

Crescimento inicial de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) e tomate transgênico AVP1OX (*Solanum lycopersicum* L.) sob diferentes níveis de ferro

Initial growth of aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) and tomato transgenic AVP1OX (*Solanum lycopersicum* L.) in different levels of iron

Tamires C Santos^{1*}, Maria Lorraine F Oliveira¹, Juliana R Alexandre¹, Sávio B Souza¹, Frederico J Eutrópio¹ e Alessandro C Ramos¹

1. Laboratório de Microbiologia Ambiental e Biotecnologia, Centro Universitário Vila Velha (UVV). Rua Comissário José Dantas de Melo, 21, Ed. Biomédicas, Boa Vista, Vila Velha-ES, CEP: 29102-770.

*Autor para correspondência: tamires@hotmail.com.

Resumo As atividades econômicas geradas pelo homem como, a mineração, produção agrícola e a produção de resíduos tóxicos, tem levado a um acúmulo de metais pesados nos solos, podendo elevar a contaminação das plantas. O excesso de Fe pode causar vários sintomas nas plantas, nas quais apresenta descoloração de partes das folhas deixando visíveis as nervuras e coloração castanho-escuro nas folhas que depois morrem. Pouca informação existe acerca dos efeitos da toxicidade de ferro em espécies vegetais tropicais. A aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) é importante por apresentar ampla distribuição em áreas de fragmento de restinga. O experimento com as mudas de aroeira e as mudas de tomate transgênico foi conduzido por quatro semanas (28 dias). Foram utilizadas 50 mudas de aroeira e 40 mudas de tomates, sendo 20 do mutante AVP1OX e 20 do controle – WT crescendo sobre os seguintes tratamentos com ferro (FeSO_4): 0, 50, 100, 250 e $500\mu\text{M}$ Fe. Os resultados mostraram que as plantas de aroeira foram muito sensível às doses de ferro, o que reforça o seu uso como planta bioindicadora. Por outro lado, plantas de tomate foram mais tolerantes à disponibilidade de ferro e nenhuma tolerância significativa foi observada nas plantas com super-expressão da H^+ -pirofosfatase vacuolar. Com base nos resultados, concluiu-se que super-expressão da referida bomba de próton não está relacionada à absorção de ferro extracelular em plantas de tomate.

Palavras-chaves: restinga, bioindicadores, H^+ -pirofosfatase, fitorremediação, metais pesados.

Abstract The economic activity generated by agricultural production and the production of toxic waste has led to accumulation of heavy metals in soil and may increase the contamination of plants. Excess of iron (Fe) can induce plant symptoms such as internodal discoloration and dark-brown coloration in the leaves. There are few information about the effects of iron toxicity in tropical

plant species. The Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) is an important and wide distributed plant in restinga fragments. The experiment with the seedlings of aroeira and transgenic tomato was conducted for four weeks (28 days). AVP1OX mutants and control seedlings – WT were used grown on the following doses on the nutrient solution containing iron (FeSO_4): 0, 50, 100, 250 and $500\mu\text{M}$ Fe. The results showed that aroeira plants were very sensitive to the iron treatment, which enhances its application as bioindicator of iron toxicity. On the other hand, tomato plants were more tolerant to iron availability and no significant tolerance was observed in plants overexpressing the vacuolar H^+ -pyrophosphatase. Based on the results, we concluded that overexpression of this proton pump is not related to extracellular iron absorption in tomato plants.

Keywords: restinga, bioindicators, H^+ -pyrophosphatase, phytoremediation, heavy metals.

Introdução

As atividades econômicas geradas pelo homem como, a mineração, produção agrícola e a produção de resíduos tóxicos, tem levado a um acúmulo de metais pesados nos solos, podendo elevar a contaminação das plantas (Mendes *et al.* 2010).

Cada espécie vegetal possui variação de sensibilidade aos metais pesados (Silva, *et al.* 2007), sendo que a maioria das plantas não conseguem deixar de absorver os metais presentes no solo, mas sim, limitar parte de sua translocação no interior do tecido vegetal (Soares, *et al.* 2001).

O Ferro é um micronutriente importante para as plantas e pode estar disponível em duas formas: Fe^{2+} e Fe^{3+} . Na forma Fe^{2+} é mais solúvel e mais facilmente absorvido. O Fe é transportado via xilema até

a parte aérea da planta (Schmidt 2003) e está envolvido diretamente no metabolismo vegetal, sendo indispensável na fotossíntese, a assimilação do nitrogênio, respiração mitocondrial, proteção contra patógenos e na biossíntese hormonal (Grisi 2010).

O excesso de Fe pode causar vários sintomas visíveis nas plantas como em arroz, nas quais apresenta descoloração de partes das folhas deixando visíveis as nervuras, coloração castanho-escuro nas folhas que depois morrem. Nas raízes os sintomas são apresentados por baixa quantidade de ramificação e uma coloração castanho-escuro (Camargo *et al.* 1985).

Pouca informação existe acerca dos efeitos da toxicidade de ferro em espécies vegetais tropicais. A aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi.) é uma árvore nativa do Brasil da família das Anacardiaceae. Também conhecida como pimenta-rosa, está distribuída desde o nordeste até o sul do país, podendo também ocorrer no centro-oeste (Grisi 2010).

Nos últimos anos, H⁺-pirofosfatase vacuolar (H⁺-PPase) tem se destacado como uma proteína de membrana de crucial importância no crescimento e desenvolvimento vegetal (Gaxiola *et al.* 2007).

As H⁺-PPases, diferente das ATPases que utilizam o ATP como fonte de energia, utilizam o pirofosfato inorgânico (PP) e são reguladas sob condições de estresse. Estudos de Park *et al.* (2005) com mutantes de *Arabidopsis thaliana* demonstraram que a super-expressão do gene AVP1OX, codificando uma H⁺-PPase vacuolar, resultou em positivas e significantes incrementos no desenvolvimento radicular, maior absorção de nutrientes e transporte de auxina.

A princípio a hipótese deste trabalho é que a superexpressão de H⁺-PPase possa induzir uma tolerância às plantas de tomate se comparado ao tomate selvagem. A aroeira foi utilizada como espécie padrão de sensibilidade ao ferro. Com base neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o grau de tolerância das plantas de tomates transgênico (*Solanum lycopersicum* L.) com superexpressão da H⁺-pirofosfatase comparando ao da espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi descrita como susceptível ao Ferro³⁺, crescendo sob diferentes níveis de Fe em solução nutritiva.

Métodos

Obtenção das sementes

As sementes de aroeira foram obtidas por coleta na Aldeia Indígena Pau-Brasil, localizada no município de Aracruz-ES. As sementes de tomate (AVP1 OX e WT) foram gentilmente cedidas pelo Prof. Roberto Gaxiola, Universidade do Arizona, EUA.

Cultivo das mudas

As sementes de aroeira e tomate foram colocadas para germinar em sala de cultivo *in vitro* do LMAB, em condições de fotoperíodo e temperatura controlada (8 horas de luz e 27°C). 70 plântulas de aroeira e 70 de tomate (35 da variedade AVP1 OX e 35 da variedade WT) foram cultivadas por 4 semanas.

As sementes foram semeadas nos seguintes substratos: areia + vermiculita para a aroeira e terra vegetal + vermiculita para o tomate e dispostas em bandejas de plástico. As mudas

permaneceram nas bandejas até completarem duas semanas, sendo transferidas para os tratamentos na hidroponia.

Cultivo no sistema de hidroponia com ferro

O experimento com as plântulas de aroeira e as plântulas de tomate foi conduzido por quatro semanas (28 dias). O experimento teve seu procedimento em ambiente protegido (sala de cultivo), com temperatura controlada ($\pm 27^{\circ}\text{C}$).

As mudas foram retiradas do substrato, tendo suas raízes lavadas, quando apresentavam de quatro a cinco folhas e, aproximadamente, de 3 a 5 cm de altura e entre 3 a 4 cm de raiz.

Ao sistema hidropônico, foram utilizadas 50 mudas de aroeira e 40 mudas de tomates, sendo 20 do cultivar AVP1 OX e 20 do cultivar WT. Onde foram divididos igualmente entre os seguintes tratamentos com sulfato ferroso (FeSO₄): 0 Fe μM , 50 Fe μM , 100 Fe μM , 250 Fe μM e 500 Fe μM .

Duante o experimento 10 potes plásticos cobertos com papel alumínio com capacidade de 500 ml cada, que receberam as plântulas e se conectavam com sistema hidropônico. As plantas permaneceram aeradas por meio de mini compressores durante os experimentos.

Nos experimentos a solução nutritiva adotada constituiu-se de NaH₂PO₄ (0,56 mM); MgSO₄ (0,6 mM); NH₄NO₃ (0,9 mM); KCl (0,5 mM); KNO₃ (1,3 mM); Ca(NO₃)₂ (2,53 mM). As soluções foram trocadas a cada dois dias e seu volume completado diariamente, sendo o pH mantido em $4,5 \pm 0,2$ com a adição de HCl ou NaOH.

Análise estatística

Com as medidas obtidas foram realizadas análises prévias com Excel 2007 for Windows e as diferenças do crescimento entre o controle e as doses de ferro foram analisadas pelos testes regressão, ANOVA e Tukey ($p < 0.05$) utilizando o programa STATISTICA (versão 7.0, STATSOFT, USA).

Resultados e discussão

Influência do ferro no crescimento de raiz e de parte aérea das plantas

Os resultados mostraram que o ferro influenciou diretamente no crescimento das raízes de aroeira, em todas as doses (50, 100, 250 e 500 μM) (Figura 1). Isto mostra como esta planta é sensível a disponibilidade desse metal, mesmo em baixas concentrações (Figura 1). Comportamento similar foi observado nos tratamentos com plantas de tomate selvagem (Wt) e transgênico com super-expressão da H⁺-PPase vacuolar (AVP1OX) (Figura 1). Estes resultados corroboram aos encontrados por Adamiski (2011), em que plantas de batata-doce (*Ipomea batatas* L) submetidas a diferentes doses de ferro apresentaram uma significativa redução no crescimento de raízes.

Se comparado aos 28 dias após exposição ao ferro, plantas de tomates mostraram ser menos sensíveis em comparação com aroeira (Figura 2), o que pode ser facilmente observado na porcentagem de inibição do crescimento radicular demonstrado na Tabela 1. Na maior dose de ferro (500 μM), plantas de aroeira sofreram uma inibição no crescimento radicular de cerca de 84% sendo que em plantas de tomate

Tabela 1 Porcentagem de estimulação (+) ou inibição (-) de crescimento radicular de Aroeira, Tomate WT e Tomate AVP1 OX em diferentes doses de ferro.

Plantas	Dias	Fe(μ M)			
		50	100	250	500
Aroeira	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	7	-1,76%	-7,55%	-2,15%	-27,53%
	14	-52,63%	-53,09%	-38,57%	-50,87%
	21	-76,85%	-76,85%	-63,83%	-72,33%
	28	-78,15%	-83,41%	-81,90%	-84,15%
Tomate WT	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	7	-13,22%	-13,96%	0,00%	18,62%
	14	-21,29%	21,29%	-12,09%	-2,04%
	21	-47,05%	-51,52%	-47,05%	-50,00%
	28	-46,10%	-51,36%	-49,15%	-46,10%
Tomate AVP1 OX	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	7	5,13%	-2,46%	12,93%	0,00%
	14	-32,50%	-37,00%	-24,40%	-27,85%
	21	-45,64%	-50,00%	-41,17%	-50,00%
	28	-42,66%	-48,66%	-47,22%	-51,44%

foi de 46 e 51% nos tomate selvagem e transgênico, respectivamente.

Todos os materiais vegetais expostos ao ferro demonstraram nas raízes sintomas típicos de intoxicação por ferro, que pode ser comprovado por coloração castanho-escuras, consistência quebradiça e diminuição das ramificações radiculares (Figura 3). O escurecimento do sistema radicular pode ocorrer em decorrência da precipitação de Fe sobre as raízes das plantas cultivadas em solução nutritiva pode, com o tempo, originar a formação de uma placa de Ferro que impede a absorção de outros nutrientes e causa dano à estrutura de parede celular (Howeler 1973). Em um estágio mais avançado, esta formação de placa de ferro tem relação com inibições no crescimento do sistema radicular e parte aérea. De fato, os resultados sugerem a formação de placas de ferro em ambos os materiais vegetais estudados, já que nos experimentos foi utilizado ferro II e não ferro III. Além disso, foi descoberto recentemente que algumas plantas podem reduzir os efeitos tóxicos neutralizando os metais e transformando-os em precipitados insolúveis sobre a superfície radicular (Carli 2008).

Todas as plantas do experimento, tanto a aroeira quanto os

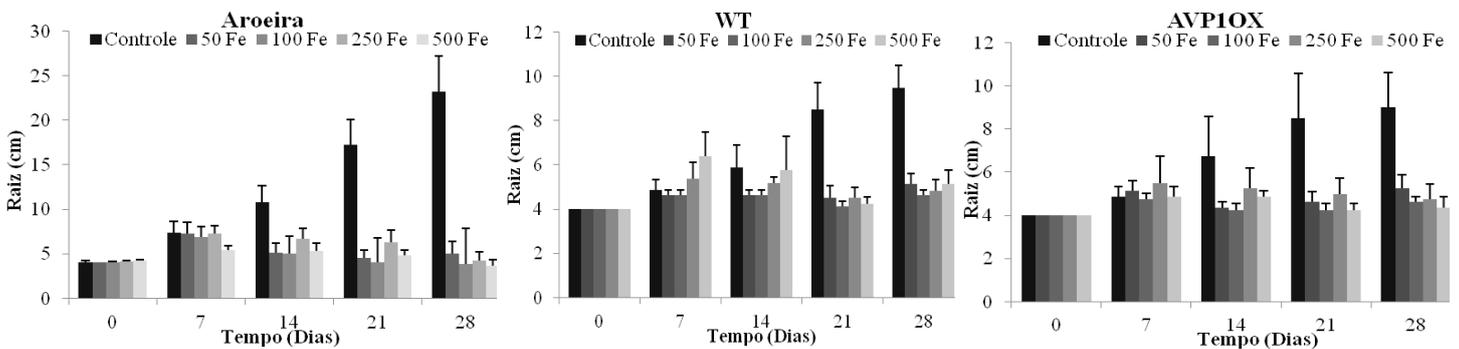


Figura 1 Média com desvio padrão do crescimento das raízes de Aroeira, Tomate variedade WT e variedade AVP1 OX nas diferentes doses de ferro.

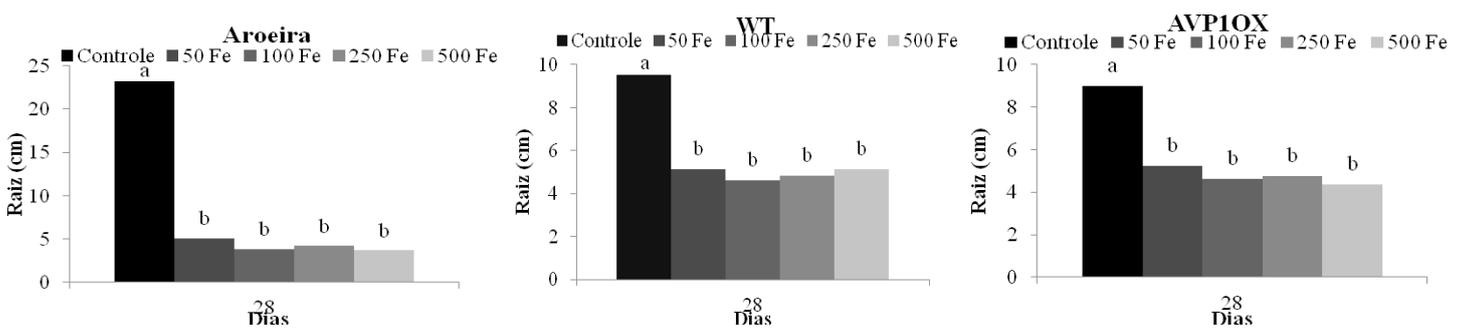


Figura 2 Médias dos comprimentos das raízes de Aroeira, Tomate da selvagem WT e transgênico AVP1OX ao longo de 28 dias de tratamentos com diferentes doses de ferro. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), dentro da característica avaliada.



Figura 3 Visão geral das plantas (Aroeira, tomate WT e tomate AVP1OX) no experimento em diferentes doses de ferro.

tomates apresentaram algum sintoma de intoxicação por ferro na parte aérea (Figura 4, 5). O crescimento da parte aérea das plantas de aroeira mostrou sensibilidade ao ferro II tal como nas raízes, porém respostas oscilatórias foram observadas nas plantas de tomate selvagem e principalmente nas transgênicas (Figura 4, 5; Tabela 2). Aos 28 dias, plantas AVP1OX nas doses de 100 e 250 μM , não apresentaram diferença significativa em comparação ao controle não-tratado com ferro. Plantas de arroz tratadas com doses de ferro apresentaram comportamento similar aos deste estudo (Camargo 1982). Por outro lado, plantas de aroeira expostas ao ferro, na forma de material particulado, mostrou resistência e sem muitas alterações nas folhas, o que não foi observado quando aroeira é exposta diretamente ao ferro na forma II (Kuki *et al.* 2008).

Segundo estudos de Gratão (2008) com tomates mutante Micro-Tom submetidas a concentrações de cádmio não foi observado alterações visíveis nas estruturas nas folhas, porém o que não se mostrou presente nas folhas nos tomates, que murcharam e caíram quando expostas à baixas doses de ferro II.

Segundo Gaxiola *et al* (2007), mudanças na expressão do AVP1 afetou a abundância e a atividade da H^+ -ATPase da membrana plasmática, alterado o pH. Isto pode ter aumentado a absorção do ferro pela planta e causando assim maiores diferenças entre AVP1 e WT, que pode ter absorvido uma quantidade menor de ferro tendo assim uma taxa de velocidade de crescimento maior do que o mutante. Segundo Park *et al* (2005), uma possível consequência deletéria da super-expressão da H^+ -PPase poderia ser a acumulação de metais tóxicos nas frutas de plantas transgênicas.

A Aroeira se mostrou altamente sensível em todas as doses de ferro, que nas maiores doses leva a morte da planta. Nas menores doses

Tabela 2 Porcentagem de estimulação (+) ou inibição (-) no crescimento da parte aérea de Aroeira, Tomate WT e Tomate AVP1OX em diferentes doses de ferro.

Plantas	Dias	Ferro (μM)			
		50	100	250	500
Aroeira	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	7	3,33%	-3,33%	0,00%	-8,33%
	14	-22,60%	-25,00%	-27,60%	-30,00%
	21	-38,86%	-41,86%	-42,81%	-49,76%
	28	-35,53%	-40,77%	-43,31%	-49,23%
Tomate WT	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	7	-9,00%	-9,00%	-14,28%	-17,85%
	14	-5,06%	-8,40%	-13,33%	-41,73%
	21	-27,20%	-15,77%	-27,65%	-51,42%
	28	-42,50%	-26,30%	-10,00%	-55,00%
Tomate AVP1 OX	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	7	-17,64%	-8,82%	2,94%	-7,41%
	14	9,39%	-33,29%	-17,28%	-29,34%
	21	-22,42%	-26,31%	-23,68%	-39,47%
	28	-28,94%	-6,63%	-14,52%	-48,73%

o ferro causou danos diretos nas raízes e formando uma crosta, que pode ter prejudicado a absorção de nutrientes ao longo do tratamento, com isso atrapalhando também o crescimento da parte aérea.

As variedades de tomate, tanto selvagem quanto transgênico apresentaram uma pequena estimulação nas doses intermediárias de ferro nos primeiros dias.

A superexpressão da H^+ -PPase vacuolar não está relacionada à absorção de ferro extracelular em plantas de tomate.

Assim, os conhecimentos oriundos deste trabalho podem contribuir significativamente para uma melhor compreensão do efeito do ferro em plantas de restingas e em variedades mutantes de tomates, porém são necessários mais estudos a respeito dos efeitos do

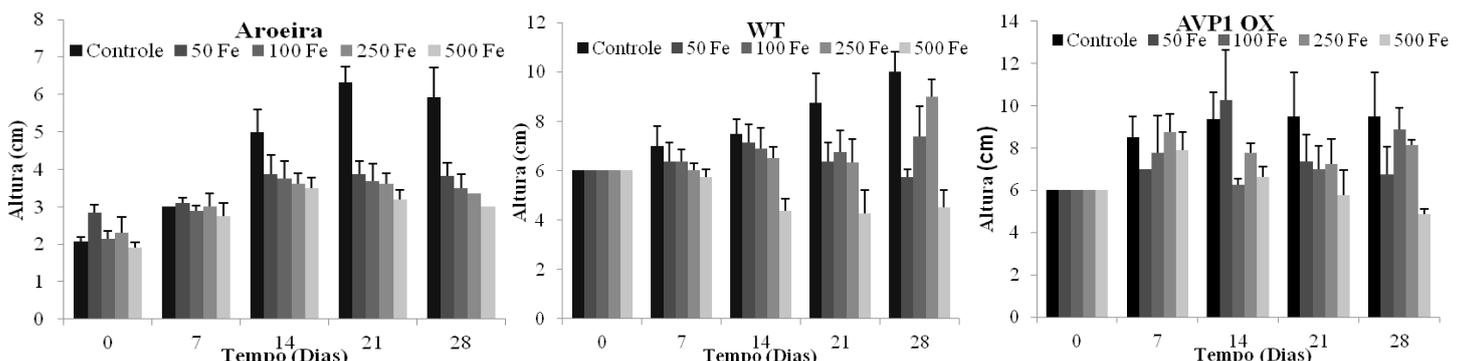


Figura 4 Média com desvio padrão do crescimento da altura de Aroeira, Tomate variedade WT e variedade AVP1 OX nas doses de ferro.

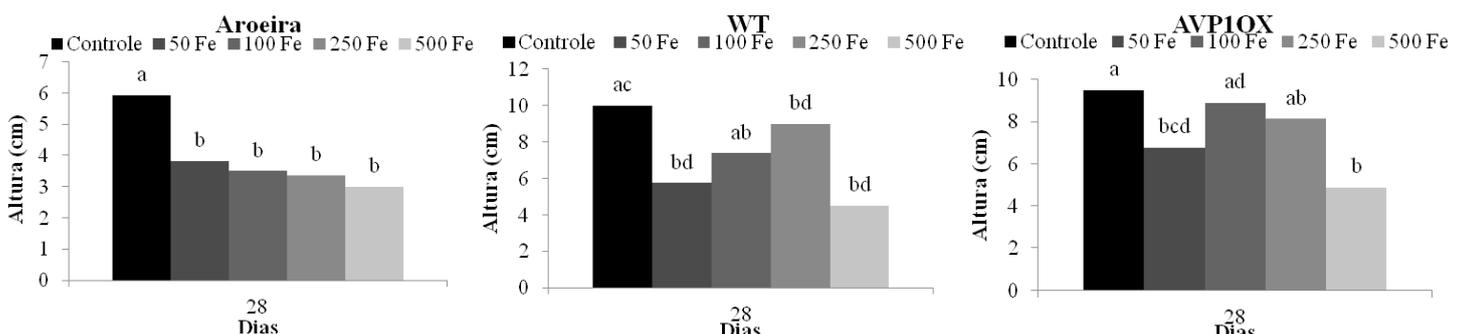


Figura 5 Médias do comprimento da altura de Aroeira, Tomate da variedade WT e variedade AVP1OX ao longo de 28 dias de tratamentos em função de diferentes doses de ferro. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), dentro da característica avaliada.

ferro, visto que essas plantas podem ser usadas como bioindicadores de ambientes contaminados por ferro.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Microbiologia Ambiental e Biotecnologia (LMAB) do Centro Universitário Vila Velha (UVV) pelo apoio à pesquisa e por disponibilizar a estrutura para o desenvolvimento do trabalho. A FAPES pela bolsa de mestrado de Gabriela C. Canton e de IC de Maria Lorraine F. Oliveira. O Laboratório de Microbiologia Ambiental e Biotecnologia é suportado com recursos dos projetos universais FAPES/ 45434484/09 e CNPq/ 475436/2010-5 e também FUNADESP 09/2011.

Referências

- Adamiski JM (2011). **Respostas morfofisiológicas de *Ipomoea batatas* L. em função da concentração de ferro.** Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Pelotas (UFP), Pelotas, RS.
- Bertolazi AA, Canton GC, Azevedo IG, Santos WO, Cruz ZM, Soares DN E S, Conceição J M, Ramos AC (2010) O papel das ectomicorrizas na biorremediação dos metais pesados no solo. **Natureza Online** 8: 24-31.
- Camargo CEOJG (1985) Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de ferro em solução nutritiva. **Bragantia** 44: 65 – 75.
- Carli VG (2008) **Avaliações fisiológicas, bioquímicas e histoquímica de *Ipomoea pes-caprae* cultivada em diferentes concentrações de ferro.** Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Fisiologia, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG.
- Fernandes KHP, Mori ES, Silva MR, Pinto CS (2008) Propagação vegetativa de Aroeira- Pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Revista Brasileira de Fruticultura** 30: 853-856.
- Gaxiola R A, Palmgren M G, Schumacher K (2007) Plant proton pumps. **Febs Letters** 581: 2204-2214.
- Gratão PL (2008) **Resposta de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* cv Micro-Tom) ao cádmio.** Tese de doutorado. Curso de Pós Graduação em Agronomia: Genética e melhoramento de plantas, Universidade Estadual de São Paulo (USP), Piracicaba, SP.
- Grisi FA (2010) **Aspectos fisiológicos de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi), sob níveis distintos de saturação hídrica em ambiente protegido de mata ciliar em processo de recuperação.** Tese de doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR.
- Gross J, Stein RJ, Fett-Neto AG, Fett JP (2003) Iron homeostasis related genes in rice. **Genetic and Molecular Biology** 26: 477- 497.
- Hall JL (2002) Cellular mechanisms for heavy metal metal detoxification and tolerance. **Journal of Experimental Botany** 53: 1-11.
- Howeler R H (1973) Iron- induced orange disease of rice in relation to physico- chemical changes in flooded soil. **Soil Science Society of American Proceedings** 37: 898-903.
- Kawashima C G, Noji M, Nakamura M, Ogra Y, Suzuki KT, Saito K (2004) Heavy metal tolerance of transgenic tobacco plants over-expressing cysteine synthase. **Biotechnology Letters** 26: 153- 157.
- Kirkby EA & Römheld V (2007) **Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade.** Versão em português do boletim *Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility*. **Informações Agrônomicas**, n. 118 . International Plant Nutrition Institute, Reino Unido.
- Kuki K N, Oliva MA, Pereira EG, Costa AC, Cambraia J (2008) Effects of simulated deposition of acid mist and iron ore particulate matter on photosynthesis and the generation of oxidative stress in *Schinus terebinthifolius* Radii and *Sophora tomentosa* L. **The Science of the total environment** 403: 207-214.
- Lenzi M, Orth AI (2004) Caracterização funcional do sistema reprodutivo da aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi), em Florianópolis-SC, Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura** 26: 198 – 201.
- Lorenzi H (2002) **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** 4 ed. São Paulo: Instituto Plantarum.
- Lucena PLH *et al.* (2006) Avaliação da ação da aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) na cicatrização de feridas cirúrgicas em bexigas de ratos. **Acta Cirúrgica Brasileira** 21: 46-51.
- Mendes MAS, Duda GP, Nascimento CWA, Lima JAG, Medeiros ADL (2010) Acúmulo de metais pesados e alterações químicas em Cambissolo cultivados com meloeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 14: 791-796.
- Oliveira CRM, Oliva MA, Pereira EG (2007) Efeito do material particulado de Ferro no teor de pigmentos de *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Revista Brasileira de Biociências** 5: 681-683.
- Paiva AMS, Aloufa MAI (2006) Estabelecimento *in vitro* de aroeira da praia (*Schinus terebinthifolius* Raddi) em diferentes concentrações de 6-benzilaminopurina (BAP). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais** 11: 300- 304.
- Park S, Li J, Plattman JK, Berkowitz GA, Yang H, Undurraga S, Morris J, Hirschi KD, Gaxiola RA (2005) Up-Regulation of H⁺-pyrophosphatase (H⁺-Ppase) as a strategy to engineer drought-resistant crop plants. **Proceedings of the National Academy of Science USA** 102: 18830-18835.
- Pereira EG (2009) **Efeitos tóxicos do ferro: alterações fisiológicas e morfológicas em plantas cultivadas e de restinga.** Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG.
- Scalon SPQ, Mussury RM, Filho HS, Francelino CSF (2010) Desenvolvimento de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius*) e sombreiro (*Clitoria fairchildiana*) sob condições de sombreamento. **Ciências Agrotécnicas** 30: 166-169.
- Schmidt W (2003) Iron solutions: acquisition strategies and signaling pathways in plants. **Trends in Plant Science** 8: 188-193.
- Silva AS, Carvalho FIF, Silva JAG, Oliveira AC, Cruz PJ, Caetano VR, Diamantino MSAS, Passos AR, Vieira EA, Simioni D (2006) Toxicidade de alumínio e efeito do ácido giberílico em linhas quase isogênicas de trigo com caráter de permanência verde e maturação sincronizada. **Ciência Rural** 36: 765-771.
- Soares CRFS, Accioly AMA, Marques TCLSM, Siqueira JO, Moreira F (2001) Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caules e folhas de mudas de árvores em solos contaminados por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal** 13: 302-315.
- Suh HJ, Kim CS, Lee JY, Jung J (2002) Photodynamic effect of iron excess on photosystem II function in pea plants. **Photochemistry and Photobiology** 75: 513-518.
- Taiz L, Zeiger E (2004) **Fisiologia Vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed.