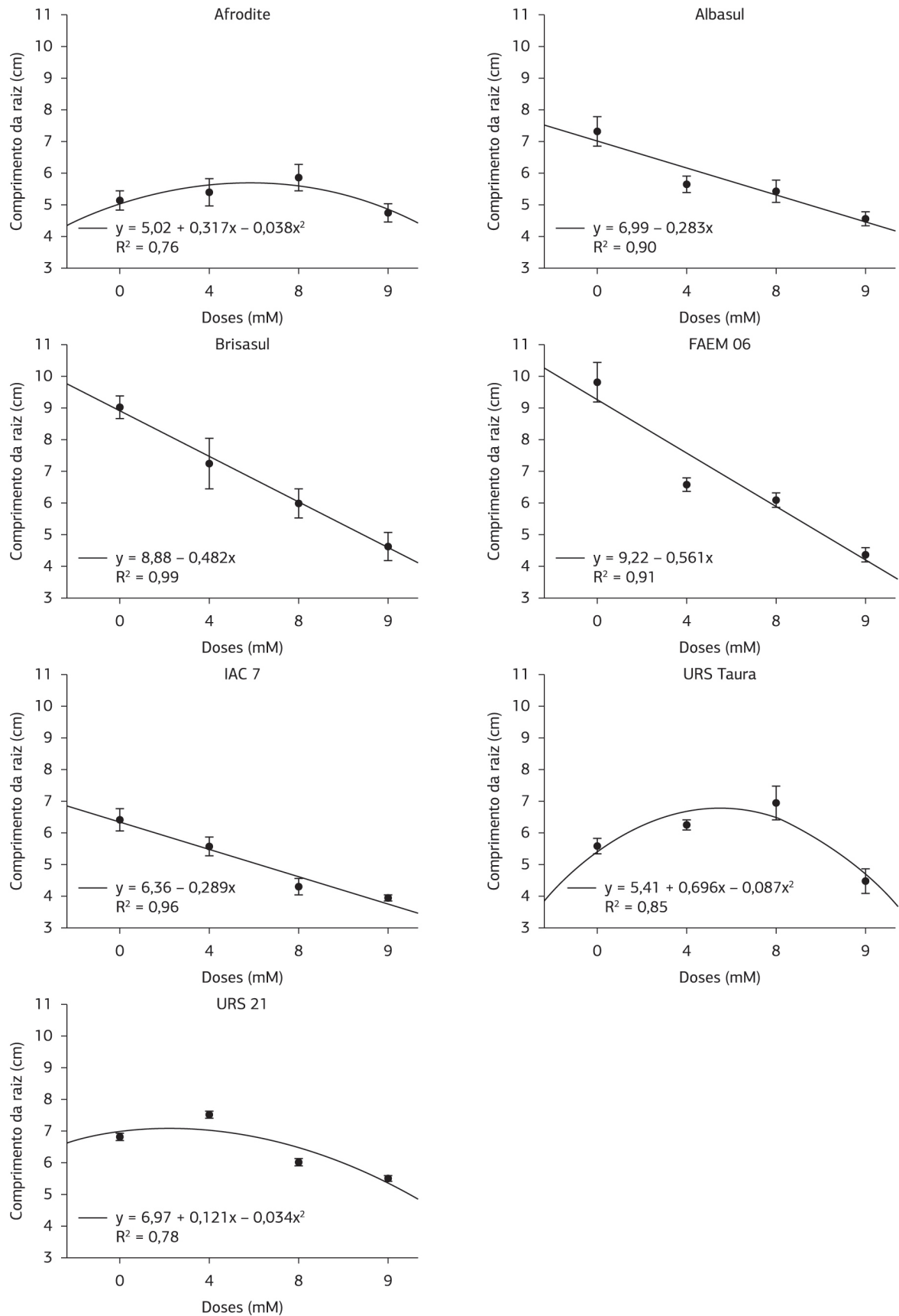


**Figura 4.** Representação gráfica, ajuste das equações de regressão e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da variável comprimento de parte aérea, para cultivares de aveia submetidas ao estresse por diferentes doses de ácido butírico.



**Figura 5.** Representação gráfica, ajuste das equações de regressão e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da variável comprimento de raiz, para cultivares de aveia submetidas ao estresse por diferentes doses de ácido acético.





**Figura 6.** Representação gráfica, ajuste das equações de regressão e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da variável comprimento da raiz, para cultivares de aveia submetidas ao estresse por diferentes doses de ácido butírico.

Uma regressão quadrática representou o desempenho das cultivares Afrodite, IAC 7 e URS 21, sendo que entre as doses de 4 mM e 8 mM foi observado significativo aumento no comprimento de raiz. Para URS 21, a dose de 12 mM foi suficiente para reduzir o CR em comparação com o tratamento controle. Já para as cultivares Afrodite e IAC 7, essa dose não proporciona reduções significativas em relação à dose zero, sendo estas cultivares tolerantes nas doses testadas. As cultivares Brisasul e FAEM 06 apresentaram um decréscimo linear no CR, sendo a redução mais drástica apresentada pela cultivar Brisasul a qual apresentou um CR de 9,02 cm no tratamento controle e 5,12 cm na dose máxima de 12 mM. Plântulas de arroz tiveram o crescimento da raiz inibido por ação de ácido acético (Armstrong e Armstrong, 2001; Sousa e Bortolon, 2002). Outro trabalho, também com arroz, demonstrou que doses mais acentuadas de ácido acético reduzem o CR, mas doses baixas (< 6,8 mM) permitiram um leve incremento da variável (Neves et al., 2010).

O ácido butírico demonstrou-se bastante fitotóxico para o desenvolvimento das raízes (Figura 6), acarretando em um decréscimo linear do caráter CR, nas cultivares Albasul, Brisasul, FAEM 06 e IAC 7. Em experimento realizado em hidroponia, com mistura de ácidos acético, propiônico e butírico, as cultivares Albasul e IAC 7 reduziram de forma linear o seu comprimento de raiz (Kopp et al., 2009a). Resultados semelhantes foram observados neste trabalho, apenas para o ácido butírico, sugerindo forte contribuição desse ácido para o decréscimo no CR.

De fato, embora estando em menor concentração na solução do solo, o ácido butírico apresenta elevado potencial de causar danos ao estabelecimento de plântulas, pois, quanto maior o tamanho da cadeia de carbonos do ácido, maior é sua fitotoxicidade (Angeles et al., 2005; Rao e Mikkelsen, 1977). Estudos com arroz e aveia confirmam um maior efeito fitotóxico do ácido butírico sobre o comprimento de raiz (Bortolon et al., 2009; Kopp et al., 2010; Schmidt et al., 2007; Tunes et al., 2008; 2013).

As demais cultivares ajustaram-se a uma equação quadrática, apresentando reduções no desenvolvimento das raízes em doses mais elevadas. Dentre estas as cultivares URS Taura e URS 21 atingiram 80% do CR, na dose máxima de 9 mM. Nesta dose a cultivar Afrodite manteve 92% do

CR obtido no tratamento controle sugerindo uma menor sensibilidade ao ácido butírico.

De forma geral se notou que existe grande variabilidade entre as cultivares estudadas, em resposta aos ácidos acético e butírico. Essa variabilidade deve ser explorada em busca de cultivares tolerantes ao efeito fitotóxico dos ácidos orgânicos.

Dentre as cultivares estudadas a cultivar Brisasul demonstrou-se sensível à ação dos ácidos orgânicos, apresentando a maior redução no CR (21%) na dose máxima de ácido acético (12 mM) e reduções lineares e acentuadas no CR e na % GER, frente às doses de ácido butírico. A cultivar IAC 7 foi sensível à ação do ácido butírico com decréscimos acentuados e lineares, das variáveis CR, CPA e % GER, frente a diferentes doses desse ácido.

A cultivar URS Taura destacou-se como potencial cultivar tolerante aos ácidos estudados. A % GER não reduziu com o ácido acético e reduziu apenas 2% na maior dose do ácido butírico e ambos os ácidos não interferiram no CPA. O CR foi alterado apenas pelo ácido butírico, onde a maior dose deste (9 mM) permitiu 80% do desempenho desta variável. A cultivar Afrodite também merece destaque, pois, apesar das variáveis estudadas terem sido afetadas pelos ácidos acético e butírico, não houve grande redução na % GER, no CR e no CPA, sendo a redução máxima observada igual a 8%, para o caráter CR, frente à dose máxima de ácido butírico.

A análise de correlação demonstrou que quando não houve adição de nenhum dos ácidos apenas as variáveis % GER e CR mantiveram-se correlacionadas sendo esta correlação positiva e de elevada magnitude (0,88; Tabelas 2 e 3). A presença de correlação indica que alterações sofridas por uma das variáveis são acompanhadas por modificações na outra (Carvalho et al., 2004). Considerando o ácido acético apenas na dose máxima de 12 mM foi observada correlação significativa, sendo esta novamente entre as variáveis % GER e CR (0,83; Tabela 2). Correlação significativa foi observada entre CR e CPA, em plântulas de arroz e aveia submetidas ao estresse com mistura de ácidos acético, butírico e propiônico, em hidroponia (Kopp et al., 2009b; 2012). Neste trabalho essas variáveis não correlacionaram-se. Com utilização das doses de ácido butírico não houve associação entre as variáveis mensuradas

**Tabela 2.** Estimativa das correlações entre porcentagem de germinação (% GER), comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento da raiz (CR) de cultivares de aveia branca, submetidas ao estresse por diferentes doses de ácido acético

Doses Variáveis	-----0 mM-----			-----8 mM-----		
	% GER	CPA	CR	% GER	CPA	CR
% GER	-	-0,53	0,88**	% GER	-	0,21
CPA	-0,56	-	-0,60	CPA	-0,47	-0,06
CR	0,65	-0,02	-	CR	0,83*	-
Doses	-----4 mM-----			-----12 mM-----		

\* e \*\* Significativo pelo teste t,  $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ , respectivamente; nas diagonais superiores estão as correlações obtidas para as doses 0 e 8 mM e nas diagonais inferiores encontram-se as correlações obtidas para as doses de 4 e 12 mM.

**Tabela 3.** Estimativa das correlações entre porcentagem de germinação (% GER), comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento da raiz (CR) de cultivares de aveia branca, submetidas ao estresse por diferentes doses de ácido butírico

Doses Variáveis	0 mM			6 mM		
	% GER	CPA	CR	% GER	CPA	CR
% GER	-	-0,53	0,88**	% GER	-	0,20
CPA	-0,71	-	-0,60	CPA	0,28	0,01
CR	-0,42	0,54	-	CR	-0,34	0,60
Doses	3 mM			9 mM		

\*\* Significativo pelo teste t,  $p < 0,01$ ; nas diagonais superiores estão as correlações obtidas para as doses 0 e 6 mM e nas diagonais inferiores encontram-se as correlações obtidas para as doses de 3 e 9 mM.

(Tabela 3). A falta de correlação é reflexo da variabilidade existente entre as cultivares estudadas, com diferentes respostas frente à adição do ácido.

#### 4. CONCLUSÃO

O ácido butírico é o mais fitotóxico ao desenvolvimento inicial de plântulas das cultivares de aveia estudadas, restringindo principalmente o comprimento da raiz. As cultivares IAC 7 e Brisasul demonstraram-se mais sensíveis e as cultivares URS Taura e Afrodite demonstraram-se menos afetadas pelos ácidos orgânicos em estudo. Existe correlação positiva entre as variáveis porcentagem de germinação e o comprimento da raiz sem a adição de ácidos e na dose de 12 mM de ácido acético. Há grande variabilidade entre as cultivares estudadas, em resposta aos ácidos acético e butírico.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, CNPq e FAPERGS pelos auxílios e bolsas recebidos.

#### REFERÊNCIAS

ADKINS, S.W.; SIMPSON, G.M.; NAYLOR, J.M. The physiological basis of seed dormancy in *Avenafatua*. VII. Action of organic acids and pH. *Physiology Plant*, v.65, p.310-316, 1985.

ANGELES, O.R.; JOHNSON, S.E.; BURESH, R.J. Soil solution sampling for organic acids in rice paddy soils. *Soil Society of American Journal*, v.70, p.48-70, 2005.

ARMSTRONG, J.; ARMSTRONG, W. Rice and *Phragmites*: effects of organic acids on growth, root permeability, and radial oxygen loss to the rhizosphere. *American Journal of Botany*, v.88, p.1359-1370, 2001.

BOHNEN, H.; SILVA, L.S.; MACEDO, V.R.M.; MARCOLIN, E. Ácidos orgânicos na solução de um gleissolo sob diferentes sistemas de cultivo com arroz irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.475-480, 2005.

BORTOLON, L.; SOUZA, R.O.; BORTOLON, E.S.O. Toxidez por ácidos orgânicos em genótipos de arroz irrigado. *Scientia Agraria*, v.10, p.81-84, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Regras para análise de sementes. Brasília, DF: SNDA/DNDV/CLAV. 2009. 395p.

CAMARGO, F.A.; ZONTA, E.; SANTOS, G.A.; ROSSIELO, R.O.P. Aspectos fisiológicos e caracterização de toxidez a ácidos orgânicos voláteis em plantas. *Ciência Rural*, v.31, p.523-529, 2001.

CARVALHO, F.I.F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal. Pelotas: UFPel, 2004. 142p.

CASTRO, G.S.A.; COSTA, C.H.M.; NETO, J.F. Ecofisiologia da aveia branca. *Scientia Agraria Paranaensis*, v.11, p.1-15, 2012.

CBPA – Comissão Brasileira de Pesquisa em Aveia. Indicações técnicas para cultura da aveia. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2006. 82p.

CRESTANI, M.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; SILVA, J.A.G.; GUTKOSKI, L.C.; SARTORI, J.F.; BARBIERI, R.L.; BARETTA, D. Conteúdo de  $\beta$ -glucana em cultivares de aveia branca cultivadas em diferentes ambientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.261-268, 2010.

KÖPP, M.M.; LUZ, V.K.; COIMBRA, J.L.M.; SOUSA, R.O.; OLIVEIRA, A.C. Avaliação de genótipos de arroz sob o efeito fitotóxico interativo dos ácidos acético, propiônico e butírico. *Ciências Agrárias*, v.33, p.519-532, 2012.

KOPP, M.M.; LUZ, V.K.; MAIA, L.C.; COIMBRA, J.L.M.; SOUSA, R.O.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C. Avaliação de genótipos de arroz sob efeito do ácido butírico. *Acta Botanica Brasílica*, v.24, p.578-584, 2010.

KÖPP, M.M.; LUZ, V.K.; MAIA, L.C.; SOUSA, R.O.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C. Avaliação de genótipos de aveia branca sob estresse de ácidos orgânicos. *Bragantia*, v.68, p.329-338, 2009a.

KOPP, M.M.; LUZ, V.K.; SOUZA, V.Q.; COIMBRA, J.L.M.; SOUSA, R.O.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C. Methodology adjustments for organic acid tolerance studies in oat under hydroponic systems. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.52, p.531-539, 2009b.

LYNCH, J.M. Biotecnologia do solo: fatores microbiológicos na produtividade agrícola. São Paulo: Manole Ltda, 1986, 209p.

LYNCH, J.M. Production and phytotoxicity of acetic acid in anaerobic soils containing plant residues. *Soil Biology and Biochemistry*, v.10, p.133-135, 1978.

MACHADO, A.; CONCEIÇÃO, A.R. Programa estatístico WinStat Sistema de Análise Estatístico para Windows. Versão 2.0. Pelotas: UFPel, 2002.

NEVES, L.A.S.; BASTOS, C.; GOULART, E.P.L.; HOFFMANN, C.E.F. Qualidade fisiológica de sementes de arroz irrigado submetidas a ácidos orgânicos. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.9, p.169-177, 2010.

NEVES, L.A.S.; HOFFMANN, C.E.F.; SCHAEGLER, L.; BASTOS, C.F. Desempenho fisiológico de sementes de trigo submetidas a ácidos orgânicos. *PUBLICATIO UEPG Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias*, v.15, p.157-166, 2009.

NEVES, L.A.S.; MORAES, D.M. Análise do vigor e da atividade da  $\alpha$ -amilase em sementes de cultivares de arroz submetidas a diferentes tratamentos com ácido acético. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.4, p.35-43, 2005.

PINTO, L.F.E.; LAUS, J.A.; PAULETTO, E.A. Solos de várzea no sul do Brasil. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES JUNIOR, A.M. (Ed.).

Arroz irrigado no sul do Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.75-95.

RAO, D.N.; MIKKELSEN, D.S. Effect of acetic, propionic, and butyric acids on young rice seedlings growth. *Agronomy Journal*, v.69, p.923-928, 1977.

SCHMIDT, F.; BORTOLON, L.; SOUSA, R.O. Toxidez pelos ácidos propiônico e butírico em plântulas de arroz. *Ciência Rural*, v.37, p.720-726, 2007.

SOUSA, R.O.; BORTOLON, L. Crescimento radicular e da parte aérea do arroz (*Oryzasativa* L.) e absorção de nutrientes em solução nutritiva com diferentes concentrações de ácido acético. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.8, p.231-235, 2002.

TUNES, L.M.; TAVARES, L.C.; MENEGHELLO, G.E.; FONSECA, D.A.R.; BARROS, A.C.S.A.; RUFINO, C.A. Ácidos orgânicos na qualidade fisiológica de sementes de arroz. *Ciência Rural*, v.43, p.1182-1188, 2013.

TUNES, L.M.; OLIVO, F.; BADINELLI, P.G.; CANTOS, A.; BARROS, A.C.S.A. Aspectos fisiológicos da toxidez de ácidos orgânicos em sementes de aveia. *Revista Biotemas*, v.21, p.21-28, 2008.