

USO DE TORTA DE MAMONA COMO FERTILIZANTE ORGÂNICO¹

Samuel de Deus da Silva², Rafael Antônio Presotto², Helen Botelho Marota², Everaldo Zonta²

ABSTRACT

USE OF CASTOR BEAN CAKE AS AN ORGANIC FERTILIZER

The castor bean cake is a residue from the biodiesel production, which has a great potential as organic fertilizer, but it also presents sodium contents in its constitution, as a result of the use of NaOH, as a catalyst for the transesterification reaction, to produce biodiesel. This study aimed to evaluate the potential use of castor bean cake resulting from biodiesel produced directly from seeds as an organic fertilizer in the cultivation of castor bean (*Ricinus communis* L.). The cake was washed with water, in the 1:4 (m/v) ratio, in order to reduce sodium contents. Plant height, fresh and dry shoot weight, and total shoot and root nutrients contents were evaluated, in addition to residual elements after cultivation. The study was carried out in the Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, in Seropédica, Rio de Janeiro State, Brazil. The AI Guarani cultivar, grown in a greenhouse, for 70 days, in an Inseptisol substrate from Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte State, Brazil, was evaluated in a randomized blocks design, in a 6x2 factorial scheme (six cake doses: 0 Mg ha⁻¹, 5 Mg ha⁻¹, 10 Mg ha⁻¹, 20 Mg ha⁻¹, 40 Mg ha⁻¹, and 80 Mg ha⁻¹; and two cake states: *in natura* and treated), with three replications. The sodium contents present in the cake are not harmful to castor bean plants at short term. In general, the highest dose of *in natura* or treated castor bean cake, equivalent to 80 Mg ha⁻¹, promoted the highest nutrients release into the soil.

KEY-WORDS: *Ricinus communis* L.; sodium; biofuels; mineral nutrients.

INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira vem passando por sucessivas mudanças, desde a década de 1970. Os aumentos consecutivos no preço do petróleo estimularam o País a buscar novas fontes de energia, especialmente as substitutas de fontes não renováveis, como é o caso do petróleo, que contribui grandemente para a emissão de gases que acentuam o efeito estufa. Estas formas ou estratégias de substituição são denominadas Mecanismos de Desenvolvimento Limpo

RESUMO

A torta de mamona é um resíduo da produção de biodiesel, que apresenta grande potencial como fertilizante orgânico, mas, também, teores de sódio em sua constituição, em decorrência do uso de NaOH, como catalisador da reação de transesterificação, para produzir o biodiesel. O objetivo do estudo foi avaliar o potencial de uso da torta de mamona resultante da produção de biodiesel direto da semente como fertilizante orgânico, no cultivo de mamoneira (*Ricinus communis* L.). A torta foi lavada com água, na relação 1:4 (m/v), com a finalidade de reduzir os teores de sódio. Avaliou-se a altura de plantas, massa fresca e seca da parte aérea, teores totais de nutrientes na raiz e na parte aérea, além dos elementos residuais após o cultivo. O estudo foi realizado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em Seropédica (RJ). Utilizou-se a cultivar AI Guarani, cultivada em casa-de-vegetação, durante 70 dias, em substrato de Cambissolo proveniente da Chapada do Apodi (RN), e delineamento de blocos casualizados, em arranjo fatorial 6x2 (seis doses de torta: 0 Mg ha⁻¹, 5 Mg ha⁻¹, 10 Mg ha⁻¹, 20 Mg ha⁻¹, 40 Mg ha⁻¹ e 80 Mg ha⁻¹; e dois estados da torta: *in natura* e tratada), com três repetições. Os teores de sódio presentes na torta não são prejudiciais às plantas de mamona, a curto prazo. No geral, a maior dose de torta de mamona *in natura* ou tratada, equivalente a 80 Mg ha⁻¹, promoveu maior liberação de nutrientes ao solo.

PALAVRAS-CHAVE: *Ricinus communis* L.; sódio; biocombustíveis; nutrientes minerais.

(MDL), por meio dos quais busca-se o desenvolvimento sustentável. Além do benefício ambiental, há, ainda, a possibilidade da valorização dos produtos relacionados à agroenergia, por meio dos créditos de carbono conseguidos através dos MDL, previstos no Protocolo de Quioto (Kraxner et al. 2003).

Após o sucesso da implantação do Proálcool, outras fontes de energia resultantes da biomassa começaram a ser incentivadas, e programas nacionais para o desenvolvimento dos biocombustíveis foram implementados. Desta forma, o governo brasileiro

1. Trabalho recebido em fev./2011 e aceito para publicação em fev./2012 (nº registro: PAT 13266).

2. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Solos, Seropédica, RJ, Brasil.

E-mails: agrosamuel@gmail.com, presotto_ufrrj@hotmail.com, helenufrrj@gmail.com, ezonta@ufrrj.br.

criou, em 2002, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), que buscava a substituição do óleo diesel por óleos vegetais. Assim, tecnologias envolvendo a fabricação de óleos vegetais, tendo como matéria-prima a soja, o amendoim, o girassol, o dendê e a mamona, dentre outras espécies oleaginosas, foram desenvolvidas, incluindo o processo de produção de biodiesel direto da semente (PDS), que possibilita a produção de biodiesel a partir das sementes de qualquer planta oleaginosa, sem a necessidade da etapa de extração do óleo, o que poderia diminuir os custos na cadeia de produção de biodiesel (Época 2008).

No caso da torta de PDS, as sementes são esmagadas e o óleo obtido reage com o álcool metílico ou etílico para produzir o biodiesel, dando origem à torta e à glicerina. O processo também utiliza, como catalisador da reação, uma base, que pode ser o NaOH ou o KOH, sendo o segundo o mais oneroso (Denucci 2007).

Segundo a Embrapa (2004), a torta da mamona obtida por processo tradicional de extração do óleo, com posterior transesterificação, apresenta os seguintes teores: umidade = 8,13%; óleo = 13,10%; proteína bruta = 28,74%; cinzas = 12,11%; N = 46 g kg⁻¹; P = 30 g kg⁻¹; e K = 9,6 g kg⁻¹. A torta de mamona gerada no PDS é diferente, na sua constituição, da gerada no processo tradicional de produção do biodiesel, apresentando os seguintes teores médios: N = 32 g kg⁻¹; P = 5,4 g kg⁻¹; e K = 13 g kg⁻¹. Além de fornecer nutrientes, por se tratar de um resíduo orgânico, a torta de mamona pode ser uma alternativa viável, para atuar como condicionador do solo.

Para cada tonelada de semente de mamona processada, são gerados cerca de 620 kg de casca e 530 kg de torta de mamona. Como a produção brasileira de mamona foi de 210 mil toneladas em 2005, estima-se que tenham sido produzidas, aproximadamente, 130 mil toneladas de casca e 111 mil toneladas de torta de mamona (Santos et al. 2001, Severino 2005, Severino et al. 2005).

A torta é um resíduo industrial, porém, pode ser considerada coproduto da produção do biodiesel, a partir de oleaginosas como a mamona, girassol, dendê, pinhão-mansão e soja, dentre outras. Apresenta grande potencial de uso como fertilizante orgânico e condicionador de solo, além de outras aplicações. Freitas (2009), testando doses crescentes da torta de mamona produzida diretamente da semente, observou incrementos na produtividade e efeitos de

degradação de hidrocarbonetos no solo. Este autor também observou diminuição de incremento na máxima dose aplicada e atribuiu este comportamento aos significativos teores de Na⁺ na torta, em decorrência da utilização do catalisador NaOH, no processo de produção do biodiesel.

Para a utilização da torta de mamona PDS, com as suas características particulares, faz-se necessária a realização de vários estudos, com maior segurança, identificando seus constituintes e teores, bem como comparando-os aos da legislação vigente.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de uso da torta de mamona como fertilizante orgânico, no cultivo de mamoneira (*Ricinus communis* L.), em solo proveniente da Chapada do Apodi (RN).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, localizada na Baixada Fluminense, no município de Seropédica (RJ) (22°45'33"S, 43°41'52"W e altitude de 35 m).

A torta de mamona PDS utilizada como adubo orgânico proveio da Estação Experimental de Produção de Biodiesel (UEB-2), pertencente à Petrobras/Cenpes, localizada no município de Guararé (RN), e apresentou os seguintes teores totais médios: N = 31,2 g kg⁻¹; P = 5,4 g kg⁻¹; K = 2,8 g kg⁻¹; Ca = 17 g kg⁻¹; Mg = 0,9 g kg⁻¹; e Na = 111 mg kg⁻¹. A torta também apresentou os seguintes teores extraíveis: P = 1,4 cmol_c dm⁻³; K = 4,6 cmol_c dm⁻³; Ca = 2,9 cmol_c dm⁻³; Mg = 1,4 cmol_c dm⁻³; Na = 70 mg kg⁻¹; e C-orgânico = 300 g kg⁻¹ (Embrapa 1997). A torta de mamona tratada PDS apresentou os seguintes teores totais: N = 15 g kg⁻¹; P = 45 g kg⁻¹; K = 6 g kg⁻¹; Ca = 7,9 g kg⁻¹; e Mg = 7,9 g kg⁻¹ (Tedesco et al. 1995).

O substrato (solo em condições naturais) utilizado no cultivo da mamona foi coletado na região da Chapada do Apodi (RN), à profundidade de 0-20 cm, e classificado como Cambissolo háplico Tb eutrófico (CXve), com característica alcalina (Embrapa 2006). O solo apresentou P = 33 mg dm⁻³; C-orgânico = 34,8 g kg⁻¹; K = 0,22 cmol_c dm⁻³; Ca = 7,0 cmol_c dm⁻³; Mg = 4,4 cmol_c dm⁻³; Al = 0 cmol_c dm⁻³; H+Al = 0,8 cmol_c dm⁻³; Na = 0,032 cmol_c dm⁻³; pH em água = 7,7; CTC = 12,5 cmol_c dm⁻³; e saturação por bases = 94%. Também apresentou 120 g kg⁻¹,

80 g kg⁻¹ e 50 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente (Embrapa 1997).

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação, sob condições controladas de temperatura e umidade. A temperatura e a umidade interna foram controladas por Resfriamento Adiabático Evaporativo (SRAE), constituído por material poroso acoplado a exaustores, acionados automaticamente a temperaturas superiores a 30°C, mantendo-se a temperatura ambiente de 28°C, em média, ao longo do cultivo, e umidade relativa do ar interna, na casa-de-vegetação, de 70%, em média.

Os tratamentos foram combinados segundo esquema fatorial 2x6, consistindo de duas formas ou estados da torta (*in natura* e tratada com água; relação 1:4 - torta:água) e seis doses (0 Mg ha⁻¹, 5 Mg ha⁻¹, 10 Mg ha⁻¹, 20 Mg ha⁻¹, 40 Mg ha⁻¹ e 80 Mg ha⁻¹, equivalendo a 0 g vaso⁻¹, 6,25 g vaso⁻¹, 12,5 g vaso⁻¹, 25 g vaso⁻¹, 50 g vaso⁻¹ e 100 g vaso⁻¹). Cada tratamento foi constituído por três repetições, em delineamento de blocos casualizados.

Os cálculos para identificar a quantidade de torta foram proporcionais ao volume de substrato utilizado por vaso (3,0 dm³), considerando-se área de 1,0 ha, com profundidade de 0,20 m e densidade do solo igual a 1,0 Mg m⁻³.

O cultivo da mamoneira foi realizado de maio a julho de 2009. Em cada unidade experimental (vasos plásticos), foram colocados 3,0 kg de terra + torta, sendo semeadas seis sementes por vaso, a 1,0 cm de profundidade, desbastando-se as plântulas aos sete dias e deixando-se apenas uma por vaso, até a coleta. Os dois tipos de torta foram peneirados, em peneiras de 2,0 mm, e misturados ao solo.

O genótipo de mamona utilizado foi a cultivar Al Guarani, que apresenta porte médio, variando entre 1,6 m e 2,4 m; ciclo de 180 dias; caule roxo, com cera, e ramos formando ângulo bem fechado; frutos indeiscentes; sementes de tamanho médio, de cor marrom escura, contendo estrias cinza-claras, pesando, aproximadamente, 0,46 g e contendo 48% de óleo; e produtividade variando de 1.000 kg ha⁻¹ a 2.500 kg ha⁻¹ (Embrapa 2004).

A coleta das plantas foi realizada aos 70 dias após o plantio (DAP), quando foram avaliadas a altura das plantas e a matéria seca da parte aérea, bem como os teores totais de N, P, K, Ca, Mg e Na da parte aérea e raiz, por meio de digestão sulfúrica e/ou nitroperclórica, conforme metodologia postulada por Tedesco et al. (1995). Para a determinação do N

total, utilizou-se a destilação do extrato, mais solução de ácido bórico (4%) e indicador misto. Posteriormente, titulou-se com solução de H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹ (Tedesco et al. 1995). O teor total de P foi determinado utilizando-se espectrofotômetro. O K e o Na foram determinados pelo uso do fotômetro de chama. Os teores de Ca e Mg foram determinados por espectrometria de absorção atômica (Embrapa 1997).

Coletou-se, também, uma amostra simples de terra, em cada unidade experimental, e formou-se uma amostra composta por tratamento. A partir destas amostras, foi realizada análise química residual de P assimilável, K, Ca, Mg, Al e (H + Al) e Na trocáveis, de acordo com metodologia proposta pela Embrapa (1997). De posse destes teores dos nutrientes no solo, calcularam-se os valores de S, T, V%, Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e Percentagem de Sódio Trocável (PST).

Foram realizados testes de normalidade e homogeneidade das variâncias dos erros, por meio dos testes de Lilliefors e de Cochran & Bartlett, respectivamente. Realizou-se o teste F e análise de regressão, com a utilização do programa estatístico SAEG 9.1 (UFV 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado aumento significativo na altura das plantas, em função do aumento nas doses de torta, tanto *in natura* (linear) quanto tratada (aumentos quadráticos) (Figura 1). Entretanto, verificou-se que

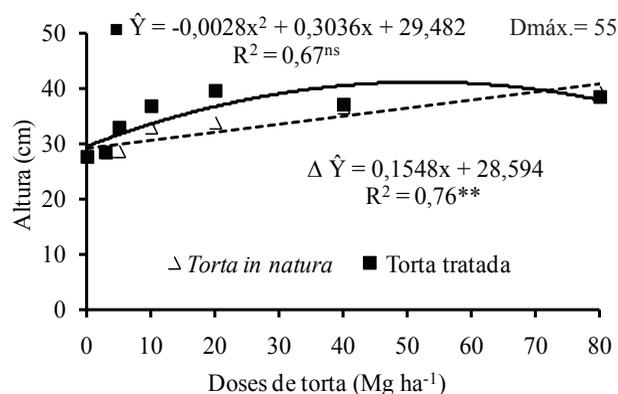


Figura 1. Altura da parte aérea das plantas de mamona cultivadas por 70 DAP, com torta de mamona PDS *in natura* e tratada. Médias de três repetições. *, ** e ^{ns}: significativo a 5% e 1%, respectivamente, e não significativo. Dmáx. = dose máxima de torta, indicada em Mg ha⁻¹ (Seropédica, RJ, 2009).

o incremento significativo na altura das plantas de mamona ocorreu somente no tratamento com torta *in natura*. Para a torta tratada, houve um aumento inicial, mas que foi reduzido nas doses de 40 Mg ha⁻¹ e 80 Mg ha⁻¹. A dose de máxima resposta na altura das plantas, nos tratamentos com torta tratada, foi de, aproximadamente, 55 Mg ha⁻¹.

Em estudo similar, porém utilizando torta de mamona oriunda do processo tradicional de produção de biodiesel, sendo esta mais concentrada em N do que a torta PDS, Nascimento et al. (2008) verificaram declínio na altura das plantas, com efeitos deletérios a partir de 24 Mg ha⁻¹ de torta aplicada. Portanto, os resultados corroboram apenas os tratamentos com torta PDS tratada, pois, com torta *in natura*, observa-se crescimento linear, em função das maiores doses aplicadas, o que pode ser justificado pelo fato de, na torta *in natura*, os teores de nutrientes serem mais elevados do que na torta tratada, pelo efeito de diluição desta última. Partindo-se desta premissa, o tratamento da torta reduziu os teores dos nutrientes essenciais, havendo um arraste ou retirada destes da massa da torta.

Observa-se ganho de matéria seca da parte aérea das plantas de mamona proporcional às doses de torta aplicada (Figura 2). Todavia, o ganho relativo à torta de mamona *in natura* foi superior ao proporcionado pela torta tratada. As doses máximas recomendadas para o maior incremento da massa seca da parte aérea foram de 74 Mg ha⁻¹ e 62 Mg ha⁻¹ de torta tratada e *in natura*, respectivamente. De acordo com Lavres Júnior et al. (2005), as deficiências de N, Ca, S e Mg foram as que mais restringiram a produção da massa de matéria seca, em estudo que avaliou a

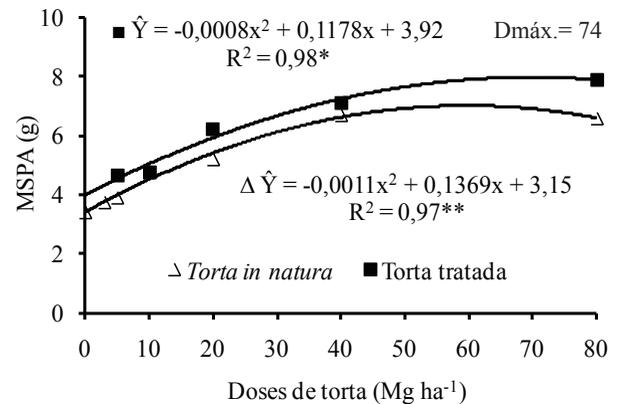


Figura 2. Massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de mamona cultivadas até 70 DAP, com torta de mamona PDS *in natura* e tratada. Médias de três repetições. * e **: significativo a 5% e 1%, respectivamente. Dmáx. = dose máxima de torta, indicada em Mg ha⁻¹ (Seropédica, RJ, 2009).

deficiência de macronutrientes, na seguinte ordem decrescente: N > Ca > S > Mg > K > P. Portanto, destaca-se a importância da torta PDS na nutrição mineral das plantas, podendo ser aplicada de forma isolada ou complementar à adubação mineral.

Quanto aos teores totais de N presente nas raízes, houve aumento linear, à medida em que as doses de torta foram aumentadas, para ambos os tipos de torta (Tabela 1). Segundo Lavres Júnior et al. (2005), avaliando deficiências de macronutrientes na cultivar Íris, os maiores acúmulos de macronutrientes, no tratamento completo com N, P, K, Ca, Mg e S, foram observados nas raízes e no limbo das folhas inferiores. Com a aplicação da torta PDS, e utilizando-se a cultivar Al Guarani, verificou-se maior incremento de

Tabela 1. Teores totais de N, P e K nas raízes das plantas de mamona, em função das doses e estados da torta (Seropédica, RJ, 2009).

Doses Mg ha ⁻¹	N		P		K	
	g kg ⁻¹					
	IN ¹	TT ²	IN	TT	IN	TT
0	25,4 ³	25,4	2,0	2,0	20,0	20,0
5	30,8	25,5	2,2	2,5	16,7	25,0
10	29,0	29,0	2,4	2,8	28,3	35,0
20	27,0	33,0	2,4	2,7	31,6	31,6
40	33,0	30,0	2,4	2,6	24,3	30,0
80	42,0	41,0	1,5	2,9	20,3	26,0
R ²	0,88**	0,83**	0,96*	0,52*	0,42**	0,44**
Equação IN	$\hat{Y} = 0,195x + 26$		$\hat{Y} = -0,0004x^2 + 0,02x + 2$		$\hat{Y} = -0,005x^2 + 0,4x + 20$	
Equação TT	$\hat{Y} = 0,181x + 26$		$\hat{Y} = 0,07x + 2$		$\hat{Y} = -0,005x^2 + 0,4x + 23$	
CV%	9,80		13,20		16,00	

¹ IN = torta *in natura*. ² TT = torta tratada. * e **: significativo a 5% e 1%, respectivamente. ³ Médias de três repetições.

N, P e K nos tecidos da parte aérea (limbo + folha), em relação às raízes.

Os teores totais de P aumentaram linearmente, com o aumento da dose de torta tratada, porém, para a torta *in natura*, ocorreu ajuste quadrático (Tabela 1). Para o maior incremento de P total nas raízes de mamona, a dose máxima recomendada de torta *in natura* é de 25 Mg ha⁻¹. A lavagem da torta com água favoreceu a solubilização do P, o que justifica o maior teor do elemento nos tecidos das raízes. Na região semiárida, sua importância é evidente, pois estimula o desenvolvimento do sistema radicular, predispondo a planta a suportar períodos prolongados de seca (Savy Filho 2005). Além disto, de acordo com a análise do solo utilizado, já existiam, naturalmente, elevados teores de P (33 mg dm⁻³). Todavia, quando se comparam os tratamentos com a torta e a testemunha, comprova-se haver maior relação com a solubilização do P, sendo que o maior valor é encontrado na dose máxima de torta tratada, equivalente a 80 Mg ha⁻¹.

Observa-se, inicialmente, aumento nos teores de K, nos tecidos das raízes, até a dose aproximada de 10 Mg ha⁻¹ (Tabela 1). Este aumento inicial, com posterior redução nos teores de K, é significativo para ambas as tortas, já que as doses de torta pouco influenciaram na concentração de K nos tecidos. A dose máxima recomendada para ambas as tortas é de 40 Mg ha⁻¹, para maior incremento nos teores de K nas raízes. O K é o cátion mais abundante no vegetal, sendo absorvido em grandes quantidades pelas raízes (Meurer 2006) e apresentando importante função no estado energético da planta, na translocação e arma-

zenamento de assimilados e na manutenção de água nos tecidos vegetais.

Os teores de N total, na parte aérea das plantas, apresentaram aumento, em razão das doses, ajustando-se de forma linear (Tabela 2). A torta de mamona obtida a partir da produção de biodiesel tem como principal elemento o N (em média 31,2 g kg⁻¹), que é responsável pela síntese de aminoácidos constituintes das proteínas que favorecem o crescimento dos tecidos. Lima et al. (2008) observaram características favoráveis da torta de mamona como adubo orgânico, principalmente devido ao alto teor de N. Tanto na torta *in natura* quanto na tratada, observou-se comportamento similar no incremento deste elemento, na parte aérea. Portanto, a torta de mamona PDS é uma fonte importante deste nutriente, devendo ser aplicada de forma sincronizada com a demanda da planta, para maximizar o seu aproveitamento. Resultados similares foram observados por Severino et al. (2006), os quais testaram adubações com macro e micronutrientes, na cultura da mamona, e concluíram que a adubação promoveu aumento de produtividade da cultivar BRS Nordestina, com destaque para a adubação nitrogenada.

Nos tratamentos com torta tratada, foi observado maior acúmulo de P total nos tecidos da parte aérea da mamoneira, em comparação com a torta *in natura* (Tabela 2). Portanto, este efeito é similar ao observado no acúmulo de P nas raízes, indicando, mais uma vez, que o tratamento da torta com água pode ter favorecido a maior disponibilidade deste nutriente. A dose de torta tratada, para o maior incremento de P na parte aérea, é equivalente a 25 Mg ha⁻¹. Severino et

Tabela 2. Teores totais de N, P e K na parte aérea das plantas de mamona, em função das doses e estados da torta (Seropédica, RJ, 2009).

Doses Mg ha ⁻¹	N		P		K	
	g kg ⁻¹					
	IN ¹	TT ²	IN	TT	IN	TT
0	50 ³	50	3,2	3,2	41	41
5	59	45	2,7	3,2	42	43
10	61	49	2,7	3,1	45	45
20	58	62	2,7	2,9	48	47
40	65	62	2,7	2,9	49	50
80	69	73	1,9	3,1	47	52
R ²	0,72*	0,84**	0,79*	0,85 ^{ns}	0,95*	0,82*
Equação IN	$\hat{Y} = 0,185x + 56$		$\hat{Y} = -0,012x + 2,9$		$\hat{Y} = -0,004x^2 + 0,3x + 41$	
Equação TT	$\hat{Y} = 0,321x + 48$		$\hat{Y} = 0,0002x^2 - 0,01 + 3$		$\hat{Y} = 0,126x + 43$	
CV%	14,23		11,25		8,36	

¹ IN = torta *in natura*. ² TT = torta tratada. *, ** e ^{ns}: significativo a 5% e 1%, respectivamente, e não significativo. ³ Médias de três repetições.

al. (2006) observaram correlação linear entre as doses de P e o teor de óleo, em sementes da cultivar BRS Nordestina. Portanto, destaca-se a importância deste nutriente, no que tange ao teor de óleo na semente, que é o principal produto na produção de biodiesel.

Os teores de K apresentaram aumento linear nos tecidos da parte aérea, nos tratamentos com torta tratada (Tabela 2). Todavia, na torta *in natura*, observou-se aumento nos teores até a dose de 40 Mg ha⁻¹. A dose de torta *in natura* que promoveu maior incremento de K, na parte aérea das plantas de mamona, equivale a 37,5 Mg ha⁻¹. De acordo com Mengel & Kirkby (2001), este elemento é bastante móvel na planta. Lavres Júnior et al. (2005) constataram que o teor de K diminuiu em todas as partes da planta, com a deficiência deste nutriente no solo.

O teor de C-orgânico residual no substrato, após o cultivo, foi linear e significativo, nos tratamentos com torta *in natura* (Figura 3). A torta tratada apresentou baixa correlação entre doses aplicadas e teor residual do elemento no substrato (terra). A lavagem da torta influenciou na redução do C-orgânico, sendo que, provavelmente, a água usada no processo de lavagem tenha favorecido a ação dos micro-organismos presentes na torta e a retirada do elemento no processo de lavagem. A atividade dos micro-organismos depende da quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo e da disponibilidade de nutrientes (Cleveland et al. 2002, Ilstedt et al. 2007, Gnankambary et al. 2008).

A torta PDS é um resíduo orgânico que apresenta relação C/N de, aproximadamente, 9,6 (baixa relação), portanto, é rapidamente mineralizada pe-

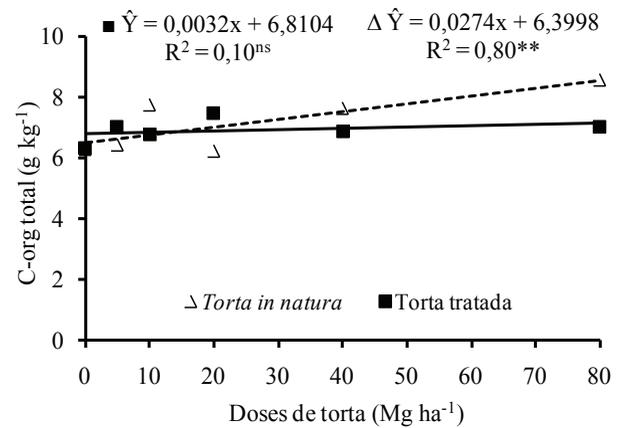


Figura 3. Teor de carbono orgânico total no substrato (solo), após o cultivo da mamona. Médias de três repetições. *, ** e ^{ns}: significativo a 5% e 1%, respectivamente, e não significativo (Seropédica, RJ, 2009).

los micro-organismos, quando adicionada ao solo, considerando-se as condições favoráveis para isto. Além de fornecer nutrientes a curto prazo, poderá, também, favorecer a CTC do solo a longo prazo, dependendo do manejo adotado na área e da quantidade da torta aplicada.

Os teores de P, K, Ca e Mg residuais no solo, com exceção do Ca, foram linearmente crescentes, em função das doses de torta (Tabela 3). Os teores de Mg e P apresentaram maior relação funcional entre as doses de torta aplicadas ao solo, com teores residuais após o cultivo da mamoneira. Os teores residuais de P na torta tratada foram superiores aos da *in natura*, indicando que a lavagem da torta pode ter favorecido a solubilização do elemento. Não houve relação

Tabela 3. Teores trocáveis residuais de Ca, Mg e K e P assimilável do substrato, após o cultivo da mamoneira (Seropédica, RJ, 2009).

Doses	P		K		Ca		Mg	
	g kg ⁻¹							
Mg ha ⁻¹	IN ¹	TT ²	IN	TT	IN	TT	IN	TT
0	2 ³	2	13	13	4,0	4,0	1,6	1,6
5	2	2	12	13	4,0	3,9	1,6	1,6
10	2	3	12	12	4,2	4,1	1,6	1,6
20	3	4	13	13	4,3	4,0	2,1	1,8
40	4	4	13	13	3,8	3,8	1,8	2,0
80	7	11	14	14	4,1	3,9	2,4	2,4
R ²	0,98*	0,92*	0,54*	0,56*	0,02 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,75**	0,98**
Equação IN	$\hat{Y} = 0,065x + 1,6$		$\hat{Y} = 10^{-5}x + 0,03$		$\hat{Y} = 10^{-5}x^2 - 0,02x + 4$		$\hat{Y} = 0,009x + 1,6$	
Equação TT	$\hat{Y} = 0,108x + 1,5$		$\hat{Y} = 10^{-5}x + 0,30$		$\hat{Y} = 10^{-5}x^2 - 0,06x + 4$		$\hat{Y} = 0,001x + 1,5$	
CV%	18,75		5,44		9,28		19,30	

¹ IN = torta *in natura*. ² TT = torta tratada. *, ** e ^{ns}: significativo a 5% e 1%, respectivamente, e não significativo. ³ Médias de três repetições.

significativa entre as variáveis, no que tange aos teores trocáveis de Ca no solo, após o cultivo. Para o maior incremento nos teores de Ca no solo, as doses máximas de torta *in natura* e tratada recomendadas são de 100 Mg ha⁻¹ e 300 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Segundo Dechen & Nachtigall (2007), com relação à nutrição mineral, os elementos essenciais são classificados em macro e micronutrientes, de acordo com as quantidades exigidas pelas plantas. Os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) são exigidos em maior quantidade. Portanto, a torta de mamona PDS, além de fornecer nutrientes às plantas, promoveu efeito residual destes macronutrientes no solo.

Observou-se efeito linear no teor residual de H+Al e nos valores calculados de S, CTC e V% no substrato, após o cultivo das plantas de mamona (Tabela 4). Os três primeiros apresentaram aumento linear, conforme foi aumentado o volume de torta, sendo maior na torta *in natura*. A soma de bases (S) apresentou aumento em razão das doses. Este valor crescente é favorável à melhoria da fertilidade do solo. Em contrapartida, efeito similar foi verificado para a acidez potencial, sendo desfavorável no cultivo das plantas.

A saturação por bases (V%) apresentou resposta linear decrescente, no tratamento com torta *in natura*, e quadrático decrescente, para a torta tratada. Portanto, onde foi adicionada maior quantidade de torta PDS, observou-se maior valor de H+Al residual e menor valor da soma de bases trocáveis, nas tortas *in natura* e tratada. Este efeito reflete diretamente na saturação por bases, que é a relação percentual entre

a soma de bases e a CTC efetiva. As plantas de mamona extraíram mais nutrientes de onde havia maior disponibilidade destes, ou seja, nas maiores doses de torta aplicadas. A dose máxima de torta tratada que promoveu maior saturação de bases no solo, após o cultivo da mamoneira, equivale a 50 Mg ha⁻¹.

Observou-se resposta linear para os teores residuais de Na no solo, após o cultivo da mamona (Figura 4), bem como para os valores de relação de adsorção de sódio (RAS) (Figura 5) e percentagem de sódio trocável (PST) (Figura 6). Os tratamentos com torta *in natura* foram superiores para as três variáveis. Com isto, à medida que aumentaram as doses de torta, maior foi o efeito residual de sódio no solo, apesar de baixo.

A presença de Na em solos tropicais e em locais de elevada precipitação é, normalmente, muito

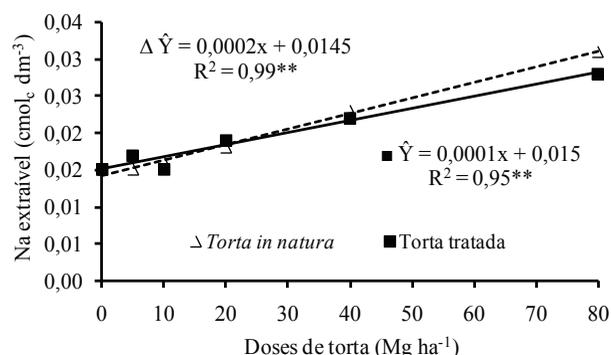


Figura 4. Teor de Na extraível do solo, após o cultivo da mamoneira. Médias de três repetições. * e **: significativo a 5% e 1%, respectivamente (Seropédica, RJ, 2009).

Tabela 4. Valores de acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) do substrato, após o cultivo da mamoneira (Seropédica, RJ, 2009).

Doses Mg ha ⁻¹	H+Al		S ⁴		CTC ⁵		V ⁶	
	cmol _c dm ⁻³							
	IN ¹	TT ²	IN	TT	IN	TT	IN	TT
0	0,08 ³	0,08	98,51	98,51	5,73	5,73	98,51	98,51
5	0,16	0,16	97,15	97,14	5,88	5,87	97,15	97,14
10	0,11	0,27	98,16	95,40	6,02	6,01	98,16	95,40
20	0,33	0,55	94,81	91,58	6,88	6,47	94,81	91,58
40	0,38	0,38	93,73	93,90	6,14	6,31	93,73	93,90
80	0,71	0,55	89,88	92,10	7,28	6,95	89,88	92,10
R ²	0,95 ^{ns}	0,56 ^{**}	0,66 ^{**}	0,85 [*]	0,66 ^{**}	0,86 [*]	0,94 ^{**}	0,71 [*]
Equação IN	$\hat{Y} = 0,007x + 0,09$		$\hat{Y} = 0,016x + 5,8$		$\hat{Y} = 0,016x + 5,8$		$\hat{Y} = -0,11x + 98$	
Equação TT	$\hat{Y} = 0,005x + 0,20$		$\hat{Y} = 0,013x + 5,8$		$\hat{Y} = 0,014x + 5,8$		$\hat{Y} = 0,002x^2 - 0,2x + 98$	
CV%	30,46		10,01		9,13		2,19	

¹ IN = torta *in natura*. ² TT = torta tratada. ³ Médias de três repetições. ⁴ Soma de bases. ⁵ Capacidade de troca de cátions efetiva. ⁶ Saturação por bases. *, ** e ns: significativo a 5% e 1%, respectivamente, e não significativo.

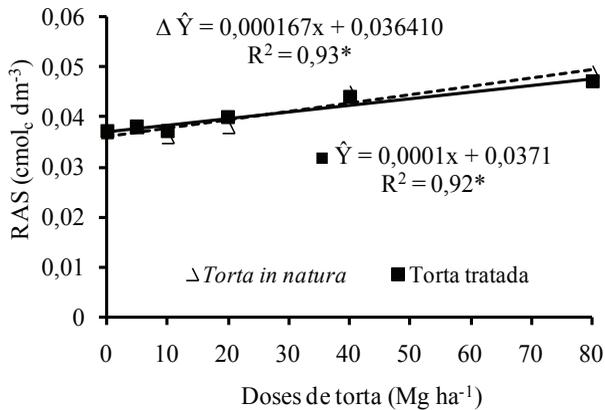


Figura 5. Relação de adsorção de sódio (RAS) no solo, após o cultivo das plantas de mamona. Médias de três repetições. * e **: significativo a 5% e 1%, respectivamente (Seropédica, RJ, 2009).

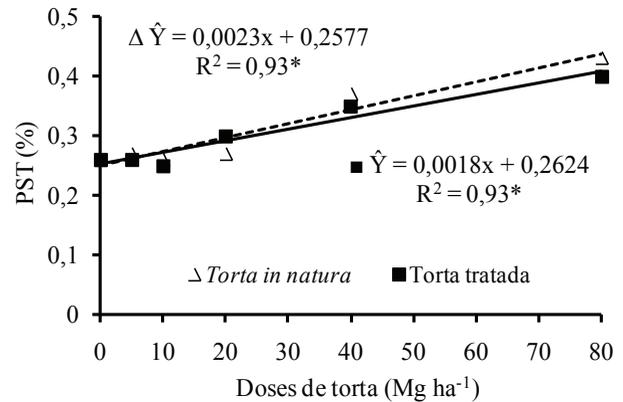


Figura 6. Percentagem de saturação total por sódio (PST) no solo, após o cultivo da mamona. Médias de três repetições. * e **: significativo a 5% e 1%, respectivamente (Seropédica, RJ, 2009).

baixa, não constituindo problemas para a agricultura. Contudo, em regiões áridas e semiáridas (como a Chapada do Apodi), o Na pode contribuir com 25% (ou mais) do total de cátions trocáveis e, sob estas condições, as plantas cultivadas poderão apresentar problemas, devido ao excesso deste elemento.

O excesso de sais de sódio pode afetar as propriedades físicas e químicas do solo, pois aumenta a espessura da dupla camada difusa, proporcionando a dispersão de argilas e, conseqüentemente, reduzindo a porosidade e a permeabilidade do solo (Korndörfer 2006). Apesar dos baixos teores de Na residual no solo, após o cultivo, é necessário monitoramento das áreas, por cultivos sucessivos, para maior segurança no uso da torta, principalmente em áreas com baixa precipitação, como o semiárido.

O tratamento da torta de mamona com água promoveu redução nos teores de Na advindos do catalisador usado nas reações químicas de transesterificação. O uso da torta, em ambiente naturalmente salino (Chapada do Apodi) e com reduzido regime de chuvas, ao longo do ano, pode ser um problema. De acordo com os resultados obtidos, os teores de Na não foram nocivos às plantas de mamona, a curto prazo. Todavia, este resíduo pode ser utilizado com maior segurança em outros ambientes, como fornecedor de nutrientes e, também, condicionador de solo.

É justificável o uso da torta, por se tratar de material com características benéficas ao solo e à nutrição das plantas, porém, faz-se necessário estudo mais detalhado, a longo prazo, em culturas exploradas economicamente e, também, sobre o efeito residual

provocado pelo Na no solo. De acordo com os resultados, no geral, pode-se fazer uso da torta *in natura*, sem a necessidade de lavagem para redução dos teores de Na, sob as condições experimentais avaliadas.

CONCLUSÕES

1. A torta de mamona PDS apresentou grande potencial de uso na agricultura, como fornecedora de nutrientes.
2. O teor de sódio, na torta, não provocou efeitos deletérios nas plantas de mamona.
3. Sob as condições avaliadas, constatou-se que a torta pode ser utilizada *in natura*, sem a necessidade de tratamento para reduzir os teores de sódio.
4. O teor de nutrientes nos tecidos vegetais e no solo foi diretamente proporcional ao volume de torta aplicado.
5. De modo geral, a dose máxima equivalente a 80 Mg ha⁻¹ foi a mais indicada para disponibilização de nutrientes ao solo.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa; à Petrobras, pelos recursos financeiros e físicos; e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Apoio à Pesquisa da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (Fapur) e Programa de Pós-graduação em Agronomia e Ciências do Solo (CPGA-Solos).

REFERÊNCIAS

- CLEVELAND, C.; TOWNSEND, A. R.; SCHMIDT, S. K. Phosphorus limitation of microbial processes in moist tropical forest: evidence from short-term laboratory incubations and field studies. *Ecosystems*, New York, v. 5, n. 7, p.680-691, 2002.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 92-129.
- DENUCCI, S. *Catisol 1: óleo biocombustível ecológico*. 2007. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/novocati/tecnologias/producaoagricola/oleobiocombustivel>>. Acesso em: 21 jun. 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa do Algodão. *Produtos: mamona*. 2004. Disponível em: <<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/index.html>>. Acesso em: 12 fev. 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF: SPI/CNPS, 2006.
- ÉPOCA. Época em debate: biocombustíveis. *Época*, Rio de Janeiro, n. 526, ed. especial, p. 68-82, jun. 2008.
- FREITAS, F. C. *Uso de resíduo orgânico da produção direta de biodiesel na atenuação dos efeitos de hidrocarbonetos de petróleo no solo*. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)–Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.
- GNANKAMBARY, Z. et al. Nitrogen and phosphorus limitation of soil microbial respiration in two tropical agroforestry parklands in the south-Sudanese zone of Burkina Faso: the effects of canopy and fertilization. *Soil Biology & Biochemistry*, London, v. 40, n. 2, p. 350-359, 2008.
- ILSTEDT, U.; SINGH, S.; NORDGREN, A. Using perlite as a substrate carrier for measuring microbial available phosphorus by respiration kinetics in soils. *Biology and Fertility of Soils*, Düsseldorf, v. 43, n. 5, p. 503-510, 2007.
- KORNDÖRFER, G. H. Elementos benéficos: silício, sódio e cobalto. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 355-374.
- KRAXNER, F.; NILSSON, S.; OBSTEINER, M. Negative emissions from bioenergy use, carbon capture and sequestration (BECS): the case of biomass production by sustainable forest mangement from semi-natural temperate forests. *Biomass and Bioenergy*, Ohio, v. 24, n. 4, p. 285-296, 2003.
- LAVRES JÚNIOR, J. et al. Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Íris. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 40, n. 2, p. 145-151, 2005.
- LIMA, R. L. S. et al. Casca e torta de mamona avaliados em vasos como fertilizantes orgânicos. *Caatinga*, Mossoró, v. 21, n. 5, p. 102-106, 2008.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. *Principles of plant nutrition*. 5. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- MEURER, E. J. *Fundamentos da química do solo*. 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006.
- NASCIMENTO, J. J. V. R. et al. Efeito da torta de mamona sobre o crescimento da mamoneira BRS 149. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3., 2008, Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. p. 1-5.
- SANTOS, R. F. et al. Análise econômica. In: AZEVEDO, D. M.; LIMA, E. F. (Eds.). *O agronegócio da mamona no Brasil*. Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 17-35.
- SAVY FILHO, A. *Mamona: tecnologia agrícola*. Campinas: Emopi, 2005.
- SEVERINO, L. S. *O que sabemos sobre a torta de mamona*. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. (Documentos, 134).
- SEVERINO, L. S. et al. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 41, n. 5, p. 563-568, 2006.
- SEVERINO, L. S. et al. *Fatores de conversão do peso de cachos e frutos para peso de sementes de mamona*. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 56).
- TEDESCO, M. J. et al. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. (Boletim técnico, 5).
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). *SAEG 9.1: sistema de análise estatística*. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 2007.