

Acúmulo de nutrientes e produtividade de crambe em função da fertilização com torta de mamona e serpentinito

Nutrient accumulation and productivity of crambe according to fertilization castor bean and serpentinite

Fabiano Barbosa de Souza Prates^{I*} Glaucio da Cruz Genuncio^I Anderson Claiton Ferrari^I
Elisamara Caldeira do Nascimento^I Guilherme Zolli Alvez^{III} Danielle Perez Palermo^{II}
Everaldo Zonta^{IV}

RESUMO

O uso de fontes alternativas para a fertilização na agricultura vem sendo cada vez mais explorada pelo homem, devido à escassez das fontes finitas dos minerais utilizados atualmente. Produtos como a torta de mamona e silicatos de serpentinito podem ser fontes viáveis para o uso na agricultura. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar os teores e conteúdos de N, P, K, Ca e Mg na cultura do crambe, assim como a sua produção em função da adubação com torta de mamona PDS e silicato de serpentinito. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em um delineamento inteiramente casualizado, com sete doses de torta de mamona PDS e duas doses de silicato de serpentinito (com e sem enxofre elementar), totalizando 21 tratamentos. Utilizaram-se as doses de 0,0; 0,5; 1; 2; 4; 6 e 8t ha⁻¹ de torta de mamona PDS (equivalente à aplicação de 0, 15, 30, 60, 120 e 240kg ha⁻¹ de N) e as doses de silicato de serpentinito em 0 e 1t ha⁻¹, com e sem enxofre. A aplicação de silicato de serpentinito sem enxofre aumentou os teores e conteúdos de nutrientes de N, P, K, Ca e Mg do crambe e a produção de sementes. O uso de torta de mamona PDS como fertilizante orgânico favoreceu o crescimento e desenvolvimento do crambe. A dose de 8t ha⁻¹ de torta de mamona PDS foi a mais indicada para a fertilização da cultura do crambe.

Palavras-chave: resíduos na agricultura, biodiesel, oleaginosas, *Crambe abyssinica*.

ABSTRACT

The use of alternative sources for fertilization in agriculture is being increasingly exploited by man because of the shortage of the finite sources of minerals used today. Products such as cake castor bean and serpentinite silicate, may be viable sources for use in agriculture. Thus, the aim of this study was to evaluate the contents and accumulation of N, P, K, Ca and Mg in the culture of crambe, as well as their production in line with fertilization cake

castor bean PDS and silicate serpentinite. The experiment was conducted in a greenhouse in a completely randomized design with seven doses of cake castor bean PDS and two doses of serpentinite silicate (with and without elemental sulfur), totaling 21 treatments. We used doses of 0.0, 0.5, 1, 2, 4, 6 and 8t ha⁻¹ of cake castor bean PDS (equivalent to the application of 0, 15, 30, 60, 120 and 240kg ha⁻¹ of N) and the doses of serpentinite silicate 0 and 1t ha⁻¹ for with and without sulfur. The application of serpentinite silicate without sulfur increased the content and nutrient content of N, P, K, Ca and Mg and crambe seed production. The use of cake castor bean PDS as organic fertilizer increased the growth and development of crambe. A dose of 8t ha⁻¹ of castor bean PDS was the most suitable for the fertilization of the crop crambe.

Key words: waste in agriculture, biofuel, oilseeds, *Crambe abyssinica*.

INTRODUÇÃO

O crambe (*Crambe abyssinica*) destaca-se como uma potencial fonte de matéria prima a ser utilizada na produção do biodiesel. Segundo PITOL et al. (2010), essa oleaginosa é promissora na produção de biodiesel devido ao ciclo curto de produção (em torno de 90 dias), a sua adaptabilidade de cultivo em clima tropical e subtropical e ao seu alto teor de óleo (entre 30 e 45%). As áreas cultivadas de Crambe no Brasil são setorizadas principalmente na região Centro Oeste, em sistemas de plantio direto, como safrinha (HEINZ et al., 2011).

^IPrograma de Pós-graduação em Agronomia Ciência do Solo, Instituto de Agronomia (IA), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil. E-mail: fbprates@gmail.com *Autor para correspondência.

^{II}Curso de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil.

^{III}Ciências Agrícolas, UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil.

^{IV}Departamento de Solos, IA, UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil.

No processamento de oleaginosas visando à obtenção de biocombustíveis, coprodutos são gerados, como as tortas e a glicerina (ABDALLA et al., 2008); particularmente, as tortas se destacam por possuírem alto potencial de uso como fertilizantes. Em especial, a torta de mamona (*Ricinus communis*) é um coproduto de maior uso como fertilizante por ser rico em N, P e K, por atuar na melhoria das características químicas e físicas do solo e por promover um aumento da aeração, da capacidade de retenção de água e de elevação do pH do solo, além de se destacar em termos de oferta no mercado, devido a sua cadeia bem estabelecida e a sua demanda comercial quanto ao uso do óleo gerado (SEVERINO et al., 2006; EMBRAPA, 2007;).

Outra fonte alternativa para a fertilização das plantas é o silicato de serpentinito, um material oriundo da rocha de serpentinito, que, diferente dos demais silicatos, é uma fonte rica em magnésio, apresentando teores de até 42% de MgO, podendo contribuir no balanceamento da relação Ca/Mg do solo (SOUZA et al., 2007; FRIEDMAN, 2013). Deve-se considerar ainda a presença significativa do silício, em torno de 44% de SiO₂, entre outros minerais, favorecendo, portanto, a reposição desse mineral no solo, que por sua vez favorece o desenvolvimento de microrganismos que podem produzir ácidos húmicos, o que vem a contribuir para uma disponibilidade dos nutrientes de forma mais equilibrada. Esse efeito, no conjunto solo-planta, propicia a economia de fungicidas e inseticidas, além de favorecer o desenvolvimento das plantas e melhoria na qualidade dos frutos (KORNDÖRFER et al., 2002).

Por ser um material de origem natural, ou seja, não ser proveniente de processo industrial como rejeito, não contém teores significativos de elementos prejudiciais à planta ou mananciais. A rocha serpentinito é formada por vários minerais, dentre eles a antigorita e lizardita (FRIEDMAN, 2013). A ação dos silicatos se dá de forma semelhante aos carbonatos no solo, a partir de um aumento de pH, da precipitação de Al e Mn tóxicos e do aumento nos teores de Ca e Mg e de Si no solo (EPSTEIN, 1999; KORNDÖRFER et al., 2002).

Além de apresentar-se como corretivo, a absorção e o metabolismo do silício nas plantas têm sido relacionado à resistência ao ataque de pragas, devido a sua polimerização celular e formação de barreiras mecânicas celulares e, conseqüente, aumento da resistência celular através da garantia da integridade e estabilidade das membranas (LIMA FILHO, 2009). É importante destacar a interação dos fertilizantes silicatados com a adubação NPK,

por reduzirem a lixiviação de K⁺, assim como de outros nutrientes móveis no solo (LIMA-FILHO et al., 1999), além de adsorverem o fósforo solúvel (P). Assim, reduzem a fixação desse nutriente sem a redução da disponibilidade de P às plantas, devido à manutenção das formas trocáveis na superfície dos silicatos (MATICHENKOV & CALVERT, 2002).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar os teores e conteúdos de macronutrientes do Crambe, assim como a sua produtividade, em função da utilização de torta de mamona produzida direto da semente (PDS) e silicato de serpentinito.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na área experimental do Instituto de Agronomia da UFRRJ. O solo utilizado foi retirado nos primeiros 20 centímetros do horizonte A de um Planossolo Háplico, cujas características químicas e físicas obtidas foram, segundo EMBRAPA (1997), em cmol_c dm⁻³: K=0,01; Ca=1,0; Mg=0,1; Al=0,04; H+Al=1,0; CTC=2,12 e, P=10, em mg dm⁻³; saturação por bases = 53%; carbono orgânico = 9,4g kg⁻¹; e pH em água = 5,6. As características físicas obtidas foram de 900, 40 e 60 (g kg⁻¹) de areia, silte e argila, respectivamente. Foram semeadas dez sementes por vaso em 11/02/2011. As sementes de crambe foram obtidas na Fundação MS. As plantas foram desbastadas em 18/02/2011, deixando-se quatro plantas por vaso.

A torta de mamona PDS foi obtida na unidade experimental de produção de biodiesel da Petrobras, localizada na cidade de Guamaré-RN. A caracterização da torta de mamona foi realizada pela digestão sulfúrica proposta por TEDESCO et al. (1995), a qual apresentou os seguintes teores, em g kg⁻¹: 30 de N; 4,85 de P; 1,1 de K; 1,9 de Mg e 30 de Ca.

O silicato de serpentinito com e sem enxofre foi adquirido junto à empresa Pedras Congonhas Ltda. A composição química dos silicatos, foi de: 0,14% de CaO, 30,68% de MgO e 44,35% de SiO₂ para o silicato sem enxofre e 0,95% de CaO, 30,17% de MgO e 41,62% de SiO₂ e 4% de S-SO₄ para o silicato com enxofre.

As parcelas foram dispostas em delineamento inteiramente casualizado, com sete doses de torta de mamona PDS e duas doses de silicato de serpentinito com e sem enxofre elementar, totalizando 21 tratamentos, sendo as doses de torta de mamona PDS distribuídas em 0,0; 0,5; 1; 2; 4; 6 e 8t ha⁻¹ (respectivo à aplicação de 0, 15, 30, 60, 120 e

240kg ha⁻¹ de N) e as doses de silicato de serpentinito em 0 e 1t ha⁻¹, para com e sem enxofre, sendo essa quantidade necessária para fornecer Si disponível para a cultura a ser implantada (PRATES, 2009). Cada parcela foi composta por um vaso de polietileno com capacidade de 1,8dm³.

Aos 90 dias após plantio, as plantas foram coletadas e seccionadas em raiz, parte aérea e sementes. As partes coletadas foram secas a 65°C, até peso constante (72 horas). Após a secagem, as amostras foram pesadas para a determinação da massa de matéria seca.

Para determinação dos nutrientes, o material vegetal foi moído e peneirado em malha de 0,841mm, logo após submetido à digestão sulfúrica para a determinação de N, P, K, Ca e Mg, de acordo com TEDESCO et al. (1995). Amostras de solo foram retiradas de cada vaso, após a coleta das plantas, para análise dos nutrientes disponíveis K, Ca, Mg, Al e P, H+Al, além da CTC e V% calculados e Carbono orgânico e pH de acordo com EMBRAPA (1997).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias das variáveis relacionadas às doses de silicatos comparadas pelo teste de Tukey (P≤0,05) e as doses de torta de mamona ajustadas a modelos de regressão, com significância dos coeficientes testada pelo teste T (P≤0,05). Para a análise de variância, foi usado o *software* SAEG (SAEG, 2007), enquanto, para o ajuste das equações de regressão, foi utilizado o *software* Tablecurve (JANDEL SCIENTIFIC, 1991).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação às variáveis analisadas no experimento, não foram constatadas interações significativas entre as doses de torta de mamona e silicatos de serpentinito aplicados.

Não houve diferença estatística entre as aplicações de silicato de serpentinito. Os teores médios disponíveis no solo após a coleta das plantas foram (em cmol_c dm⁻³), K=0,03; Ca=1,36; Mg=0,60; Al=0,03; H+Al=1,2; CTC=3,2; P=16,0 em mg dm⁻³; Saturação por bases = 63,0 %; Carbono orgânico = 0,72%; e pH em água = 6,4. Pode-se observar um aumento dos nutrientes e do pH no solo em comparação aos teores disponíveis no solo inicialmente descrito.

Comparando-se os resultados obtidos com as recomendações de BROCH & ROSCOE (2010), os teores médios em cmol_c de Ca=1,36; Mg=0,6; K=0,03 e P=16,0 em mg dm³, disponíveis no solo após a coleta das plantas, ficaram dentro daqueles considerados como adequados pelos autores. O valor do pH e V%,

6,4 e 63, respectivamente, também ficaram dentro da faixa considerada ideal para BROCH & ROSCOE (2010) e JANEGITZ et al. (2010), isto é, 5,8 a 6,5 para o pH e 50 a 65 para V%.

Para as variáveis massas secas de raiz e de parte aérea, a aplicação de silicato com e sem enxofre não foi significativa, apresentando valores médios de 1,56 e 4,02g, respectivamente. A variável massa seca de sementes aumentou com a aplicação do silicato de serpentinito sem enxofre, obtendo valor de 0,92g, diferindo estatisticamente pelo teste Tukey (P<0,05) dos demais tratamentos. A aplicação de silicato de serpentinito com enxofre apresentou o menor valor, 0,61g, e o tratamento sem aplicação de silicato, 0,82g, ou seja, pode-se observar que a presença do enxofre elementar no silicato reduziu a produção de sementes de crambe, enquanto a aplicação de silicatos sem enxofre aumentou a produção de grãos da cultura.

FERNANDEZ et al. (2009) observaram aumento na produção de massa seca do feijoeiro quando crescidos em doses de 0,78t ha⁻¹ de silicato de cálcio e magnésio, juntamente com 6t ha⁻¹ de resíduo cultural de braquiária. Por outro lado, PRATES et al. (2011) observaram que a cultura do pinhão manso, cultivado no campo em Cambissolo, não respondeu à aplicação 1t ha⁻¹ de silicato de cálcio e magnésio, assim como ZUBA JUNIO et al. (2011), que também não detectaram diferenças no crescimento inicial da mamoneira com aplicação de 1t ha⁻¹ de silicato de cálcio e magnésio.

Ao se avaliar os teores de nutrientes obtidos, observaram-se incrementos no teor de Mg nas raízes das plantas conduzidas na dose 1t ha⁻¹ de silicato contendo S (Tabela 1), com teores de, 0,99g kg⁻¹, quando comparados às conduzidas nos tratamentos com silicato sem enxofre e sem aplicação do silicato, 0,78 e 0,72g kg⁻¹, respectivamente.

Ocorreram aumentos nos teores dos nutrientes no solo, como discutido anteriormente, sendo Mg o mais significativo dentre eles. Essa contribuição pode estar ligada à alta concentração natural do Mg no silicato de serpentinito utilizado (30,17%).

As plantas conduzidas nos tratamentos com silicato de serpentinito sem enxofre apresentaram os maiores valores nos conteúdos de N, P e K nas sementes, entretanto não foram observados incrementos quanto aos teores de Ca e o Mg na parte aérea e na raiz (Tabela 1). KORNDÖRFER et al. (2002) e CLAUSSEN & LENS (1995) relatam que a aplicação de silicatos de cálcio e magnésio aumenta a eficiência da adubação N-P-K, sendo essa afirmação corroborada por CARVALHO et al. (2009), que

Tabela 1 - Médias do teor de N na raiz (NR), do conteúdo de N na raiz (NTR), do teor de N na parte aérea (NPa), do conteúdo de N na parte aérea (NTPa), do teor de N na semente (NSem) e do conteúdo de N na semente (NTSem); teor de P na raiz (PR), conteúdo de P na parte aérea (PPa), teor de P na semente (PSem) e conteúdo de P na semente (PTSem); teor de K na raiz (KR), conteúdo de K na raiz (KTR), teor de K na parte aérea (KPa), conteúdo de K na parte aérea (KTPa), teor de K na semente (KSem) e conteúdo de K na semente (KTSem); teor de Ca na raiz (CaR), conteúdo de Ca na raiz (CaTR), teor de Ca na parte aérea (CaPa), conteúdo de Ca na parte aérea (CaTPa), teor de Ca na semente (CaSem) e conteúdo de Ca na semente (CaTSEM); teor de Mg na raiz (MgR), conteúdo de Mg na raiz (MgTR), teor de Mg na parte aérea (MgPa), conteúdo de Mg na parte aérea (MgTPa), teor de Mg na semente (MgSem) e conteúdo de Mg na semente (MgTSEM) de crambe, adubado com torta de mamona e silicato de serpentinito com e sem enxofre.

	NR	PR	KR	CaR	MgR
Silicato	----- (g kg ⁻¹) -----				
Ausência	7,43 a	0,95 a	1,39 a	3,23 a	0,72 b
Sem enxofre	7,35 a	0,98 a	1,38 a	3,18 a	0,78 b
Com enxofre	8,41 a	0,93 a	1,35 a	3,36 a	0,99 a
Silicato	NPa	PPa	KPa	CaPa	MgPa
	----- (g kg ⁻¹) -----				
Ausência	10,34 a	1,07 a	3,72 a	2,90 a	0,80 a
Sem enxofre	10,52 a	0,93 a	3,73 a	3,28 a	1,01 a
Com enxofre	11,88 a	1,22 a	3,84 a	2,99 a	1,15 a
Silicato	NSem	PSem	KSem	CaSem	MgSem
	----- (g kg ⁻¹) -----				
Ausência	51,59 a	6,85 a	5,87 a	7,01 a	1,12 a
Sem enxofre	53,00 a	6,55 a	4,97 a	7,95 a	1,23 a
Com enxofre	52,70 a	6,71 a	5,27 a	11,88 a	1,11 a
Silicato	NTR	PTR	KTR	CaTR	MgTR
	----- (g) -----				
Ausência	0,013 a	0,002 a	0,003 a	0,006 a	0,001 a
Sem enxofre	0,013 a	0,002 a	0,002 a	0,005 a	0,001 a
Com enxofre	0,011 a	0,001 a	0,002 a	0,004 a	0,001 a
Silicato	NTPa	PTPa	KTPa	CaTPa	MgTPa
	----- (g) -----				
Ausência	0,042 a	0,004 a	0,015 a	0,012 a	0,003 b
Sem enxofre	0,039 a	0,003 a	0,014 a	0,013 a	0,004 ab
Com enxofre	0,050 a	0,005 a	0,016 a	0,013 a	0,005 a
Silicato	NTSem	PTSem	KTSem	CaTSEM	MgTSEM
	----- (g) -----				
Ausência	0,041 a	0,006 ab	0,004 ab	0,005 a	0,001 a
Sem enxofre	0,043 a	0,006 a	0,004 a	0,005 a	0,001 a
Com enxofre	0,029 b	0,004 b	0,003 a	0,004 a	0,001 a

Para cada variável, médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$).

constataram aumento nos teores de N-P-K-Ca e Mg nos tecidos foliares de girassol ornamental, adubado com silicato de potássio.

Dos nutrientes analisados, o N foi o nutriente que apresentou os maiores valores, tanto para teores quanto para o seu conteúdo. PITOL et al. (2010) também afirmam que o N é o nutriente que apresenta maiores teores nos grãos.

Não houve ajuste de curva de regressão para os valores de rotina do solo em função da aplicação de torta de mamona PDS, sendo os valores médios apresentados (em $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), $K=0,03$; $Ca=1,36$; $Mg=0,60$; $Al=0,03$; $H+Al=1,2$; $CTC=3,2$;

$P=16,10$ em mg dm^{-3} ; Saturação por bases = 63,0%; Carbono orgânico = 0,72%; e pH em água = 6,4.

Os valores de nutrientes residuais no solo, apresentados em função da aplicação da torta de mamona PDS, corroboram os obtidos no trabalho realizado por SILVA et al. (2012). Estes autores concluíram que a torta de mamona PDS, como fertilizante orgânico, apresentase como grande potencial de uso na agricultura como fornecedora de nutrientes.

Houve aumento da massa seca de raiz, parte aérea e de sementes, a partir de incrementos da torta de mamona PDS, conforme apresentados na tabela 2.

A elevação nas doses de torta de mamona PDS resultou no aumento da massa seca da raiz (Tabela 2). De acordo com a equação linear encontrada, com a aplicação equivalente a 8t ha⁻¹ de torta de mamona PDS, houve aumento médio de massa de 2,93g planta⁻¹. O ganho de massa das raízes do crambe em função do incremento de torta de mamona PDS demonstra a exigência da cultura por nutrientes e também corrobora o descrito na literatura sobre o crambe ser uma cultura considerada boa recicladora de nutrientes (KNIGHTS, 2002; PITOL et al., 2010; JANEGITZ et al., 2010).

Para a massa seca da parte aérea, houve um ajuste de regressão quadrática, sendo que a dose equivalente a 7,92t ha⁻¹ de torta de mamona promoveu um ganho máximo de 5,4g planta⁻¹. Resultados

semelhantes foram descritos por SILVA et al. (2012), em que encontraram ganhos de massa seca da parte aérea em mamoneira a partir de incrementos nas doses de torta de mamona PDS.

Para a massa seca das sementes, houve um ajuste linear positivo, sendo que a maior dose equivalente a 8t ha⁻¹ obteve um ganho de 1,56g planta⁻¹. Os valores encontrados se aproximam dos observados por PITOL et al. (2010), cerca de 1,7g de semente planta⁻¹. Por outro lado, esse valor encontra-se abaixo do relatado por JANEGITZ et al. (2010), que obtiveram um ganho médio de 2,4g de sementes por planta. Esse contraste se justifica pela adubação de plantio utilizada pelos autores, sendo 75mg dm⁻³ de N (na forma de sulfato de amônio e de nitrato de amônio), 150mg dm⁻³ de P (termo-fosfato) e 120mg dm⁻³ de K (cloreto de potássio).

Tabela 2 - Quadro de equações ajustadas das variáveis analisadas em crambe adubado com torta de mamona.

Variável	Equação de Regressão	R ²
Massa seca da raiz (g)	$Y = 0,69721 + 0,27956***X$	0,8188
Massa seca da parte aérea (g)	$Y = 2,63588 + 0,6979***X - 0,04402**X^2$	0,9856
Massa seca da semente (g)	$Y = 0,29941 + 0,15755***X$	0,9637
Nitrogênio na raiz (g kg ⁻¹)	$Y = Ym = 7,73$	-
Fósforo na raiz (g kg ⁻¹)	$Y = 0,74684 + 0,0671***X$	0,7711
Potássio na raiz (g kg ⁻¹)	$Y = (1,51245 + 0,1273***X)^{0,5}$	0,8519
Cálcio na raiz (g kg ⁻¹)	$Y = Ym = 3,26$	-
Magnésio na raiz (g kg ⁻¹)	$Y = Ym = 0,83$	-
Nitrogênio na parte aérea (g kg ⁻¹)	$Y = Ym = 10,92$	-
Fósforo na parte aérea (g kg ⁻¹)	$Y = (1,8703 - 0,1176**X)^{0,5}$	0,7153
Potássio na parte aérea (g kg ⁻¹)	$Y = 3,48402 + 0,016263**X^2$	0,9038
Cálcio na parte aérea (g kg ⁻¹)	$Y = (4,2883 + 3,4409***X - 0,28249***X^2)^{0,5}$	0,6578
Magnésio na parte aérea (g kg ⁻¹)	$Y = 0,6192 + 0,1382***X$	0,6285
Nitrogênio na semente (g kg ⁻¹)	$Y = Ym = 52,43$	-
Fósforo na semente (g kg ⁻¹)	$Y = Ym = 6,70$	-
Potássio na semente (g kg ⁻¹)	$Y = Ym = 5,37$	-
Cálcio na semente (g kg ⁻¹)	$Y = Ym = 8,95$	-
Magnésio na semente (g kg ⁻¹)	$Y = Ym = 1,15$	-
Conteúdo N raiz (g)	$Y = 0,00454 + 0,002613***X$	0,9108
Conteúdo P raiz (g)	$Y = 0,0004697 + 0,0003789***X$	0,9218
Conteúdo K raiz (g)	$Y = 0,0008124 + 0,0004653***X$	0,8705
Conteúdo Ca raiz (g)	$Y = 0,002143 + 0,0009726***X$	0,8277
Conteúdo Mg raiz (g)	$Y = 0,0005397 + 0,000252***X$	0,8512
Conteúdo de N parte aérea (g)	$Y = 0,03396 + 0,00294***X$	0,8727
Conteúdo de P parte aérea (g)	$Y = Ym = 0,004$	-
Conteúdo de K parte aérea (g)	$Y = 3,48402 + 0,016263**X$	0,9038
Conteúdo de Ca parte aérea (g)	$Y = 0,00691 + 0,00195***X$	0,8585
Conteúdo de Mg parte aérea (g)	$Y = 0,002172 + 0,0006558***X$	0,9052
Conteúdo N na semente (g)	$Y = 0,015135 + 0,008096***X$	0,9786
Conteúdo P na semente (g)	$Y = 0,001985 + 0,00108***X$	0,9668
Conteúdo K na semente (g)	$Y = 0,001531 + 0,000841***X$	0,9658
Conteúdo Ca semente (g)	$Y = 0,003349 + 0,000412***X$	0,9286
Conteúdo Mg semente (g)	$Y = 0,0003778 + 0,0001596***X$	0,9590

** , *** significativos a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste t.

O comportamento linear no ganho de massa seca das raízes promoveu aumentos lineares para os teores de P e K e também aumento dos conteúdos de N, P, K, Ca e Mg na raiz (Tabela 2). Esses resultados demonstram que o uso de torta de mamona PDS na produção do crambe pode ser viável. Resultados semelhantes foram encontrados por SILVA et al. (2012), quando os autores verificaram que os teores de nutrientes em plantas de mamona foram proporcionais à aplicação de doses de torta de mamona PDS, a mesma torta utilizada nesse experimento.

Para os teores de nutrientes da parte aérea do crambe, apenas o P, K, Ca e Mg ajustaram curva de regressão com a aplicação de torta de mamona PDS (Tabela 2). Apesar do N não ter ajustado curva de regressão, o seu teor médio ficou em 10,92g kg⁻¹.

Para o teor de P na parte aérea, houve um decréscimo com aplicação de 8t ha⁻¹ de 0,96g kg⁻¹ (Tabela 2). O aumento significativo da massa seca da parte aérea pode ter conferido ao teor de P o chamado efeito diluição desse nutriente. CASARINI et al. (1984) também relataram o efeito diluição em colza (*Brassica napus*), com o aumento da matéria seca da parte aérea.

Para o teor de K na parte aérea, a dose de 8t ha⁻¹ promoveu um teor máximo de 4,52g kg⁻¹, esse valor encontra-se próximo dos relatados por CASARINI et al. (1984), ao trabalharem com colza (*Brassica napus*). Segundo KNIGHTS (2002), a exigência à fertilidade do solo do crambe se assemelha às culturas de pequenos grãos, como a colza (*Brassica napus* L.), a canola (*Brassica napus* L. e *Brassica rapa* L.) e a mostarda (*Brassica juncea* L.), porém não existem ainda recomendações específicas para a cultura do crambe.

Em relação ao teor de Ca na parte aérea (Tabela 2), a aplicação máxima de 6t ha⁻¹ promoveu um ganho de 3,84g kg⁻¹. Já para o teor de Mg na parte aérea, houve um ajuste de regressão linear com a aplicação da torta de mamona PDS. A aplicação de 8t ha⁻¹ promoveu um ganho de 1,72g kg⁻¹ de Mg. Apesar de não haver na literatura faixas adequadas de teores de nutrientes para a cultura do crambe, os valores encontrados podem ser considerados adequados, uma vez que os teores disponíveis no solo após a coleta das plantas estão dentro da faixa recomendada para a fertilização do crambe, como descrito por BROCH & ROSCOE (2010) e JANEGITZ et al. (2010). Os valores médios detectados no solo, após a coleta das plantas, pela aplicação da torta de mamona PDS, em Cmol_c dm⁻³, foram: Ca=1,36 e Mg=0,59, e do pH e a saturação por bases, 6,36 e 63,09%, respectivamente.

Em relação aos conteúdos de nutrientes da parte aérea, houve ajuste de curva de regressão linear

para N, K, Ca e Mg. Com a aplicação de 8t ha⁻¹ de torta de mamona PDS, houve um ganho de 0,06g de N; 3,61g de K; 0,023g de Ca e 0,007g de Mg por planta. Esses valores estão próximos ao encontrado por HEINZ et al. (2011), no qual os autores avaliaram a decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais do crambe, na implantação do sistema de plantio direto. Os autores relataram que o crambe tem uma boa produção de massa seca e que sua palhada apresenta maior persistência no solo. Essas informações corroboram com PITOL et al. (2010), em que, segundo os autores, o crambe se torna uma alternativa interessante como safrinha pela sua rusticidade, tolerância à seca e ao frio e também pela eficiência na ciclagem de nutrientes pela sua palhada.

Em relação ao ajuste de curva de regressão para os conteúdos de nutrientes nas sementes de crambe em função da aplicação de torta de mamona PDS, houve um ajuste linear para todos os nutrientes analisados. A aplicação de 8t ha⁻¹ promoveu um ganho na semente de 0,08g de N; 0,011g de P; 0,008g de K; 0,007g de Ca e 0,002g de Mg por planta. Como apresentado, dentre os nutrientes, o N apresentou o maior conteúdo nas sementes, corroborando os resultados apresentados por PITOL et al. (2010). Os valores dos demais nutrientes estão próximos dos relatados pelos autores.

CONCLUSÃO

A aplicação de silicato de serpentinito sem enxofre aumentou os teores e conteúdos de N, P, K, Ca e Mg do crambe e a produção de sementes. O uso de torta de mamona PDS como fertilizante orgânico incrementou o crescimento e desenvolvimento do crambe. De modo geral, a dose de 8t ha⁻¹ foi a mais indicada para a fertilização da cultura do crambe.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, A.L. et al. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n. spe, p.260-268, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008001300030>>. Acesso em: 29 ago. 2012. doi: 10.1590/s1516-35982008001300030.
- BROCH, D.L.; ROSCOE, R. Fertilidade do solo, adubação e nutrição do crambe. In: FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia e produção**: crambe. Maracajú: FUNDAÇÃO MS, 2010. V.1, p.22-36.
- CARVALHO, M.P. et al. Silício melhora produção e qualidade do girassol ornamental em vaso. **Ciência Rural**, v.39, n.8, p.2394-2399, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000194>>. Acesso em: 12 set. 2012. doi: 10.1590/S0103-84782009005000194.

- CASARINI, M.A.G. da S. et al. Absorção, concentração e exportação de nutrientes por duas linhagens de colza (*Brassica napus*) em função da idade. I – Macronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v.40, n.2, p.37-47, 1984. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0071-12761983000200017>>. Acesso em: 27 ago. 2012. doi: 10.1590/S0071-12761983000200017.
- EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, 1997. 212p.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.50, p.641-664, 1999. <Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-arplant.50.1.641>>. Acesso em: 05 jan. 2013.
- FERNANDEZ, F.A. et al. Influência de silicato e cálcio na decomposição de resíduos culturais e disponibilidade de nutrientes ao feijoeiro. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.33, n.4, p.935-945, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000400018>>. Acesso em: 26 ago. 2012. doi: 10.1590/S0100-06832009000400018.
- FRIEDMAN, H. **The mineral and gemstone kingdom: minerlas A-Z: group serpentine**. 1997-2013. Disponível em: <<http://www.minerals.net>>. Acesso em: 22 jan. 2013.
- GOMES, C.B. **Torta de mamona**. Sistema de produção da Mamona. Cidade sede: Pelotas, RS, Embrapa, 2009. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/SistemaProducaoMamona/index.htm>>. Acesso em: 30 ago. 2012.
- GOMES, F.B. et al. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, v.62, n.6, p.547-551, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162005000600006>>. Acesso em: 26 ago. 2012. doi: 10.1590/S0103-90162005000600006.
- HEINZ, R. et al.. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crambe e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, 41:1549-1555, 2011.
- JANDEL SCIENTIFIC. **Tablecurve: curve fitting software**. Corte Madeira, CA, 1991. 280p.
- JANEGITZ, M.C. et al. Influência da saturação por bases no crescimento e produção de crambe. **Cultivando o Saber**, v.3, n.4, p.175-182, 2010.
- KNIGHTS, E.G. **Crambe: A North Dakota case study**. Kingston: A report for the rural industries research and development corporation, RIRDC, 2002. 25p. (Publication n.W02/005).
- KORNDÖRFER, G.H. et al. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU, ICAG, 2002. 23p. (Boletim técnico, 1). Disponível em: <http://www.ufmt.br/gemt/Diversos/Textos%20Diversos%20e%20Palestras/Textos%20Tecnicos/Boletim_Tecnico_Silicato.pdf>. Acesso em: 12 set. 2012.
- LIMA FILHO, O.F. **História e uso do silicato de sódio na agricultura**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009. 112p. Disponível em: <<http://www.cpao.embrapa.br/publicacoes/ficha.php?tipo=LV&num=10&ano=2009>>. Acesso em: 08 jan. 2013.
- MATICHENKOV, V.V.; CALVERT, D.V. Silicon as a beneficial element for sugarcane. **Journal of the American Society of Sugarcane Technologists**, v.22, p.21-30, 2002.
- PITOL, C. et al. **Tecnologia e produção: crambe**. Maracaju: Fundação MS, 2010. 60p.
- PRATES, F.B.S. **Crescimento, desenvolvimento e nutrição de pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio**. 2009. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias-Agroecologia) - Instituto de Ciências Agrárias, UFMG, Montes Claros-MG. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=176498>. Acesso em: 18 jan. 2013.
- PRATES, F.B.S. et al. Crescimento e teores de macronutrientes em pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Caatinga**, v.24, n.2, p.101-112, 2011. Disponível em: <<http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/sistema/article/view/1879>>. Acesso em: 29 ago. 2012.
- SAEG - Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.
- SEVERINO, S. et al. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p.563-568, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v41n4/29800.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2013.
- SOUZA, D.M.G. et al. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira Ciência do Solo, 2007. Cap.5, p.205-274.
- TEDESCO, M.J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).
- ZUBA JUNIO, G.R. et al. Crescimento inicial de mamoneira adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Caatinga (Online)**, v.24, p.157-163, 2011. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=237120127023>>. Acesso em: 28 ago. 2012.