

Diferentes doses de calcário aumentam a absorção de nutrientes pelo pinhão-mansão

Different limestone rates increase the nutrient absorptions by the *Jatropha curcas*

Tatiane Ohland^I, Maria do Carmo Lana^{II}, Jucenei Fernando Frandoloso^{III}

Resumo

Este trabalho teve por objetivo avaliar se diferentes doses de calcário, aplicadas em subsuperfície, influenciam a absorção de nutrientes em plantas de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) em desenvolvimento inicial. O experimento foi realizado em vasos e sob condição de casa de vegetação, em que as plantas de pinhão-mansão foram cultivadas em vasos de PVC, divididos em camada superficial (0-20 cm) e camada subsuperficial (20-60 cm). A camada superficial recebeu solo corrigido (11,1 t ha⁻¹ de CaCO₃ e MgCO₃) e adubação com NPK. Na camada subsuperficial foi adicionado ao solo as doses de 0; 3,7; 5,6; 7,4; 11,1 e 14,9 t ha⁻¹ de CaCO₃ e MgCO₃ na relação molar 4:1. Após 120 dias da emergência das plantas, avaliaram-se os teores e conteúdos de Al, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Fe e Cu nas folhas, no caule e nas raízes. Em plantas de pinhão-mansão, os teores de Al são maiores nos tecidos radiculares, seguido das folhas e do caule. Os teores e os conteúdos de P, K, Ca, Mg, Zn e Mn no tecido vegetal são influenciados pelo aumento das doses de calcário no solo. Os teores de Fe e Cu nos tecidos vegetais de pinhão-mansão sofrem pouca influência das doses crescentes de calcário em subsuperfície.

Palavras-chave: Acidez do solo; Calagem; *Jatropha curcas*

Abstract

The aim of this work was to evaluate if different limestone rates, applied in subsurface, influence the nutrients absorption in *Jatropha curcas* L. plants in the initial development. The experiment was carried in pots and under greenhouse conditions, where the *J. curcas* plants were grown in PVC pots, divided into surface layer (0-20 cm) and subsurface layer (20-60 cm). The surface layer received corrected soil (11.1 t ha⁻¹ of CaCO₃ and MgCO₃) and fertilizers. In the subsurface layer, it was added the doses of 0, 3.7, 5.6, 7.4, 11.1 and 14.9 t ha⁻¹ MgCO₃ and CaCO₃ in molar ratio 4:1. After 120 days of plant emergence, the contents and the accumulations of Al, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Fe and Cu in leaves, stems and roots were evaluated. In *J. curcas* plants, the Al contents are higher in root tissues, followed by leaves and stem. The contents and the accumulations of P, K, Ca, Mg, Zn and Mn in the plant tissue are influenced by the increase of limestone rates in the soil. The contents of Fe and Cu in the plant tissue of *Jatropha curcas* were not influenced by the increasing of limestone rates in the subsurface.

Keywords: Soil acidity; Liming; *Jatropha curcas*

Introdução

O pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) pertencente à família das Euforbiáceas, a mesma família da mamona e seringueira, planta nativa das Américas e disseminada em regiões tropicais e subtropicais (DIVAKARA et al., 2010). É uma cultura rústica e perene, que se adaptada às mais diversas condições edafoclimáticas, indicada para solos de baixa fertilidade natural (SATO et al., 2009). Para Lima et al. (2012), o cultivo do pinhão-mansão é considerado promissor na região nordeste do Brasil, tendo em

^I Engenheira Agrônoma, Dr^a., Professora Adjunta do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon (PR), Brasil. tatiانهohland@hotmail.com (ORCID: 0000-0003-2938-4397)

^{II} Engenheira Agrônoma, Dr^a., Professora Associada do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon (PR), Brasil. mariaclana@hotmail.com (ORCID: 0000-0001-9858-2499)

^{III} Engenheiro Agrônomo, Dr., Técnico Laboratorista do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon (PR), Brasil. juceneiff@hotmail.com (ORCID: 0000-0002-4254-3527)



vista as condições edafoclimáticas exigidas para o pleno desenvolvimento da cultura. Além disso, a extração de óleo das sementes do pinhão-mansão aumentou a sua visibilidade comercial, demonstrando o seu potencial para a produção de biodiesel (LIMA et al., 2012; LAVIOLA et al., 2014). De acordo com Virgens et al. (2017), o teor de óleo das sementes dessa espécie varia entre 50 e 60 %.

Nos últimos anos, o consumo de biodiesel no Brasil aumentou a partir da obrigatoriedade da adição percentual crescente ao óleo diesel comercializado (BRASIL, 2016). A partir de março de 2018, passou a vigorar a mistura obrigatória de 10 % de biodiesel ao óleo diesel que é comercializado, aumentando o consumo de biodiesel no país. Em 2017 foram consumidos 4,29 bilhões de litros de biodiesel e, com a antecipação da mistura, a expectativa é que a demanda do biodiesel cresça em 1 bilhão de litros em 2018 (BRASIL, 2018). Essa remodelação no abastecimento energético brasileiro tem incorporado e revelado o interesse em algumas espécies agrícolas com potencial para produção de biodiesel, buscando diversificar a produção de matéria-prima.

Apesar do pinhão-mansão ser considerada uma planta rústica e de baixa exigência nutricional, para atingir altas produtividades de frutos e viabilidade econômica de produção, é necessária boa disponibilidade de água, solos férteis e com boas condições físicas. Um dos principais fatores restritivos para os cultivos agrícolas nos trópicos está relacionado à acidez dos solos (MACEDO et al., 2011). Em solos com pH menor que 5,0, a dissolução das formas sólidas de alumínio (Al) tende a aumentar, ocorrendo formas iônicas na solução do solo, tornando-se um fator limitante ao crescimento das plantas. O sintoma mais evidente do efeito nocivo dos níveis tóxicos de Al é a redução no desenvolvimento normal das raízes, inibindo o seu crescimento e bloqueando os mecanismos de aquisição e transporte de nutrientes (MIGUEL et al., 2010). Um fator importante a ser considerado sob condições de campo é a adubação e a correção quanto à acidez na camada superficial, enquanto que a subsuperficial permanece nas condições naturais do solo, apresentando muitas vezes, alta saturação por Al e baixa saturação por bases (ROSSATO et al., 2009), comprometendo o desenvolvimento das culturas.

A utilização do pinhão-mansão para a produção de biodiesel é viável, em função do alto teor de óleo presente nas sementes e o crescimento rápido (LIMA et al., 2012). Por outro lado, há alguns problemas que precisam ser contornados, como a seleção de métodos de extração adequados, seleção genética de cultivares e técnicas para produção de mudas em larga escala. Ressaltando que a busca constante pelos conhecimentos necessários ao cultivo dessa planta é sempre presente, principalmente no que diz respeito ao desenvolvimento inicial, a produção e a produtividade. Assim, tornam-se necessários estudos que visam avaliar o efeito do Al presente no solo sobre o desenvolvimento desta cultura. Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo avaliar se doses crescentes de calcário, aplicados em subsuperfície, influenciam na absorção de nutrientes em plantas de pinhão-mansão em desenvolvimento inicial.

Material e métodos

O presente experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no município de Marechal Cândido Rondon - PR. O cultivo de pinhão-mansão foi realizado em vasos constituídos de coluna de PVC (policloreto de vinil) com 15 cm de diâmetro e 60 cm de altura, subdivididos em camada superficial (0-20 cm) e camada subsuperficial (20-60 cm), ambas unidas por fita adesiva, fechada na base com tampa de PVC com quatro furos. Os vasos foram preenchidos com solo, coletado em 0-15 cm de profundidade, do tipo Latossolo Vermelho Distroférrico típico (SANTOS et al., 2018), com 474, 362 e 164 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, composto por cinco tratamentos e quatro repetições. As doses de carbonatos de cálcio e magnésio correspondem a 0; 3,7; 5,6; 7,4; 11,1 e 14,9 t ha⁻¹, ou seja, 0; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5 e 2,0 vezes a necessidade de calagem para elevar a saturação por bases a 60 %. As porções de solo receberam calagem diferencial, que constitui na mistura de carbonatos de cálcio e de magnésio p.a., na relação molar 4:1, resultando em diferentes saturações de Al. Após a calagem, o solo foi umedecido e incubado em sacos plásticos por 30 dias. Após este período, as amostras de solo foram analisadas quanto às características químicas (Tabela 1).

Tabela 1 – Características químicas das amostras de solo após a incubação com diferentes doses de calcário.

Table 1 – Chemical characteristics of soil samples after incubation with different limestone rates.

Doses	pH	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	P
t ha⁻¹	CaCl ₂	-----cmol dm ⁻³ -----						mg dm ⁻³
0,0	3,90	0,50	1,60	0,40	2,40	9,30	11,80	18,40
3,7	4,30	0,60	3,60	0,90	0,80	7,50	12,60	17,10
5,6	4,60	0,60	4,40	1,10	0,20	4,80	10,90	17,80
7,4	4,60	0,60	5,30	1,30	0,10	5,40	12,60	18,10
11,1	4,90	0,60	7,70	1,90	0,00	3,70	13,90	18,30
14,8	5,10	0,40	9,60	2,20	0,00	3,20	15,40	18,60
Doses de calcário	M.O.	V	m	Zn	Fe	Mn	Cu	
t ha⁻¹	g dm ⁻³	-----%----	-----mg dm ⁻³ -----					
0,0	39,60	21,19	48,98	3,10	38,00	64,00	5,50	
3,7	36,90	40,48	13,56	2,90	36,00	51,00	5,10	
5,6	41,00	55,96	3,17	2,90	32,00	59,00	5,20	
7,4	36,20	57,14	1,37	2,90	31,00	49,00	5,40	
11,1	37,60	73,38	0,00	2,70	32,00	62,00	4,80	
14,8	38,30	79,22	0,00	2,30	38,00	65,00	5,30	

Em que: CaCl₂ = cloreto de cálcio; CTC = capacidade de troca de cátions; M.O. = matéria orgânica do solo; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio.

Os vasos foram preparados da seguinte forma: na camada subsuperficial foi colocado 7,06 dm³ de solo correspondente às diferentes saturações por Al e camada superficial todos os vasos receberam 3,53 dm³ de solo corrigido com 1,5 vezes a necessidade de calagem, que correspondeu a 11,1 t ha⁻¹.

A semeadura do pinhão-mansão foi realizada com quatro sementes por vaso, após 10 dias da emergência foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso. A adubação do solo foi realizada na camada superficial, utilizando-se 170 mg dm⁻³ de N (ureia), 296 mg dm⁻³ de P (superfosfato simples) e 200 mg dm⁻³ de K (cloreto de potássio). Realizaram-se duas adubações nitrogenadas de cobertura, aos 45 e 90 dias após a emergência, utilizando-se em cada aplicação 100 mg dm⁻³ de N (ureia).

Após 120 dias da emergência, as plantas foram cortadas na altura do colo e a parte aérea separada em caule e folhas. Os vasos foram desmontados para a retirada do sistema radicular, mediante lavagem com água corrente e auxílio de peneira. As raízes foram separadas em raízes superficiais (0-20 cm de profundidade) e raízes subsuperficiais (20-60 cm de profundidade). As partes das plantas (folhas, caule e raízes) foram acondicionadas em sacos de papel, colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, para secagem até peso constante e posterior quantificação dos teores de nutrientes.

Foram determinados os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu) e alumínio (Al). Foram utilizadas amostras de 0,2 gramas de tecido vegetal (folhas+pecíolos, caule e raízes) secas e moídas, que foram mineralizadas por digestão nítrico-perclórica na proporção de 3:1. Nos extratos, o P foi determinado pelo método do ácido ascórbico; o K, por fotometria de emissão de chama; Ca, Mg, Zn, Mn, Fe, Cu por espectrofotometria de absorção atômica e Al pelo método espectrofotométrico com eriocromo cianina R (SILVA, 2009). A determinação

do conteúdo de nutrientes foi obtida multiplicando-se os teores dos nutrientes das diferentes partes da planta (folhas, caule e raízes) pelos respectivos valores de massa de matéria seca. Após, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão.

Resultados e discussão

A alta saturação por Al em subsuperfície (20-60 cm de profundidade) influenciou os teores de Al nas folhas e no caule (Tabela 2). O teor de Al nas folhas atingiu o ponto de mínimo com a dose de calcário de 8,34 t ha⁻¹. Entretanto, o teor de Al no caule aumentou conforme houve o aumento das doses de calcário. Foi observada maior concentração de Al nas raízes do que na parte aérea, em todas as doses de calcário utilizadas, sendo que o teor de Al das raízes subsuperficiais foi 2,4 vezes maior que o teor nas raízes superficiais (0-20 cm de profundidade) (Tabela 2). No entanto, o conteúdo de Al nas folhas apresentou ajuste quadrático, decrescendo até a dose de 8,25 t ha⁻¹ (Tabela 2) e nas raízes subsuperficiais o conteúdo de Al também apresentou resposta quadrática, porém, aumentando até a dose de 12,33 t ha⁻¹.

Tabela 2 – Teor e conteúdo de alumínio em folhas (Al-Folha), caule (Al-Caule), raízes superficiais (Al-Raiz₁) e raízes subsuperficiais (Al-Raiz₂) em função de doses de calcário em subsuperfície.

Table 2 – Aluminum content and accumulation in leaves (Al-Leaf), stem (Al-Stem), surface roots (Root₁) and subsurface roots (Root₂) in function of limestone rates in subsurface.

Partes da planta	Doses de calcário (t ha ⁻¹)						Equação
	0,0	3,7	5,6	7,1	11,1	14,8	
	Teor (mg kg ⁻¹)						
Al-Folha	481,89	387,66	292,65	326,63	387,13	366,43	y = 429,10-20,68x+1,24x ^{2*} R ² = 0,48
Al-Caule	115,37	104,62	122,53	120,14	182,24	186,62	y = 108,40+0,35x+0,38x ^{2*} R ² = 0,86
Al-Raiz ₁	948,57	1280,97	1310,43	949,76	1464,49	1049,68	y = 1167,32 ^{ns}
Al-Raiz ₂	2850,24	2605,41	2767,44	2838,69	2873,33	2837,90	y = 2795,50 ^{ns}
	Conteúdo (mg/planta)						
Al-Folha	6,51	5,50	3,56	3,81	4,16	5,23	y = 6,69-0,66x+0,04x ^{2**} R ² = 0,85
Al-Caule	4,79	4,12	3,88	4,00	5,28	5,73	y = 4,63 ^{ns}
Al-Raiz ₁	13,39	18,24	16,60	12,38	17,21	12,68	y = 15,08 ^{ns}
Al-Raiz ₂	5,41	6,67	8,81	10,08	8,07	9,26	y = 5,32+0,74x-0,03x ^{2*} R ² = 0,71

Em que: ^{ns} = não significativo; ^{**} = significativo a 1 % de probabilidade; ^{*} = significativo a 5 % de probabilidade pelo Teste F; Raiz₁ = raízes superficiais; Raiz₂ = raízes subsuperficiais

Estes resultados evidenciam que o pinhão-manso acumula Al, preferencialmente, no sistema radicular, sendo menor a quantidade transportada para a parte aérea. Fato também constatado por Steiner et al. (2012) em plantas de pinhão-manso, sob solução nutritiva contendo Al. Assim, para se adaptar às condições locais do solo com elevada acidez, diferentes espécies de plantas desenvolveram mecanismos de tolerância ao Al. Estes mecanismos de tolerância distinguem-se em duas classes principais: aqueles que atuam no sentido de impedir a entrada do Al pela raiz e aqueles que permitem a planta acumular o Al em locais específicos na planta (CONCEIÇÃO et al., 2008). No presente trabalho, não foram observados visualmente sintomas de toxidez de Al na parte aérea.

Não houve efeito das doses de calcário sobre os teores de P, K e Ca nas folhas, P, Ca e Mg nas raízes superficiais e para P e K nas raízes subsuperficiais (Tabela 3). Steiner et al. (2012) verificaram que a atividade do Al em solução nutritiva, não afeta o teor de P em raízes de pinhão-manso, porém, o aumento da atividade de Al reduz os teores de P nas folhas. A correção do solo na superfície manteve

os teores de Mg constantes nas raízes superficiais. De modo geral, a calagem proporciona aumento no teor de Mg no solo, resultando conseqüentemente em maior absorção deste nutriente, como observado no teor de Mg nas raízes subsuperficiais que aumenta até a dose de 13,50 t ha⁻¹.

Tabela 3 – Teor e conteúdo de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em folhas, caule, raízes superficiais (Raiz₁) e raízes subsuperficiais (Raiz₂) em função de doses de calcário em subsuperfície.

Table 3 – Content and accumulation of phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) in leaves, stem, surface roots (Raiz₁) and subsurface roots (Raiz₂) in function of limestone rates in subsurface.

Partes da planta	Doses de calcário (t ha ⁻¹)						Equação
	0,0	3,7	5,6	7,1	11,1	14,8	
	Teor (g kg ⁻¹)						
P-Folha	1,87	1,83	2,01	1,98	2,04	2,12	y = 1,97 ^{ns}
P-Caule	1,08	1,03	1,25	1,18	2,04	2,26	y = 0,82+0,09x ^{**} R ² = 0,84
P-Raiz ₁	1,22	1,01	1,03	0,98	1,08	1,21	y = 1,09 ^{ns}
P-Raiz ₂	1,32	1,30	1,28	1,42	1,37	1,38	y = 1,30 ^{ns}
K-Folha	18,69	17,06	18,50	19,31	17,38	19,25	y = 18,36 ^{ns}
K-Caule	20,69	17,06	18,00	18,19	28,19	31,00	y = 19,71-0,85x+0,17x ^{2**} R ² = 0,89
K-Raiz ₁	23,69	17,81	18,19	18,00	17,88	20,56	y = 23,26-1,44x+0,09x ^{2*} R ² = 0,91
K-Raiz ₂	36,13	34,50	38,75	36,88	31,06	34,38	y = 35,23 ^{ns}
Ca-Folha	12,59	17,38	17,97	22,92	18,14	14,73	y = 17,28 ^{ns}
Ca-Caule	1,75	7,76	7,33	8,85	11,96	12,54	y = 3,46+0,70x ^{**} R ² = 0,89
Ca-Raiz ₁	2,78	2,81	3,33	3,51	3,15	3,91	y = 3,25 ^{ns}
Ca-Raiz ₂	3,74	7,40	14,08	11,72	9,93	9,85	y = 3,77+1,85x-0,10x ^{2**} R ² = 0,72
Mg-Folha	4,72	5,03	5,13	6,27	6,02	7,20	y = 4,57+0,16x ^{**} R ² = 0,86
Mg-Caule	2,66	2,17	2,06	2,22	3,45	3,91	y = 2,55-0,15x+0,02x ^{2**} R ² = 0,90
Mg-Raiz ₁	3,88	3,03	3,51	2,77	3,46	3,91	y = 3,43 ^{ns}
Mg-Raiz ₂	4,93	5,72	8,54	8,00	7,00	8,38	y = 4,93+0,54x-0,02x ^{2*} R ² = 0,63
	Conteúdo (mg/planta)						
P-Folha	28,82	25,71	23,95	22,76	21,49	30,18	y = 29,75-1,89x+0,12x ^{2**} R ² = 0,81
P-Caule	44,54	40,60	39,95	39,28	58,65	68,06	y = 43,83-1,93x+0,25x ^{2**} R ² = 0,93
P-Raiz ₁	15,16	14,51	12,94	14,10	12,88	14,43	y = 14,00 ^{ns}
P-Raiz ₂	2,51	3,31	4,06	4,66	4,03	4,47	y = 2,49+0,35x-0,02x ^{2**} R ² = 0,84
K-Folha	287,53	240,21	219,68	222,02	218,75	272,92	y = 289,59-18,58x+1,16x ^{2**} R ² = 0,97
K-Caule	847,44	666,51	572,45	605,73	814,85	940,36	y = 831,34-65,16x+5,06x ^{2**} R ² = 0,89
K-Raiz ₁	334,76	255,46	229,47	238,35	215,19	245,52	y = 332,10-23,67x+1,21x ^{2*} R ² = 0,97
K-Raiz ₂	77,33	88,67	111,60	118,53	96,84	108,86	y = 77,08+6,75x-0,33x ^{2*} R ² = 0,62
Ca-Folha	193,61	246,84	213,01	262,03	191,94	206,11	y = 218,92 ^{ns}
Ca-Caule	76,63	322,08	244,35	261,37	371,50	424,61	y = 140,15+29,32x ^{**} R ² = 0,78
Ca-Raiz ₁	39,75	40,28	41,99	46,23	37,57	46,62	y = 42,07 ^{ns}
Ca-Raiz ₂	7,25	18,86	39,78	34,07	28,76	29,31	y = 7,14+5,94x-0,31x ^{2**} R ² = 0,76
Mg-Folha	72,59	71,83	60,62	60,28	64,21	101,37	y = 77,08-5,61x+0,47x ^{2*} R ² = 0,84
Mg-Caule	100,21	76,06	65,53	74,22	109,22	129,13	y = 96,94-8,13x+0,72x ^{2**} R ² = 0,90
Mg-Raiz ₁	46,79	43,19	48,65	36,63	41,21	46,53	y = 43,83 ^{ns}
Mg-Raiz ₂	7,99	13,09	24,07	24,80	20,36	27,29	y = 7,94+2,75x-0,11x ^{2**} R ² = 0,77

Em que: ^{ns} = não significativo; ^{**} = significativo a 1 % de probabilidade; ^{*} = significativo a 5 % de probabilidade pelo Teste F; Raiz₁ = raízes superficiais; Raiz₂ = raízes subsuperficiais

Observou-se resposta quadrática negativa para o teor de K no caule e nas raízes

superficiais e para o teor de Mg no caule, com redução dos teores até as doses de 2,5; 8,0 e 3,75 t ha⁻¹, respectivamente. Para o teor de Ca, em subsuperfície, verificou-se ajuste quadrático, com aumento do teor deste elemento até a dose de 9,25 t ha⁻¹. Houve resposta linear crescente em relação às doses de calcário para os teores de P e Ca no caule e Mg nas folhas (Tabela 3). A redução na concentração de P no caule na ausência da calagem pode estar associado ao seu acúmulo nas raízes, evidenciando a ocorrência de precipitação de fosfato de Al nos tecidos radiculares e a interferência na translocação deste elemento (MIGUEL et al., 2010).

Outro fator que influenciou no menor teor P no caule está relacionado ao maior desenvolvimento das plantas nas menores doses de calcário, promovendo um efeito de diluição do P no tecido, uma vez que o conteúdo de P no caule diminuiu com a calagem até a dose de 3,86 t ha⁻¹. Por outro lado, o teor de P do solo (SOUZA JÚNIOR et al., 2012) e a matéria orgânica (SPERA et al., 2014) contribuem para reduzir a atividade do Al na solução do solo. De acordo com Souza Júnior et al. (2012), o P reage as formas iônicas de Al e de Fe em solos ácidos, formando compostos de composição definida e pouco solúveis.

Não houve efeito das doses de calcário para os conteúdos de Ca nas folhas e para P, Ca e Mg nas raízes superficiais. Observou-se ajuste quadrático negativo para os conteúdos de P, K e Mg nas folhas e caule e também para K nas raízes superficiais. A calagem aumentou os conteúdos de P, K, Ca e Mg nas raízes subsuperficiais até as doses de 8,75; 10,22; 9,58 e 12,50 t ha⁻¹, respectivamente (Tabela 3).

O conteúdo do nutriente nas raízes está relacionado com a produção de matéria seca. Assim, o aumento das doses de calcário em subsuperfície propiciou o desenvolvimento das raízes em profundidade e melhorou sua distribuição nas camadas avaliadas. Diante do exposto, pode-se considerar que as menores doses de calcário, promoveram o maior desenvolvimento radicular superficial, estando relacionado às condições químicas do solo, neste caso, a presença de Al em subsuperfície.

O aumento da concentração de Al afeta negativamente o crescimento das raízes de pinhão-mansão (LANA et al., 2009; MACEDO et al., 2011). Lana et al. (2009) observaram que plantas de pinhão-mansão cultivadas em solução nutritiva contendo 25 mg L⁻¹ de Al, apresentaram redução de 23,9; 23,8; 16,0 e 11,2 % para produção de matéria seca da parte aérea, número de folhas, área foliar e altura, respectivamente, quando comparado à testemunha (0 mg L⁻¹) e redução de 0,28 cm no comprimento da raiz primária para cada mg L⁻¹ de Al adicionado em solução. O aumento da atividade do Al, em solução nutritiva, reduz os teores Ca e Mg nas folhas e raízes de pinhão-mansão, reportando o efeito do Al na absorção, transporte e utilização destes nutrientes pelas plantas, assim, sob condições de solos ácidos, o Ca cede lugar para o Al no complexo de troca, limitando a absorção de Ca (STEINER et al., 2012).

No presente trabalho, os teores dos nutrientes na planta em solo corrigido, de modo geral, apresentaram seguinte ordem: K>Ca>Mg>P>Al>Fe>Mn>Zn>Cu. No entanto, em plantas de pinhão-mansão mais desenvolvidas, do primeiro ao quarto cultivo, apresentam a seguinte ordem de acúmulo foliares de nutrientes: Ca>K>Mg>P>Mn>Fe>Zn>Cu (LAVIOLA; DIAS, 2008), em que Ca é o nutriente mais exigido para a formação das folhas. Estes autores encontraram teores foliares de 2,8; 13,7; 19,0 e 4,8 g kg⁻¹ para P, K Ca e Mg, respectivamente. No entanto, para o presente trabalho foram verificados os teores foliares médios de 1,97; 18,36; 17,28 g kg⁻¹ para P, K Ca, respectivamente, e o teor de Mg variou de 4,57 a 6,94 g kg⁻¹ em função das doses crescentes de calcário. Assim, composição química e o acúmulo de nutrientes são informações imprescindíveis para se conhecer as exigências nutricionais de uma planta, bem como auxiliar na recomendação de adubação da cultura, que depende das demandas nutricionais das plantas para o desenvolvimento vegetativo e posteriormente reprodutivo.

De modo geral, verifica-se que a camada superficial proporcionou condições para o desenvolvimento da cultura, ressalta-se neste caso que nas condições ambientais experimentais não houve limitação na disponibilidade de água. Por outro lado, o menor desenvolvimento radicular em subsuperfície, sob condições de campo, pode limitar o desenvolvimento da cultura

em situações de *deficit* hídrico, principalmente em doses de calcário inferiores a 3,7 t ha⁻¹, em que foram observados os menores conteúdos de P, K, Ca e Mg, indicando assim menor produção de matéria seca de raízes em subsuperfície e conseqüentemente, menor desenvolvimento das raízes em solo com maior saturação por Al. Em Latossolo Vermelho Distrófico, plantas jovens de pinhão-mansinho apresentam sinais de estresse hídrico, em teores de água disponível abaixo de 60 % da capacidade de retenção de água no solo (PADILHA et al., 2016). Entretanto, o pinhão-mansinho consegue manter suas atividades fisiológicas normalizadas quando submetidas ao estresse hídrico, sugerindo assim, sua potencialidade para regiões semiáridas (MOURA et al., 2016).

Não houve efeito das doses de calcário para o teor de Fe nas folhas, Fe e Cu no caule, Zn, Fe e Cu nas raízes superficiais e para o teor de Fe e Cu nas raízes subsuperficiais. Houve resposta linear decrescente para o teor de Zn e de Mn nas folhas e para o teor Mn no caule e nas raízes superficiais e subsuperficiais conforme o aumento das doses de calcário aplicadas. Os teores de Mn no tecido vegetal reduziram severamente a partir da dose de 3,7 t ha⁻¹ de calcário (Tabela 4). Foram observados os teores de 28,6; 8,9 e 40,8 mg kg⁻¹ para o teor de Mn no caule, raízes superficiais e subsuperficiais, respectivamente, para a dose de 14,8 t ha⁻¹ de calcário.

Tabela 4 – Teor e conteúdo de zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe) e cobre (Cu) em folhas, caule, raízes superficiais (Raiz₁) e raízes subsuperficiais (Raiz₂) em função de doses de calcário em subsuperfície.

Table 4 – Content and accumulation of zinc (Zn), manganese (Mn), iron (Fe) and copper (Cu) in leaves, stem, surface roots (Root₁) and subsurface roots (Root₂) in function of limestone rates in subsurface.

Partes da planta	Doses de calcário (t ha ⁻¹)						Equação
	0,0	3,7	5,6	7,1	11,1	14,8	
	Teor (mg kg ⁻¹)						
Zn-Folha	21,10	17,58	16,09	13,19	13,14	11,26	y = 19,33-0,64x [*] R ² = 0,89
Zn-Caule	12,25	6,76	4,21	5,40	7,72	10,87	y = 11,90-1,83x+0,12x ^{2*} R ² = 0,93
Zn-Raiz ₁	8,97	6,73	3,80	6,03	4,11	3,00	y = 5,44 ^{ns}
Zn-Raiz ₂	17,68	9,36	11,71	11,59	10,35	11,78	y = 16,67-1,46x+0,08x ^{2*} R ² = 0,70
Mn-Folha	354,99	291,31	159,45	143,77	137,72	80,66	y = 321,90-18,06x ^{**} R ² = 0,82
Mn-Caule	329,79	167,07	48,19	30,43	61,45	28,56	y = 236,40-17,79x ^{**} R ² = 0,63
Mn-Raiz ₁	167,51	114,46	29,37	21,87	12,04	8,85	y = 134,20-10,67x ^{**} R ² = 0,73
Mn-Raiz ₂	468,67	442,43	210,45	173,32	59,17	40,77	y = 461,20-32,45x ^{**} R ² = 0,86
Fe-Folha	114,40	113,37	96,61	88,65	103,34	108,66	y = 104,17 ^{ns}
Fe-Caule	28,99	26,12	21,03	19,71	31,71	38,55	y = 27,68 ^{ns}
Fe-Raiz ₁	133,17	167,01	186,86	125,47	198,71	148,48	y = 159,95 ^{ns}
Fe-Raiz ₂	424,62	354,65	404,46	403,91	454,58	415,07	y = 409,55 ^{ns}
Cu-Folha	15,57	12,85	6,57	6,43	10,43	11,54	y = 15,92-1,94x+0,11x ^{2**} R ² = 0,73
Cu-Caule	7,62	6,93	4,14	4,50	5,26	6,02	y = 5,74 ^{ns}
Cu-Raiz ₁	8,48	5,22	6,17	3,62	5,77	3,11	y = 5,40 ^{ns}
Cu-Raiz ₂	22,10	12,53	15,54	20,08	17,42	16,25	y = 17,32 ^{ns}

Continua....

Tabela 4 – Conclusão...

Table 4 – Conclusion...

Partes da planta	Doses de calcário (t ha ⁻¹)						Equação
	0,0	3,7	5,6	7,1	11,1	14,8	
	Teor (mg kg ⁻¹)						
Conteúdo (mg/planta)							
Zn-Folha	0,25	0,21	0,19	0,15	0,16	0,16	y = 0,23-0,006x ** R ² = 0,70
Zn-Caule	0,50	0,27	0,13	0,18	0,21	0,34	y = 0,49-0,08x+0,48x ² ** R ² = 0,94
Zn-Raiz ₁	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,03	y = 0,12-0,006x ** R ² = 0,96
Zn-Raiz ₂	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	y = 0,03 ^{ns}
Mn-Folha	5,45	4,09	1,89	1,66	1,40	1,14	y = 4,64-0,29x ** R ² = 0,76
Mn-Caule	11,96	6,02	1,95	1,11	1,45	0,74	y = 8,71-0,69x ** R ² = 0,68
Mn-Raiz ₁	2,37	1,64	0,45	0,29	0,14	0,11	y = 1,92-0,15x ** R ² = 0,74
Mn-Raiz ₂	0,89	1,01	0,80	0,70	0,12	0,10	y = 1,08-0,07x ** R ² = 0,83
Fe-Folha	1,77	1,45	1,15	1,02	1,20	1,54	y = 1,81-0,17+0,01x ² ** R ² = 0,93
Fe-Caule	1,01	0,80	0,66	0,66	1,02	1,39	y = 1,01-0,11x+0,01x ² ** R ² = 0,96
Fe-Raiz ₁	1,89	2,39	2,05	1,78	2,01	1,97	y = 2,01 ^{ns}
Fe-Raiz ₂	0,79	0,91	1,18	1,44	1,28	1,35	y = 0,75+0,10-0,004x ² ** R ² = 0,80
Cu-Folha	0,24	0,18	0,09	0,08	0,11	0,16	y = 0,25-0,04x+0,002x ² * R ² = 0,88
Cu-Caule	0,36	0,27	0,19	0,12	0,16	0,20	y = 0,37-0,05x+0,002x ² ** R ² = 0,91
Cu-Raiz ₁	0,09	0,09	0,07	0,06	0,08	0,06	y = 0,09-0,001x ** R ² = 0,41
Cu-Raiz ₂	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06	y = 0,04+0,001x ** R ² = 0,67

Em que: ^{ns} = não significativo; ** = significativo a 1 % de probabilidade; * = significativo a 5 % de probabilidade pelo Teste F; Raiz₁ = raízes superficiais; Raiz₂ = raízes subsuperficiais

A calagem elevou do pH do solo, o que diminuiu a concentração de Mn disponível no solo e a absorção deste nutriente. Desta forma, a redução das doses de calcário proporcionou aumento no teor de Mn nas raízes subsuperficiais, seguido das folhas e do caule (Tabela 4). Este incremento no teor de Mn em partes da planta está relacionado aos mecanismos de tolerância ao excesso de Mn. Estes mecanismos têm sido associados à oxidação deste nutriente nas raízes, à restrição na taxa de absorção pelas raízes e ao transporte do excesso de Mn para as folhas, bem como à distribuição uniforme do Mn nos tecidos vegetais, à maior tolerância interna e à interação com outros nutrientes (LAVRES JUNIOR et al., 2008).

Houve resposta quadrática negativa para o teor de Zn no caule e nas raízes subsuperficiais e para Cu nas folhas. O menor teor de Zn ocorre na dose de 7,5 t ha⁻¹ para o caule e 9,4 t ha⁻¹ de calcário nas raízes subsuperficiais. Para o teor de Cu presente nas folhas, o menor teor é observado na dose de 8,5 t ha⁻¹ de calcário (Tabela 4).

Não houve efeito das doses de calcário para o conteúdo de Zn nas raízes subsuperficiais e de Fe nas raízes superficiais. Observou-se ajuste linear decrescente para os conteúdos de Mn em todas as partes da planta, Zn nas folhas e nas raízes superficiais e para conteúdo de Cu nas raízes superficiais e subsuperficiais. Para os conteúdos de Fe e Cu nas folhas e no caule, verificou-se ajuste quadrático negativo e ajuste quadrático positivo para o teor de Fe nas raízes subsuperficiais (Tabela 4).

O pH do solo, na maioria das vezes, é o principal fator de controle de disponibilidade de micronutrientes para plantas, pois a diminuição do pH aumenta do teor de micronutrientes no solo (NACHTIGALL; NOGUEIROL; ALLEONI, 2009). Desta forma, a condição de acidez do solo para as menores doses de calcário em subsuperfície (Tabela 1), contribuiu para a maior

disponibilidade de micronutrientes no solo, principalmente Zn, influenciando na produção de matéria seca. De modo geral, os teores e conteúdos de nutrientes nas folhas e no caule apresentaram comportamento com ajuste quadrático, indicando maior produção de matéria seca de parte aérea em doses de calcário abaixo de 3,7 t ha⁻¹.

Visualmente, a altura de plantas foi maior na ausência de calagem, influenciada possivelmente pelo maior teor de Zn, tanto nas folhas como no caule. De acordo com Maia et al. (2014), a omissão de Zn em plantas de pinhão-mansinho afeta o comprimento e matéria seca de caules, número de folhas e a produção de massa de matéria seca de raízes.

Os conteúdos de Zn e Cu não apresentaram diferenciação na translocação e seguem a ordem de acúmulo de caule>folha>raiz (Tabela 4). Para Chaves et al. (2010), os conteúdos de Zn e Cu em plantas de pinhão-mansinho apresentaram a seguinte ordem: caule>folha>raiz e folha>raiz>caule, respectivamente. Este acúmulo preferencial no caule contribui para a imobilização de Zn (CHAVES et al., 2010) e Cu na vegetação, o que torna o pinhão-mansinho uma alternativa em programas de fitorremediação, desde que tolere as condições de altas dosagens destes elementos no solo.

Os nutrientes que menos se acumularam em plantas de pinhão-mansinho foram o Zn e o Cu, fato também constatado por Laviola e Dias (2008), em diagnose foliar. Entretanto, estes elementos não deixam de ser essenciais para desenvolvimento da cultura, sendo necessário manter à disposição, pelo menos o teor mínimo necessário para tal. Por outro lado, o desenvolvimento das plantas de pinhão-mansinho é mais comprometido pela deficiência dos macronutrientes, justificado pelas reduções da matéria seca de raiz, caule e folhas e a restrição do crescimento provocada pela omissão de nutrientes apresenta a seguinte ordem: N > Mg > S > K > Ca = P > Zn > B = Fe (MAIA et al., 2014).

Conclusão

Em plantas de pinhão-mansinho, os teores de Al são maiores nos tecidos radiculares, seguido das folhas e em menor quantidade no caule.

Os teores de P e K no caule e o teor de K nas raízes em até 20 cm de profundidade do solo são influenciados pelas doses crescentes de calcário em subsuperfície, bem como o conteúdo destes nutrientes nas diferentes partes da planta.

Nas raízes de 20-60 cm de profundidade do solo, os teores de Ca e Mg aumentam com a utilização de doses de calcário em subsuperfície.

Doses crescentes de calcário de 0 a 14,8 t ha⁻¹ reduzem os teores de Zn e Mn na parte aérea e raízes. Os teores de Fe e Cu nos tecidos vegetais de pinhão-mansinho sofrem pouca influência das doses crescentes de calcário em subsuperfície.

Referências

BRASIL. **Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016.** Percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. Brasília: Presidência da República, 2016. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13263.htm#art1. Acesso em: 25 maio 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Produção de biodiesel atinge 452 milhões de litros, maior volume nos últimos dez anos.** Brasília: MME, 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 25 maio 2018.

CHAVES, L. H. G. *et al.* Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-mansinho. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 167-176, 2010.

CONCEIÇÃO, L. D. C. S. *et al.* Tolerância ao alumínio em plantas: toxicidade, mecanismos e genes em espécies cultivadas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 14, n. 3/4, p. 01-10, 2008.

- DIVAKARA, B. N. *et al.* Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: a review. **Applied Energy**, Amsterdam, v. 87, p. 732-742, 2010.
- LANA, M. do C. *et al.* Tolerância de plântulas de pinhão-mansão a toxicidade de alumínio em solução nutritiva. I: desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. **Synergismus scyentifica UTFP**, Pato Branco, v. 4, n. 1, 2009.
- LAVIOLA, B. G. *et al.* Desempenho agrônômico e ganho genético pela seleção de pinhão-mansão em três regiões do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, p. 356-363, 2014.
- LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1969-1975, 2008.
- LAVRES JUNIOR, J. *et al.* Influência genotípica na absorção e na toxidez de manganês em soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 173-181, 2008.
- LIMA, M. L. B. *et al.* Pinhão manso como alternativa para produção de biodiesel. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Patos, v. 8, n. 4, p. 01-07, 2012.
- MACEDO, F. L. *et al.* Efeito do alumínio em plantas de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.), cultivadas em solução nutritiva. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, p. 157-164, 2011.
- MAIA, J. T. L. S. *et al.* Omissão de nutrientes em plantas de pinhão-mansão cultivadas em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 61, n. 5, p. 723-731, 2014.
- MIGUEL, P. S. B. *et al.* Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, Juiz de Fora, v. 24, p. 13-29, 2010. Disponível em: https://www.cesjf.br/revistas/cesrevista/edicoes/2010/01_BIOLOGIA_efeitodoaluminio.pdf. Acesso em: 20 out. 2018.
- MOURA, A. R. *et al.* Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 345-354, 2016.
- NACHTIGALL, G. R.; NOGUEIROL, R. C.; ALLEONI, L. R. F. Extração sequencial de Mn e Zn em solos em função do pH e adição de cama-de-frango. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 240-249, 2009.
- PADILHA, N. S. *et al.* Crescimento inicial do pinhão-mansão submetido a diferentes regimes hídrico em Latossolo Vermelho distrófico. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 513-521, 2016.
- ROSSATO, O. B. *et al.* Correction of soil acidity in the subsurface of na oxisol with Sandy loam texture under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 659-667, 2009.
- SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solo**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 590 p.
- SATO, M. *et al.* Cultura de Pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L): uso para fins combustíveis e descrição agrônômica. **Revista Varia Scientia**, Cascavel, v. 7, n. 13, p. 47-62, 2009.
- SILVA, F. C. (ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. 627 p.
- SOUZA JÚNIOR, R. F. *et al.* Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, p. 159-169, 2012.
- SPERA, S. T. *et al.* Atividade do alumínio na solução do solo de um Latossolo Vermelho distrófico submetido ao manejo do solo e de culturas. **Nativa**, Sinop, v. 2, n. 3, p. 131-137, 2014.
- STEINER, F. *et al.* Effects of aluminum on plant growth and nutrient uptake in young physic nut plants. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1779-1788, 2012.
- VIRGENS, I. O. *et al.* Revisão: *Jatropha curcas* L.: aspectos morfofisiológicos e químicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 20, p. 01-11, 2017.