



Influência do arsênio e fósforo sobre o crescimento de duas espécies florestais

R. F. Melo¹, L. E. Dias², I. R. Assis³ & A. F. Faria⁴

RESUMO

Este trabalho teve como objetivos avaliar a influência da interação de diferentes doses de arsênio (As) e Fósforo (P) no crescimento de mudas com quatro meses de idade, de duas espécies florestais ingá (*Inga edulis* Mart.) e angico-vermelho [*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.]. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 5x3 sendo 5 doses de As (0,0; 100; 200; 400 e 800 mg dm⁻³) e 3 doses de P (0,0; 150 e 450 mg dm⁻³), as amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo foram incubadas com as doses de As e P por período de 15 dias as quais resultaram numa disponibilidade de 0,0; 25,42; 58,88; 188,88 e 382,95 mg dm⁻³ para As e de 2,56; 72,13 e 221,37 mg dm⁻³ respectivamente, pelo extrator Mehlich-3. Com apenas 10 dias de exposição as plantas de ingá apresentaram as bordas das folhas basais arroxeadas com clorose internerval, seguida de necrose, sintomas também observado nas plantas de angico, nas doses de 400 e 800 mg dm⁻³ de As na ausência de P. Esse resultado evidencia que o P reduz a toxicidade das plantas ao As, mesmo em doses elevada. Por outro lado, as doses crescentes de arsênio mesmo na presença do P no solo contribuíram para reduzir significativamente as variáveis de crescimento como produção de matéria seca de raízes e parte aérea, altura e diâmetro de planta e conseqüentemente o incremento de altura e diâmetro de ambas às espécies. Portanto, quando observado as doses de P dentro de cada dose de As, constatamos que a maioria das variáveis estudadas tende a aumentar seus valores médios, principalmente nas plantas de angico. Com isso conclui-se que o efeito da contaminação varia com as espécies, levando-se em consideração os sintomas de toxidez foliar e as variáveis analisadas. As plantas de angico apresentaram-se mais tolerantes que as de ingá, indicando que, possivelmente seja uma planta com potencial para fitorremediação que será confirmada após a análise do material vegetal.

Palavras chave: fitorremediação, arsenato, toxicidade.

Introdução

O arsênio (As) no ambiente é derivado de fontes natural e antropogênica. A ciclagem biogeoquímica de As e o fluxo natural desse elemento na biosfera têm sido alterados em função da crescente atividade de mineração e uso de pesticidas e conservantes de madeiras entre outros, que resultam na contaminação do solo e demais componentes dos ecossistemas. Grande esforço tem sido feito visando à recuperação de solos contaminados com As, sendo uma das alternativas para isso o emprego de plantas tolerantes com potencial para extração ou estabilização do contaminante processo conhecido por fitorremediação [1].

Arsenato e fosfato são quimicamente análogos e pode interferir no metabolismo do fosfato, visto que dentro da planta o arsenato é convertido a arsenito que reage com os grupos sulfidril de enzimas e proteínas conduzindo a inibição das funções da célula resultando em morte dos tecidos celulares [7]. Estudos com plantas mostram que arsenato é translocado pelo mesmo sistema de transporte do fosfato e que a presença de fosfato reduz a absorção do arsenato devido a elevada afinidade do sistema de absorção pelo fosfato [7].

O efeito competitivo entre arsenato e fosfato nos solos tem sido demonstrado em diversas pesquisas e em vários países do mundo, porém no Brasil são escassos estudos dessa natureza.

O As e o fósforo (P) têm propriedades químicas similares; conseqüentemente, tem comportamentos semelhantes no solo. O P e o As podem competir pelos mesmos sítios de adsorção do solo e absorção pela planta [2]. Estudos indicam que o P adicionado ao solo pode aumentar a fitotoxicidade liberando mais As para solução [6].

Por outro lado, em alguns estudos o fosfato pode reduzir os efeitos tóxicos do arsenato melhorando a nutrição das plantas com fosfato [8, 9], porém esse comportamento parece depender do tipo de solo e da espécie vegetal. Assim, a presença de fósforo em solos contaminado representa um papel importante na fitoextração. O presente estudo objetivou-se avaliar a influência da interação P versus As no crescimento de duas espécies florestais ingá (*Inga edulis* Mart.) e angico-vermelho [*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.].

¹ Engenheira Agrônoma, D.Sc. Pesquisadora – EMBRAPA- Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23, Cep. 56302-970- Petrolina-PE, Zona Rural, roseli.melo@cpatsa.embrapa.br

²Prof. Associado, Depto. de Solos UFV. ledias@ufv.br, Pesquisador CNPq. UFV, CEP 36570-000, Viçosa-MG.

^{3 e 4} Estudante de Pós-graduação do Dep. de Solos - UFV. igorassis@hotmail.com, arлиндofaria@yahoo.com.br

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – UFV, utilizando-se mudas de ingá e angico-vermelho com aproximadamente quatro meses de idade.

O solo utilizado na pesquisa foi um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) coletada na região de João Pinheiro-MG com textura argilo-arenoso, coletado a uma profundidade de 0 - 20 cm, com as características químicas e físicas apresentadas na Tabela 1. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial completo 5x3 sendo 5 doses de As (0,0; 100; 200; 400 e 800 mg dm⁻³) e 3 doses de P (0,0; 150 e 450 mg dm⁻³). As amostras foram destorroadas, peneiradas (4 mm) e incubadas por 15 dias com todas as combinações de As x P, utilizando-se como fontes de As o arsenato de sódio e de P uma mistura de fosfato de potássio, fosfato de amônio e fosfato de cálcio.

Testes preliminares indicaram que as doses resultaram na disponibilidade de 0,0; 25,42; 58,88; 188,88 e 382,95 mg dm⁻³ para As e de 2,56; 72,13 e 221,37 mg dm⁻³ para P, respectivamente, pelo extrator Mehlich-3. Os valores de As disponível encontram-se significativamente superior ao valor de referência de qualidade para solos do Estado de São Paulo que é de 3,5 mg kg⁻¹ [4], e ao limite de As disponível no solo (12 mg kg⁻¹), no caso dos EUA, para que se iniciem ações de remediação [5].

Após o período de 15 dias de incubação, amostras de 1,5 dm³ de solo foram acondicionadas em vasos plásticos e transplantada uma muda por vaso de ingá e angico-vermelho. A fim de garantir o adequado suprimento de N às plantas e por não se conhecer o efeito do As sobre a atividade de bactérias do gênero *Rhizobium*, optou-se, neste estudo, pela não inoculação das sementes com bactérias fixadoras de N₂ atmosférico.

O fornecimento de P e a fertilização básica foram efetuados via saís p.a., e balanceados de maneira que apenas a quantidade de P variou (tratamento), permanecendo os demais nutrientes nivelados em todos os tratamentos.

A adubação com macronutrientes foi realizada no momento do transplantio, na forma de soluções, contendo 60 mg dm⁻³ de N, 100 mg dm⁻³ de K e 50 mg dm⁻³ de Mg. A adubação nitrogenada foi parcelada em duas etapas; no momento do transplantio e aos quarenta e cinco dias após o transplantio para ambas as espécies.

As adubações com micronutrientes foram realizadas na forma de soluções, as quais foram parceladas equitativamente em quatro aplicações (15, 30, 45 e 60 dias após a emergência), nas doses totais de 0,81; 3,66, 4,00; 1,33; 0,15 e 1,56 mg dm⁻³ de B, Mn, Zn, Cu, Mo e Fe, respectivamente [3].

Durante o período experimental as temperaturas variaram de 19,5 a 36,3 °C e a variação mensal da umidade relativa foi de 74,5 a 37,6 %. Para a determinação do incremento de altura e diâmetro foram realizadas as medições do diâmetro e altura no momento do transplantio e aos 90 dias após o transplantio, que pela diferença obteve-se o incremento total.

Aos 90 dias após o transplantio as plantas foram cortadas rente ao coleto. Para determinação do peso da matéria seca, as diferentes partes da planta foram secas em estufas de circulação forçada de ar, a 60-70 °C, até peso constante e seguida pesada em balança de precisão.

Os resultados para as variáveis estudadas foram submetidos à análise de variância e ajustados por equações de regressão, utilizando-se o programa de análises estatísticas SAEG.

Resultados e Discussão

Os sintomas de toxidez ocorreram em ambas as espécies ingá e angico, quando submetidas às doses de 400 e 800 mg dm⁻³ de As na ausência de P com apenas dez dias após a emergência, apresentando folhas com clorose internerval, seguida de necrose (Figura 1). As respostas apresentadas pelas espécies não são suficientes para caracterizá-las como espécie sensível ao As, já que nas doses inferiores mesmo na ausência de P estas apresentaram-se tolerantes. Contudo, a presença de fósforo contribuiu para reduzir a toxicidade ao As, esses resultados corroboram com os encontrados em *Pteris vitatta* [9].

Houve efeito significativo na interação das doses de As e P para ambas as espécies (Tabela 2). O crescimento em altura para as espécies variou significativamente ajustando-se equações tipo raiz quadrada, linear e quadrático quando submetidas as doses de P e As. A presença de fósforo não contribuiu para reduzir os efeitos das doses de As sob a altura das plantas para ambas as espécies, quando comparado com a testemunha (Tabela 2 e 3), sendo mais acentuado na doses de 800 mg dm⁻³ de As na ausência de P para as plantas de angico, com tendência de acréscimo na altura quando aumenta as doses de P, reduzindo assim o efeito da contaminação. O fosfato reduz a absorção do arsenato devido à elevada afinidade do sistema de absorção pelo fosfato [7]. Porém esse comportamento parece ser diferenciado entre as espécies.

Quanto ao diâmetro de colo em ambas as espécies (Tabela 3 e 4) foi possível observar baixa influência, porém significativa, tanto na presença quanto na ausência de P, com redução à medida que aumenta as doses de As.

Houve efeitos significativos (P<0,01) no incremento de diâmetro e de altura (Tabela 3 e 4) para ambas as espécies, no entanto, quando observamos o incremento em altura para as plantas de angico-vermelho, observamos que o efeito da contaminação foi minimizado pela presença da menor dose de P, porém quando aumenta as doses tanto de As quanto de P ocorrem brusca queda na altura, fato também observado na produção de matéria seca como discutido posteriormente.

Quanto à produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), houve efeitos altamente significativos ($P < 0,01$) da contaminação do solo por As e da adubação com P em todas as variáveis analisadas em ambas as espécies, com excesso do diâmetro nas plantas de ingá, que apenas apresentou efeito significativo para AsP450. Para a interação também houve efeito significativo entre os dois fatores estudados (Tabela 2). As doses de P contribuíram para reduzir os efeitos da contaminação na produção de matéria seca tanto da parte aérea quanto radicular das plantas de angico e ingá até a dose de 400 mg dm^{-3} , decrescendo bruscamente mesmo na presença de P na doses de 800 mg dm^{-3} de As, porém esse efeito foi mais marcante nas plantas de ingá.

A redução na produção de matéria seca tanto na parte aérea quanto radicular pode ter sido resultante da fitotoxicidade do As, já que sua disponibilidade pode ser aumentada com baixos níveis de P no solo [10]. A disponibilidade do As na presença de P ocorrem principalmente em solos oxidicos, como este utilizado na pesquisa, porém o efeito tóxico do As sobre a planta, parece depender da espécie vegetal.

As plantas de angico-vermelho apresentaram comportamento diferenciado das plantas de ingá apresentando ganho na matéria seca com o aumento das doses de P dentro de cada dose de As (Tabela 3 e 4) até a dose de 400 mg dm^{-3} . Mesmo assim, houve redução acentuada na produção de matéria seca tanto da parte aérea quanto de raízes com redução na ordem de 66 %, 60 % e 63 % para parte aérea e 47 %, 63 % e 59 % para raízes nas doses de 0,0; 150 e 450 mg dm^{-3} de P no solo contaminado com 800 mg dm^{-3} de As, respectivamente.

De modo geral, na ausência do As houve aumento em todas as variáveis estudadas, proporcionados pelas doses crescentes de P, com exceção da produção de matéria seca de raízes das plantas de ingá que não responderam a adubação com P. Este comportamento possivelmente pode ser resultante da característica da espécie, devido a seletividade na absorção do As já que As e P são competidores pelo mesmo sítio de absorção, esse resultado será comprovado com a análise do As e P no material vegetal que será realizado posteriormente.

Conclusões

A adubação fosfatada contribuiu para reduzir os efeitos tóxicos foliares em ambas as espécies mesmo na maior dose de As testada.

A contaminação por As reduziu significativamente todas as variáveis de crescimento analisadas, tanto na presença quanto na ausência de P.

Bibliografia

Tabela 1. Características químicas e físicas da amostra de LVA utilizada na condução do experimento

pH H ₂ O	P-rem	As-rem	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	M.O
---------------------	-------	--------	---	---	------------------	------------------	------------------	------	-----

[1] ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 299-352 p. 2000.

[2] ADRIANO, D. C. Trace Elements in the Terrestrial Environment: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. Springer, New York, NY. 2001. 867 p.

[3] ALVAREZ V., H.V. Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois latossolos de Minas Gerais. Viçosa, MG, 1974. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 1974. 125p.

[4] CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Avaliação Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo, CETESB, São Paulo, Brasil, 2005.

[5] CHEN, M.; MA, L.Q.; HOOGEWEG, C.G. & HARRIS, W.G. Arsenic background concentrations in Florida, U.S.A. surface soils: Determination and interpretation. Environ. Forensics, 2:117-126, 2001

[6] JACOBS, L.W., & KEENEY, D. R.. Arsenic-phosphorous interactions on corn. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 1:85-93,1970.

[7] MEHARG A. A, HARTLEY-WHITAKER J. Arsenic uptake and metabolism in arsenic resistant and nonresistant plant species. New Phytol., 154:29-43, 2002.

[8] SNELLER, F.E.C.; VAN HEERWAARDEN, L.M.; KRAAIJEVELD-SMIT, F. J. L.; TEN BOOKUM, W. M.; KOEVOETS, P. L. M.; SCHAT, H.; VERKLEIJ, J. A.C. Toxicity of arsenate in *Silene vulgaris*, accumulation and degradation of arsenate-induced phytochelatin. New Phytol, 144, 223-232, 1999.

[9] TU, C. & MA, L. Q. Effects of arsenate and phosphate on their accumulation by an arsenic-hyperaccumulator *Pteris vittata* L. Plant Soil, 249:373-382, 2003.

[10] WANG, J, ZHAO, F. J., MEHARG, A. A., RAAB A., FELDMANN J., MACGRATH, S.P. Mechanisms of arsenic hyperaccumulation in *Pteris vittata*. Uptake kinetics, interactions with phosphate and arsenic speciation. Plant Physiol., 130:1552-1561. 2002



Figura 1. Sintomas de toxicidade ao As em folhas basais de plantas de angico-vermelho (a) e ingá (b) na dose de 800 mg dm^{-3} aos 90 dias após o transplantio.

..... mg L ⁻¹mg dm ⁻³cmol _c dm ⁻³	dag kg ⁻¹
5,20	26,29	27,82	1,10
		25	0,00
			0,00
			1,32
			4,50
			2,01
Areia grossa ^{6/}	Areia fina ^{6/}	Silte ^{6/}	Argila ^{6/}
Dens. Aparent ^{7/}	Classe textural	Equiv. Umidad ^{7/}	
.....%.....	kg kg ⁻¹		
40	17	2	41
			1,29
			Argilo-arenoso
			0,132

Tabela 2. Resumo da análise de variância referentes à matéria seca da parte aérea (BPA), matéria seca de raízes (BR) altura de planta (ALP), diâmetro do colo (D) incremento em altura (IA), incremento em diâmetro (ID) em plantas de Angico-vermelho e ingazeira sob a influencia de P e As

Fator de variação	Quadrado Médio						
	Angico-vermelho						
	GL	MSPA	MSRA	ALP	DC	Incremento	
Altura						Diâmetro	
Blocos	2	0,66 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,01 ^{ns}
PL	1	13,54 ^{**}	0,39 ^{ns}	524,80 ^{**}	3,86 ^{**}	730,73 ^{**}	2,53 ^{**}
Pq	1	2,01 ^{**}	0,78 ^{ns}	9,64 ^{**}	2,65 ^{**}	19,81 ^{**}	0,17 ^{ns}
AsxP0	4	22,94 ^{**}	24,84 ^{**}	182,83 ^{**}	0,35 [*]	146,58 ^{**}	0,48 ^{**}
AsxP150	4	42,86 ^{**}	62,26 ^{**}	180,67 ^{**}	0,36 [*]	169,61 ^{**}	0,31 ^{**}
AsxP450	4	25,08 ^{**}	38,14 ^{**}	688,83 ^{**}	0,59 ^{**}	735,21 ^{**}	1,78 ^{**}
Resíduo	28	0,49	0,36	2,40	0,11	1,62	0,06
Média geral		9,21	11,88	45,89	6,11	20,42	2,52
CV(%)		7,60	5,02	3,38	5,35	6,24	9,88
Fator de variação	Ingazeira						
	GL	MSPA	MSRA	ALP	D	Incremento	
						Altura	Diâmetro
Blocos	2	3,56 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,16 ^{ns}
PL	1	17,17 ^{**}	31,74 ^{**}	1,94 ^{ns}	1,12 [*]	60,67 ^{**}	0,96 ^{**}
Pq	1	6,87 [*]	3,02 ^{**}	28,23 ^{**}	2,50 ^{**}	18,34 ^{**}	0,27 ^{ns}
AsxP0	4	9,77 ^{**}	10,18 ^{**}	21,57 ^{**}	0,67 [*]	55,48 ^{**}	0,05 ^{ns}
AsxP150	4	75,57 ^{**}	6,44 ^{**}	15,57 ^{**}	2,03 ^{**}	13,63 ^{**}	0,48 ^{**}
AsxP450	4	89,77 ^{**}	17,06 ^{**}	37,43 ^{**}	0,42 ^{ns}	61,10 ^{**}	0,16 ^{ns}
Resíduo	28	1,49	0,29	2,17	0,17	0,48	0,09
Média geral		14,78	7,38	43,78	8,93	10,42	2,78

Tabela 3. Influência das doses de As e P sobre a altura de planta, diâmetro do caule, biomassa da parte aérea, biomassa de raízes nas plantas de angico-vermelho

P (mg dm ⁻³)	As (mg dm ⁻³)							Equação de regressão	R ²
	Altura de planta (cm)								
	0	100	200	400	800	\bar{X}			
0	50,67	46,50	46,33	40,32	30,33	42,83 ^{**}	$\hat{y} = 50,017 - 0,0245^{**} x$	0,9849	
150	52,33	48,33	45,00	44,63	31,67	44,39 ^{**}	$\hat{y} = 51,530 - 0,0240^{**} x$	0,9565	
450	67,00	66,67	45,00	44,33	35,33	51,67 ^{**}	$\hat{y} = 69,769 - 0,114^{**} x + 0,00009^{**} x^2$	0,9277	
Incremento de altura (cm)									
0	23,33	19,33	16,00	14,17	4,67	15,50 ^{**}	$\hat{y} = 22,037 - 0,022^{**} x$	0,9719	
150	23,00	24,00	23,83	23,67	6,83	20,27 ^{**}	$\hat{y} = 22,546 + 0,021^{**} x - 0,00005^{**} x^2$	0,9925	
450	42,50	41,83	20,33	10,67	12,17	25,50 ^{**}	$\hat{y} = 46,154 - 0,132^{**} x + 0,00001^{**} x^2$	0,9092	
Diâmetro (mm)									
0	6,02	5,69	5,66	5,30	5,17	5,59 [*]	$\hat{y} = 5,867 - 0,001^{**} x$	0,8542	
150	6,57	6,55	6,60	6,33	5,78	6,37 [*]	$\hat{y} = 6,680 - 0,00105^{**} x$	0,9177	
450	7,17	6,26	6,05	6,22	6,22	6,38 ^{**}	$\hat{y} = 7,136 - 0,111^{**} \sqrt{x} + 0,003^{**} x$	0,9478	
Incremento de diâmetro (cm)									
0	2,15	2,74	2,32	2,21	1,62	2,21 ^{**}	$\hat{y} = 2,350 + 0,0007^{**} x - 0,000002^{**} x^2$	0,7316	
150	2,65	2,77	2,74	2,55	1,99	2,54 ^{**}	$\hat{y} = 2,819 - 0,0009^{**} x$	0,8505	
450	3,25	3,49	3,33	2,19	1,78	2,81 ^{**}	$\hat{y} = 3,479 - 0,002^{**} x$	0,8449	
Matéria seca da parte aérea (g)									
0	11,26	9,48	8,75	8,82	3,82	8,43 ^{**}	$\hat{y} = 10,943 - 0,0084^{**} x$	0,9205	
150	11,77	10,67	10,71	10,98	4,64	9,75 ^{**}	$\hat{y} = 11,118 + 0,0037^{ns} x - 0,00002^{**} x^2$	0,9485	
450	12,32	10,95	11,08	9,97	4,49	9,76 ^{**}	$\hat{y} = 11,897 - 0,020^{ns} x + 0,00001^{**} x^2$	0,9804	
Matéria seca de raízes (g)									
0	15,09	13,72	17,70	10,06	7,95	12,90 ^{**}	$\hat{y} = 15,197 - 0,016^{**} x + 0,000008^{**} x^2$	0,9957	
150	17,33	13,65	11,35	11,20	6,50	12,01 ^{**}	$\hat{y} = 16,333 - 0,020^{**} x + 0,00001^{**} x^2$	0,9172	
450	16,72	11,48	12,85	12,52	6,77	12,07 ^{**}	$\hat{y} = 16,698 - 0,209^{**} \sqrt{x} - 0,0032^{***} x$	0,8098	

Tabela 4. Influência das doses de As e P sobre a altura de planta, diâmetro do caule, biomassa da parte aérea, biomassa de nas plantas de ingá

P (mg dm ⁻³)	As (mg dm ⁻³)							Equação de regressão	R ²
	Altura de planta (cm)								
	0	100	200	400	800	\bar{X}			
0	43,00	46,00	45,00	43,33	39,00	43,27 ^{**}	$\hat{y} = 43,131 + 0,448^{**} \sqrt{x} - 0,021^{**} x$	0,9851	
150	46,67	46,11	46,00	45,00	41,00	44,96 ^{**}	$\hat{y} = 47,033 - 0,007^{**} x$	0,9443	
450	47,33	46,12	43,00	39,67	39,66	43,16 ^{**}	$\hat{y} = 47,856 - 0,029^{**} x + 0,00002^{**} x^2$	0,9792	
Incremento de altura (cm)									
0	7,00	16,00	12,17	8,33	5,33	9,77 ^{**}	$\hat{y} = 7,917 + 0,0833^{**} \sqrt{x} - 0,034^{**} x$	0,7375	
150	12,50	9,77	9,07	7,80	6,97	9,22 ^{**}	$\hat{y} = 12,505 - 0,309^{**} \sqrt{x} + 0,004^{**} x$	0,9981	
450	16,83	16,33	12,65	9,00	6,50	12,26 ^{**}	$\hat{y} = 17,594 - 0,027^{**} x + 0,00002^{**} x$	0,9704	
Diâmetro (mm)									
0	8,85	9,05	9,16	8,97	8,35	8,88 ^{**}	$\hat{y} = 8,810 + 0,088^{**} \sqrt{x} - 0,0037^{**} x$	0,7626	
150	9,06	8,91	9,12	8,56	7,14	8,56 ^{**}	$\hat{y} = 9,040 + 0,0003^{ns} x - 0,000003^{**} x^2$	0,9177	
450	9,91	9,20	9,02	9,04	9,06	9,25 ^{ns}			
Incremento de diâmetro (cm)									
0	2,92	2,85	2,67	2,68	2,63	2,75 ^{ns}			
150	3,35	3,36	3,29	2,73	2,50	3,05 ^{**}	$\hat{y} = 3,408 - 0,0012^{**} x$	0,9011	
450	2,94	3,04	3,59	3,08	3,09	3,15 ^{ns}			
Matéria seca da parte aérea (g)									
0	18,67	16,33	15,33	14,33	14,32	15,80 ^{**}	$\hat{y} = 18,297 - 0,0167^{**} x + 0,00002^{**} x^2$	0,9612	
150	22,67	14,00	13,35	13,33	9,00	14,47 ^{**}	$\hat{y} = 22,145 - 0,789^{**} \sqrt{x} + 0,013^{**} x$	0,9275	
450	22,68	14,67	13,66	12,00	7,68	14,14 ^{**}	$\hat{y} = 22,322 - 0,737^{**} \sqrt{x} + 0,008^{**} x$	0,9768	
Matéria seca de raízes (g)									
0	11,64	8,23	8,06	7,92	6,74	8,52 ^{**}	$\hat{y} = 11,463 - 0,325^{**} \sqrt{x} + 0,0059^{**} x^2$	0,9429	
150	8,50	8,26	7,42	7,34	4,78	7,26 ^{**}	$\hat{y} = 8,599 - 0,0045^{**} x$	0,9472	
450	9,86	7,35	6,26	4,62	3,81	6,38	$\hat{y} = 9,530 - 0,019^{**} x + 0,00002^{**} x$	0,9831	