

## POTENCIAL DO USO DE RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE BATATA-DOCE COMO CONDICIONANTE DA FERTILIDADE DO SOLO DO CERRADO

Nayara Monteiro Rodrigues<sup>1</sup>, Flávia Lucila Tonani<sup>2</sup>, Expedito Alves Cardoso<sup>3</sup>, Guilherme Benko de Siqueira<sup>4</sup>

### RESUMO:

A produção de etanol a partir da batata-doce gera uma grande quantidade de resíduos. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial do resíduo da produção de etanol da batata-doce como condicionador da fertilidade do solo do cerrado. O experimento foi conduzido em condições de campo, em área experimental de 600 m<sup>2</sup>, a qual, após o preparo convencional do solo, recebeu o plantio da cultura da batata-doce (cultivar Bárbara). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com parcelas sub-subdivididas com quatro repetições. O resíduo de batata-doce foi utilizado no lugar do adubo mineral, tendo como referência o K<sup>+</sup>. A adubação mineral foi de 90 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, utilizando KCl como fonte de potássio. As dosagens de substituições da adubação mineral pela orgânica foram: adubo 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de adubo orgânico. Amostras de solo, para avaliação de época, foram coletadas em duas épocas. A primeira coleta foi durante o cultivo e a segunda coleta após a colheita da batata-doce. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm. Os resultados mostraram que a adubação orgânica apresentou poucas vantagens em relação ao adubo mineral do solo (dose de 0% de adubo orgânico), sendo necessário um maior tempo de uso do solo para avaliar o efeito da adubação orgânica. O resíduo da produção de etanol de batata-doce como fonte de adubação orgânica é uma alternativa complementar na melhoria da fertilidade do solo.

**Palavras-chaves:** adubação complementar, adubação orgânica, fertilidade do solo

## POTENTIAL OF THE RESIDUE FROM ETHANOL PRODUCTION OF SWEET POTATOES AS CONDITIONING OF FERTILITY OF CERRADO SOIL

### ABSTRACT:

The production of ethanol from sweet potatoes generates a large amount of waste. In this sense, this study aimed to evaluate the potential of the residue of sweet potato ethanol production as a conditioner of soil fertility in the cerrado. The experiment was conducted under field conditions, the experiment area was 600 m<sup>2</sup>, after conventional soil tillage, the sweet potato crop (cultivar Bárbara) was planted. The experimental design was in randomized blocks with split-plots with four replications. Sweet potato residue was used instead of mineral fertilizer, using K<sup>+</sup> as a reference. The mineral fertilization was 90 kg of K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, using KCl as a source of potassium. The dosages of substitution of mineral fertilizer for organic fertilization were: 100% mineral fertilizer, 25% organic fertilizer, 50% organic fertilizer, 75% organic fertilizer and 100% organic fertilizer. Soil samples were collected in two seasons for evaluation of the season. The first harvest was during cultivation and the second harvest after the sweet potato harvest. The samples were collected at depths of 20 and 40 cm. The results showed that organic fertilization presented few advantages in relation to soil mineral fertilizer, and a longer time of soil use is necessary to evaluate the effect of organic fertilization. The residue from the production of ethanol from sweet potatoes as a source of organic fertilization is a complementary alternative to improve soil fertility.

<sup>1</sup>Mestra em Agroenergia pela Universidade Federal do Tocantins, Palmas - TO, [nayara.nmr@hotmail.com](mailto:nayara.nmr@hotmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3344-3863>. <sup>2</sup>Doutora em Zootecnia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo - SP, [flaviatonani@mail.uft.edu.br](mailto:flaviatonani@mail.uft.edu.br), <https://orcid.org/0000-0001-6598-5582>. <sup>3</sup>Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG, [expedito.ac@gmail.com](mailto:expedito.ac@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0000-6794-7678>. <sup>4</sup>Pós-doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, [guibenko@gmail.com](mailto:guibenko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0572-2788>.

**Keywords:** complementary fertilizer, organic fertilization, soil fertility

## INTRODUÇÃO

Uma das principais limitações dos solos do cerrado brasileiro é a condição de baixa fertilidade natural. Estes solos possuem alta saturação por alumínio, baixa CTC, predomínio de óxidos de ferro e de alumínio e elevada adsorção de fósforo, de forma que as reservas deste nutriente não sustentam cultivos sucessivos sem adubações (Watanabe et al., 2005).

Diante da busca pela produção de alimentos saudáveis, aliada a preservação ambiental e a sustentabilidade da agricultura, têm surgido a necessidade de formas alternativas de adubação em substituição ao uso abusivo de agroquímicos (Stangarlin et al., 1999).

Enquanto isso, as atividades agroindustriais são responsáveis pela geração de grandes quantidades de resíduos. A produção de etanol, embora seja considerada uma energia limpa, gera subprodutos altamente poluidores, caso não sejam aplicadas medidas de tratamento ou aproveitamento (Menezes, 1980).

Recentemente, outras fontes de biocombustíveis têm sido incorporadas a matriz energética, tais como: batata-doce, soja, dendê, sorgo, milho, dentre outras. Estes, por sua vez, geram resíduos de diferentes formas e composições químicas com potencial aplicação como biofertilizantes.

O aproveitamento de resíduos agroindustriais advindo do processamento de matérias primas de maior valor agregado tornou-se um gargalo em cadeias pouco produtivas. A destinação incorreta desses resíduos representa perda de nutrientes, aumento do potencial poluidor do solo, dos corpos hídricos e lixiviação de compostos (Rosa et al., 2011). Para Laufenberg et al. (2003), os resíduos podem conter muitas substâncias de alto valor.

De acordo com Siqueira et al. (2015), a composição química dos resíduos da produção de etanol de batata-doce apresenta valores consideráveis de macronutrientes como nitrogênio, fósforo e principalmente potássio na sua matéria seca. Estes nutrientes são os mais exigidos pelas plantas, especialmente o nitrogênio e o potássio. Além disso, os resíduos podem servir como fonte de matéria orgânica.

Diante da necessidade de reduzir os passivos ambientais da produção do etanol da batata-doce, a utilização destes resíduos como adubo orgânico torna-se uma alternativa para melhoria das

propriedades de solo. Dito de outro modo, estes resíduos podem contribuir para o alcance de padrões de fertilidade compatíveis com as necessidades das plantas a serem cultivadas. Assim, objetivou-se, avaliar as propriedades químicas do solo: Fósforo (P), Potássio  $K^+$ , Cálcio ( $Ca^{2+}$ ), Magnésio ( $Mg^{2+}$ ), Alumínio ( $Al^{3+}$ ), Hidrogênio + Alumínio ( $H^+ + Al^{3+}$ ) e Matéria Orgânica do Solo (MOS), após a utilização do resíduo da produção de etanol de batata-doce.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins – Campus de Palmas, na coordenada geográfica:  $10^{\circ}10'40''S$  e  $48^{\circ}21'43''W$ , durante o período de maio de 2015 a junho de 2016.

A análise química das amostras de solo, coletadas em 0-20, 20-40 cm de profundidade, revelou os seguintes valores:  $67,00 \text{ mg dm}^{-3}$  e  $42,00 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $K^+$ ;  $280,00$  e  $31,70 \text{ mg dm}^{-3}$  de P;  $0,90$  e  $0,30 \text{ g kg}$  de MOS;  $3,40$  e  $0,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $Ca^{2+}$ ;  $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $Mg^{2+}$  respectivamente. A partir da análise de solo não foi necessário realizar a calagem e a adução com fósforo anterior ao plantio.

A adubação mineral obedeceu à dosagem de  $90 \text{ kg de } K_2O \text{ ha}^{-1}$ , sendo utilizado como fonte de potássio o KCl. A partir desta dosagem foram feitas substituições da adubação mineral pela orgânica (0, 25, 50, 75 e 100%), identificados como: 0% = 100% adubo mineral, 25% = 25% adubo orgânico + 75% adubo mineral, 50% = 50% adubo orgânico + 50% adubo mineral, 75% = 75% de adubo orgânico + 25% adubo mineral e 100% = 100% de adubo orgânico, respectivamente. Utilizou-se o resíduo de batata-doce, tendo o K como referência, pois é um dos nutrientes encontrado em maiores concentrações no resíduo e um dos mais exigidos pela cultura de batata-doce.

O resíduo da produção de etanol batata-doce (RBD) foi obtido da Mini Usina de Etanol de Batata Doce instalada na Universidade do Tocantins em Palmas – TO. A análise do resíduo da batata-doce (RBD) revelou a seguinte composição química: 2,23% de teor de matéria seca (MS) e 4,47% de teor de potássio na matéria seca (MS). A partir destes dados foram calculadas as doses de adubação química e orgânica utilizadas. As doses aplicadas por linhas foram: 0% = 122 g de KCl, 25% = 92 g de KCl e 19 L de RBD, 50% = 61 g de KCl e 37 L de RBD, 75% = 31 g de KCl e 55 L de RBD e 100% = 73 L de RBD.

Após o preparo convencional do solo, foi realizado o plantio da cultivar de batata-doce (Bárbara), produto do melhoramento genético feito por Silveira et al. (2007). O plantio foi feito em leiras de 0,90 m de largura, 0,40 m de espaçamento entre leiras e 0,30 m de altura. A área do experimento foi de 30 x 20 m, totalizando 600 m<sup>2</sup>.

A adubação química com potássio e orgânica com RBD foi aplicada em duas parcelas, uma aos 40 dias e outra aos 55 dias após o plantio. Aos 40 dias após o plantio também foi realizada a adubação nitrogenada, utilizando 60 kg de N ha<sup>-1</sup>, sendo a ureia a fonte de nitrogênio utilizada.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema de parcelas sub-subdivididas (época, níveis de adubação orgânica e profundidade de amostragem do solo) com quatro repetições.

As amostras de solos, para avaliação de época, foram coletadas em dois períodos. A primeira coleta foi durante o cultivo da batata-doce (DC) e a segunda após colheita da batata-doce (AC). Para avaliação dos parâmetros do solo em profundidade, foram retiradas amostras compostas com profundidade de 20 e 40 cm, com o auxílio de trado holandês. Cada parcela experimental ocupou uma área de 5,4 x 2,7 m (14,58 m<sup>2</sup>) composta de quatro linhas de plantio. Após a coleta, as amostras de solo foram analisadas conforme metodologia proposta pela EMBRAPA (1997) e Mendonça & Matos (2005), no Laboratório de Solos do Complexo de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Tocantins (UNITINS) em Palmas - TO.

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, os quais, posteriormente, foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Na sequência, as médias dos tratamentos foram comparadas entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Os procedimentos estatísticos foram realizados através do programa estatístico "ASSISTAT" 7.7 conforme Silva & Azevedo, (2016).

Além dos procedimentos estatísticos descritos para o ensaio em parcela sub-subdivididas, buscou-se avaliar também o efeito da adubação 100% orgânica em relação ao solo sem adubação coletado antes do ensaio experimental. Para tanto, procedeu-se a comparação entre médias foi realizada entre cada tratamento utilizando o teste t de Student unilateral

para valores independentes a 5% de significância. Os procedimentos estatísticos destas comparações foram realizados através do programa estatístico BIOESTAT 5.3, conforme Ayres et al. (2007).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo revelou que houve interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre níveis de substituição da adubação mineral pela adubação orgânica e época para os seguintes parâmetros: soma de bases (SB), saturação por bases (V%), capacidade de troca catiônica (CTC), P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>. A adubação orgânica durante o cultivo foi semelhante para os teores de P e Al<sup>3+</sup> com média de 65,8 e 0,02 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente. E aumentou, em média 52% o teor de K<sup>+</sup>, quando comparado a adubação mineral exclusiva (tratamento 0%) (Tabela 1).

A disponibilização do P orgânico depende da mineralização da matéria orgânica que por sua vez é favorecida em pH neutro. A presença de matéria orgânica pode influenciar indiretamente a disponibilidade de P, seja pela complexação dos íons de Fe<sup>+3</sup> e Al<sup>3+</sup> ou pela liberação dos ácidos orgânicos que aumentam a solubilidade do fosfato de cálcio. (Siqueira et al., 2015). Neste estudo o pH pode ter contribuído para acelerar a decomposição da MOS, devido a um aumento no teor de 15 e 21% durante e após o cultivo da batata doce, respectivamente, comparando a dose de 100% de adubação orgânica para a dose de 0% (Tabela 2). O que pode ter favorecido a disponibilização de P orgânico.

Em relação a época de avaliação nos diferentes níveis de adubação orgânica nota-se que para o P houve diminuição de 21% até a dose de 50% de adubo orgânico, comparado com a avaliação após a colheita da batata doce (Tabela 1). Já para o Ca<sup>2+</sup> as concentrações durante o cultivo foi 81% menor durante o cultivo, comparado após a colheita da batata doce (Tabela 1).

Segundo Troeh & Thompson, (2007) durante as primeiras semanas após a adição de resíduos frescos ao solo, o P disponibilizado é imobilizado por microrganismos ou pode ser fixado aos óxidos de Fe<sup>+3</sup> e Al<sup>3+</sup> e voltam a ser disponibilizados dentro de meses ou anos. Segundo Rolim Neto et al. (2004), o teor de P é inferior a 0,2 mg dm<sup>-3</sup> na maioria dos solos tropicais. Para Ribas (2010), o teor médio de Ca<sup>2+</sup> em solos tropicais é menor que 4,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

**Tabela 1.** Valores de P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> em solos recebendo níveis crescentes de adubação orgânica em substituição a adubação mineral, durante o cultivo (DC) e após a colheita da batata doce (AC)

Nutriente	Época	Médias das interações - época x níveis Níveis de adubação orgânica (%)				
		0	25	50	75	100
-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						
P	DC	67,03 bA	66,99 bA	65,98 bA	62,12 aA	67,16 Aa
	AC	93,85 aB	95,51 aA	93,14 aA	57,47 aB	66,31 aB
K <sup>+</sup>	DC	55,42 aB	77,40 bA	65,70 aA	44,62 aB	84,64 aA
	AC	72,81 aB	112,42 aA	87,83 aB	50,80 aC	53,71 aC
Ca <sup>2+</sup>	DC	4,95 bA	4,50 bB	4,03 bB	3,66 bB	5,75 bB
	AC	10,16 aA	8,85 aB	8,91 aB	6,83 aC	6,83 aC
Al <sup>3+</sup>	DC	0,02 aA	0,02 aA	0,01 bA	0,02 aA	0,02 aA
	AC	0,02 aB	0,01 bB	0,03 aA	0,01 aB	0,02 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas (compara época de colheita) e maiúsculas nas linhas (compara doses), não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Obs.: CV(%): P - 8,45 níveis de adubação e 13,31 épocas; K<sup>+</sup> - 7,32 níveis de adubação e 9,89 épocas; Ca<sup>2+</sup> - 14,5 níveis de adubação e 15,18 épocas; Al<sup>3+</sup> 23,14 níveis de adubação e 19,94 épocas.

Magalhães (2010), avaliou a influência da vinhaça nos atributos químicos do solo e observou que houve um acréscimo nos teores de P à medida que aumentaram as doses. Para ele, compostos orgânicos com cargas negativas presentes na vinhaça contribuíram previamente para uma neutralização de parte das cargas positivas do solo, potencializando o efeito do P.

Diversos trabalhos têm citado a eficiência dos compostos orgânicos no fornecimento de fósforo ao solo, com relação direta entre a dose e o teor disponibilizado (Almeida, 1991; Yagi et al., 2003; Laboski & Lamb, 2003). A utilização de matéria orgânica em solos tropicais é importante no que se refere ao fósforo, pois esses solos geralmente apresentam acentuada deficiência deste nutriente, não sendo raras as citações onde ele aparece como maior limitante da produtividade (Siqueira et al., 2015).

A aplicação de fosfatos junto com substratos orgânicos tem evidenciado o aumento da disponibilidade de P para a planta (Bolan et al., 1994). Porém, o efeito da adição de resíduos orgânicos sobre a retenção e disponibilidade de fósforo no solo depende da concentração de fósforo do resíduo.

Quanto ao K<sup>+</sup> e o Al<sup>3+</sup> houve interação (P<0,05), antes e após a colheita. As concentrações de K<sup>+</sup> médias obtidas foram de 65,53 mg dm<sup>-3</sup> durante o cultivo e 75,51 mg dm<sup>-3</sup> após o cultivo (Tabela 1). Um dos grandes problemas relacionados ao uso da vinhaça que possui composição semelhante ao RBD é o aumento dos teores de K<sup>+</sup> e o efeito residual deixado no solo após anos de uso (Siqueira et al., 2015). Neste trabalho, em apenas um cultivo, não se

verificou aumento do teor de K<sup>+</sup> no solo com o uso de adubação orgânica. Após a colheita houve redução de 35% nos teores de K<sup>+</sup> no solo, com o aumento dos níveis de adubação orgânica (Tabela 1).

Os valores de K<sup>+</sup> em profundidades não houve interação (P>0,05), apresentou valores médios 70,87 e 70,20 mg dm<sup>-3</sup> (dados não apresentados). Não houve perdas de K<sup>+</sup> por lixiviação, o que pode ser justificado pela CTC dos solos, que varia em função do teor de matéria orgânica, do tipo e da quantidade de argila e do pH do solo, principal componente que determina a maior ou menor relação K<sup>+</sup> trocável/K<sup>+</sup> da solução (Mielniczuk, 1982).

As concentrações de Al<sup>3+</sup> após a colheita sofreu variação aleatória embora o pH após a colheita permaneceu ligeiramente básico (Tabela 1). Segundo Silva & Ribeiro (1998), o pH dos solos tratados com vinhaça aumenta principalmente em áreas cultivadas há mais tempo, podendo alcançar valores superiores a sete. Em trabalho realizado por Brito et al. (2009), em que avaliou o comportamento de diferentes classes de solos antes e após a aplicação de vinhaça, em ambiente sob condições controladas indicaram que a aplicação de vinhaça, além de elevar o pH do solo, também aumentou a concentração de K<sup>+</sup>.

Silva (2013), avaliou o efeito da vinhaça na nutrição orgânica da batata-doce, e o seu comportamento no solo antes e depois do plantio. Observou que o potássio apresentou uma redução de 105,69 mg dm<sup>-3</sup>, o que pode ser entendido que a cultura absorveu esta quantidade de nutriente, ou este foi lixiviado.

Os dados da Tabela 2 permitem identificar que durante o cultivo, a SB e a CTC obtiveram uma média de 6,84 e 8,66  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente, com adubação 0% e 100% orgânica, os demais níveis não diferiram entre si ( $P>0,05$ ). Troeh & Thompson (2007), explicam que a decomposição da matéria orgânica no solo resulta na formação de ácidos orgânicos, os quais podem provocar aumento na CTC, mas pode haver redução da soma de bases e do pH, pois as bases geradas podem não ser suficientes para evitar estas reduções.

Neste trabalho, percebe-se uma redução de 29% e 19% da SB e CTC, respectivamente, durante o cultivo, nas doses de 0 a 75% do adubo orgânico, comparado a dose de 100% de adubo orgânico. É importante lembrar que o resíduo da batata-doce utilizado como fonte de adubação orgânica é muito líquido (4% de MS) e sendo assim tende a segregar com facilidade podendo não apresentar composição muito uniforme e causar variação nas respostas (Siqueira et al., 2015).

**Tabela 2.** Valores de matéria orgânica do solo (MOS), soma de bases (SB), saturação de bases (V%) e capacidade de troca catiônica (CTC) em solos recebendo níveis crescentes de adubação orgânica em substituição a adubação mineral, durante o cultivo (DC) e após a colheita da batata doce (AC)

Parâmetro	Época	Média das interações - época x níveis				
		Níveis de adubação orgânica (%)				
		0	25	50	75	100
MOS	DC	3,19 aB	3,12 aB	3,20 bB	3,40 aB	3,74 aA
	AC	2,88 aB	2,73 aB	3,63 aA	3,34 aA	3,25 bA
SB	DC	6,36 bA	5,89 bB	5,38 bB	4,90 bB	7,32 aA
	AC	12,11 aA	10,80 aB	10,84 aB	8,49 aC	7,89 aC
V%	DC	75,04 bB	75,17 bB	72,11 bC	69,92 bC	81,14 bC
	AC	88,81 aA	87,78 aA	86,13 aA	81,85 aB	79,90 aB
CTC	DC	8,32 bA	7,80 bB	7,27 bB	6,81 bB	9,00 aA
	AC	13,65 aA	12,31 aA	12,54 aA	10,23 aB	9,70 aB

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas (compara época de colheita) e maiúsculas nas linhas (compara doses), não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Obs.: CV(%): MOS - 12,33 níveis de adubação e 11,54 épocas; SB - 14,16 níveis de adubação e 15,10 épocas; V% - 1,05 níveis de adubação e 4,85 épocas; CTC - 13,28 níveis de adubação e 10,10 épocas.

Ao se comparar o efeito da época, verificou-se que a SB, V% e CTC, foram maiores após a colheita independentemente do nível de inclusão de adubação orgânica e as médias obtidas foram: 5,97 e 10,02  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , 74,73 e 84,89%, 7,84 e 11,68  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  durante o cultivo e após a colheita, respectivamente (Tabela 2). Estes dados permitem afirmar que após a colheita o solo tende a aumentar sua fertilidade, independentemente da adubação utilizada e isto pode ser em consequência da ação residual da adubação cultural que fica após a colheita e que melhora as propriedades químicas do solo. Nestas condições o solo é considerado eutrófico e com CTC média/alta.

Rodolfo Júnior, (2007), notou diminuição na SB com a adição de biofertilizante concluindo que este fato pode ser reflexo de reações de antagonismo entre elementos como:  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  que possuem incompatibilidade com  $\text{Mg}^{2+}$ , reduzindo sua disponibilidade no solo.

Com relação a MOS, os dados da Tabela 2 mostram que só houve um aumento de 15% e 21%, no teor de MOS a partir da dose de 75% de adubação orgânica, durante o cultivo, e a partir de 50%, após a colheita ( $P<0,05$ ). Durante o cultivo e após a colheita os teores de matéria orgânica não diferiram ( $P>0,05$ ). Assim, confirma-se que a adubação orgânica aumenta o teor de MOS melhorando as características químicas, físicas e biológicas do solo.

A interação entre época e profundidade ( $P<0,05$ ) ocorreu para os parâmetros de V%, m% e P conforme demonstrado na Tabela 3. A V% foi em média 9% maior na camada 0-20 cm do solo, comparado a camada 20-40 cm, tanto durante o cultivo como após a colheita e ( $P<0,05$ ).

Em relação a m% na camada 20-40 cm, foi 83% maior, comparado a camada 0-20 cm ( $P<0,05$ ). A redução do teor  $\text{Al}^{3+}$  na camada 0-20 cm, conseqüentemente, da saturação por alumínio ocorre, principalmente, devido à precipitação do  $\text{Al}^{3+}$  na

forma de Al (OH)<sub>3</sub> (Kinraid, 1991; Sousa, et al., 2007) (Tabela 3).

Os níveis de P na camada de 0-20 cm foi 700% maior (P<0,05), comparado a camada 20-40 cm, durante o cultivo e após a colheita essa diferença foi de 92% (Tabela 4). Segundo Novais et al. (2007),

a retenção do P adicionado ao solo ocorre pela precipitação deste elemento em solução com formas iônicas de Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup> e Ca<sup>2+</sup>, e de maneira mais significativa pela sua adsorção pelos hidróxidos de Fe<sup>3+</sup> e de Al<sup>3+</sup>, presentes em maiores quantidades nos solos tropicais mais intemperizados.

**Tabela 3.** Saturação de bases (V%), Saturação de alumínio (m%) e teor de Fósforo (P) em solos recebendo níveis crescentes de adubação orgânica em substituição a adubação mineral, durante o cultivo (DC) e após a colheita da batata doce (AC) nas profundidades de 20 e 40 cm.

Parâmetro	Época	Profundidade (cm)	
		20	40
V%	DC	79,52 bA	69,78 bB
	AC	87,40 aA	82,39 aB
m%	DC	0,28 aB	0,56 aA
	AC	0,19 bB	0,30 aA
P (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	DC	117,18 aA	14,53 bB
	AC	106,90 bA	55,61 aB

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas (compara época de colheita) e maiúsculas nas linhas (compara doses), não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Obs.: CV(%): V% – 1,58 profundidade e 4,85 épocas; m% - 23,43 profundidade e 26,01 épocas; P - 9,49 profundidade e 13,31 épocas.

Quando se avaliou a interação entre níveis de adubação orgânica e profundidade (Tabela 4) verificou-se que para todos os níveis de adubação orgânica a saturação de bases (V%) foi maior (P<0,05) na camada superior e não diferiu (P>0,05)

entre níveis, com média de 83,48% para 20 cm e 76,08% para 40 cm. Com exceção dos níveis de 50 e 75 % de adubação orgânica, que foram menores, os demais níveis foram semelhantes entre si (P>0,05).

**Tabela 4.** Saturação de bases (V%) e teor de Fósforo (P) em solos recebendo níveis crescentes de adubação orgânica em substituição a adubação mineral, nas profundidades de 20 e 40 cm

Parâmetro	Níveis adubação orgânica (%)	Profundidade	
		0-20 cm	20-40cm
V%	0	82,80 aA	81,05 aA
	25	84,43 aA	78,51 aB
	50	83,83 aA	74,41 bB
	75	82,48 aA	69,29 bB
	100	83,88 aA	77,16 aB
P (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0	110,08 aA	50,80 aB
	25	113,71 aA	49,33 aB
	50	114,30 aA	44,82 aB
	75	105,25 aA	14,34 bB
	100	117,40 aA	16,06 bB

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas (compara época de colheita) e maiúsculas nas linhas (compara doses), não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Obs.: CV(%): V% – 1,58 profundidade e 1,05 níveis; P - 9,49 profundidade e 8,45 níveis.

A concentração de P na profundidade de 20 cm foi maior (P<0,05) em todos os níveis de adubação orgânica (média de 115,14 mg dm<sup>-3</sup>), comparado aqueles valores obtidos na profundidade

de 40 cm (média de 35,07 mg dm<sup>-3</sup>). Nos níveis mais altos de adubação orgânica (75 e 100%), na profundidade de 40 cm houve menor (P<0,05)

concentração de P em relação aos demais tratamentos.

Quando se comparou o efeito da adubação orgânica exclusiva e sem adubação, as análises estatísticas dos dados acusaram interação ( $P < 0,05$ ) entre adubação, época e profundidade para os

parâmetros químicos do solo. De acordo com os dados da Tabela 5, verifica-se que a acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ) e a saturação por bases (V%) não foram alteradas pelos fatores controlados (adubação, época e profundidade).

**Tabela 5.** Valores de pH H<sub>2</sub>O, H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>, SB, V%, CTC, m% em solos recebendo adubação 100% orgânica e sem adubação, durante o cultivo (DC) e após a colheita (AC) da batata-doce, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm

Parâmetro	Época	Profundidade (cm)	Adubação		CV %
			100% orgânica	Sem adubação	
pH H <sub>2</sub> O	DC	0-20	6,73 A	6,30 B	3,77
		20-40	6,68 A	6,08 B	5,77
	AC	0-20	6,66 A	6,30 B	3,91
		20-40	6,50 A	6,08 B	6,08
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	DC	0-20	1,87 A	2,12 A	29,71
		20-40	1,49 A	2,11 A	25,96
	AC	0-20	1,73 A	2,12 A	23,35
		20-40	1,89 A	2,11 A	17,18
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	DC	0-20	8,75 B	13,84 A	12,62
		20-40	5,89 B	9,15 A	29,31
	AC	0-20	10,06 B	13,84 A	18,04
		20-40	5,72 B	9,15 A	29,31
V%	DC	0-20	83,63 A	86,27 A	5,98
		20-40	34,88 A	80,10 A	9,50
	AC	0-20	85,13 A	86,27 A	4,99
		20-40	74,68 A	80,10 A	8,90
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	DC	0-20	10,62 B	15,96 A	10,35
		20-40	7,39 B	11,26 A	21,32
	AC	0-20	11,80 B	15,96 A	14,32
		20-40	7,61 B	11,26 A	20,95
m%	DC	0-20	0,25 B	0,54 A	32,78
		20-40	0,53 B	0,67 A	52,11
	AC	0-20	0,22 B	0,54 A	34,34
		20-40	0,59 B	0,67 A	55,83

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si a 5% de significância pelo teste T.

A variação média de acidez potencial entre os solos que receberam adubação orgânica em ambas as profundidades e aquele que não foi adubado foi de 1,74 e 2,11 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Medeiros (2014), em seu trabalho observou que o valor médio de acidez potencial para os tratamentos adubados com cama de frango foi de 2,20 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Esses resultados foram corroborados pelos estudos realizados por Silva et al. (2008) e Steiner et al. (2011).

A saturação de bases variou entre 69,58 e 83,18% para solos que receberam adubação orgânica exclusiva e solos não adubados (Tabela 5). Dematto Junior et al. (2006), avaliou alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira e obteve índice de 84 e 69% de saturação por bases no tratamento com maior dose do composto e na testemunha, respectivamente.



O pH em H<sub>2</sub>O, a soma de bases (SB), a CTC e a saturação por alumínio (m%) diferiu entre solos adubados com adubação orgânica e sem adubação, nas diferentes épocas e profundidades. A adubação orgânica proporcionou solos ligeiramente mais básicos que aqueles que não receberam adubação com valores médios de pH em H<sub>2</sub>O de 6,64 e 6,19, respectivamente (Tabela 5).

A SB média dos solos adubados foi de 7,60 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e para os não adubados foi 11,15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, diferindo estatisticamente (P<0,05) (Tabela 5). Estes resultados diferem daqueles obtidos por Nobile (2009), que observou que solos não adubados apresentaram menor valor para esta variável comparado com aqueles que receberam adubação com biofertilizante.

Solos que receberam adubação orgânica apresentaram menor (P<0,05) m% (0,39%) em relação àqueles que não receberam (0,60%) (Tabela 5). Considerando que as condições do solo sem adubação já eram boas e os benefícios proporcionados pela adubação orgânica ficaram pouco perceptíveis ou nulos em tão pouco tempo de aplicação. Segundo Barros et al. (2010), mudanças definitivas na CTC do solo ocorre após longos períodos de aplicação de resíduos da produção de etanol, os mesmos observaram alterações na CTC do solo após dez anos da aplicação de vinhaça.

A concentração de Mg<sup>2+</sup> no solo não foi significativa (P>0,05), para época, níveis de adubação e profundidade entre os tratamentos que receberam doses crescentes de adubação orgânica em substituição da adubação mineral (dados não mostrados).

## CONCLUSÃO

Os teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e P em solos que receberam níveis crescentes de adubação orgânica (resíduo da produção de etanol de batata-doce) em substituição a adubação mineral tenderam a se manter estáveis. Já a CTC a SB e MOS aumentou para a dose de 100% de adubação orgânica. A V% e o P foram maiores na profundidade de 0-20 cm. O efeito da adubação orgânica deve ser avaliado com maior tempo de uso. O uso do resíduo da produção de etanol de batata-doce como fonte de adubação orgânica é uma alternativa complementar na melhoria da fertilidade dos solos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, D.L. 1991. **Contribuição da adubação orgânica para a fertilidade do solo**. 192f. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, Brasil.
- Ayres, M., Ayres Jr, M., Ayres, D.L., Santos, A.A.S. 2007. **Bioestat 5.0 aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas**. Belém: IDSM, 364p.
- Barros, R.P., Viégas, P.R.A., Silva, T.L., Souza, R.M., Barbosa, L., Viégas, R.A., Barretto, M.C.V., Melo, A.S. 2010. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. 40: 341-346.
- Bolan, N.S., Naidu, R., Mahimairaja, S., Baskaran, S. 1994. Influence of low-molecular-weight organic acids on the solubilization of phosphates. **Biology and Fertility of Soils**. 18: 311-319.
- Brito, F.L., Rolim, M.M., Pedrosa, E.M.R. 2009. Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de solos da zona da mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. 4: 456-462.
- Embrapa. 1997. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, Brasil. 212 p.
- Kinraid, T.B. 1991. Identity of the rhizotoxic aluminum species. **Plant and Soil**. 134: 167-178.
- Laboski, C.A.M., Lamb, J.A. 2003. Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer. **Soil Sci. Soc. Am**, j.67: 544-554.
- Laufenberg, G., Kunz, B., Nystroem, M. 2003. Transformation of vegetable waste into value added products: (a) the upgrading concept; (b) practical implementations. **Bioresource Technology**. 87: 167-198.
- Magalhães, V.R. 2010. **Influências de doses de vinhaça nas características agrônômicas de variedades de cana-de-açúcar, canaplanta e atributos químicos do solo**. 89f. (Dissertação

- Mestrado). Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, Brasil.
- Medeiros, G.K.C.Q. 2014. **Estudo comparativo da influência da adubação química e orgânica nos parâmetros químicos do solo de cultivo das hortaliças jambu (*Acmella oleracea* L.R.K. Jansen) e coentro (*Coriandrum sativum* L).** 36f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade do Estado do Pará, Belém, Brasil.
- Mendonça, E.S., Matos, E.S. 2005. **Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises.** Viçosa, Brasil. 107 p.
- Menezes, T.J.B. 1980. *Etanol o combustível do Brasil.* Ed. Agronômica Ceres. São Paulo, Brasil. 229 p.
- Nobile, F.O. 2009. **Irrigação com duas qualidades de água e tipos de Fertilizações no solo e em cana-de-açúcar.** 169f. (Tese Doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho, Jaboticabal, Brasil.
- Novais, R. F., Alvarez, V.H.V., Barros, N.F., Fontes, R.L., Cantarutti, R.B., Neves, J.C.L. 2007. **Fertilidade do solo.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Brasil. 1017p.
- Rodolfo Júnior, F. 2007. **Biofertilizantes e adubação mineral no maracujazeiro-amarelo e na fertilidade do solo.** 83f. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, Brasil.
- Rolim Neto, F.C., Schaefer, C.E.G.R., Costa L.M., Corrêa, M.M., Fernandes Filho, E. I., Ibraimo, M.M. 2004. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira Ciência do Solo.** 28: 953-964.
- Rosa, M.F., Souza Filho, M.S.M., Figueiredo, M.C.B., Moraes, J.P.S., Santaella, S.T., Leitão, R.C. 2011. Valorização de resíduos da agroindústria. In: **II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais.** Foz do Iguaçu, PR. Volume I – Palestras. Disponível em: file:///C:/Users/nayar/Downloads/Valorizacao\_de\_residuos\_da\_agroindustria.pdf. Acesso em 18/11/2024.
- Silva, F.A.S., Azevedo, C.A.V. 2016. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res.** 11(39): 3733-3740.
- Silva, A. J. N., Ribeiro, M. R. 1998. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** 22: 291-299.
- Silva, A.L., Silva, E.R., Vieira, T.A., Delgado, S. S. 2013. Efeitos da vinhaça na nutrição orgânica da batata doce (*ipomoea batatas*). In: **III Conferência Internacional de Gestão de Resíduos na América Latina. São Paulo.** Disponível em: <https://portalgral.com/pt-br/edicoes/2013-sao-paulo/>. Acesso em 18/11/2024.
- Silva, J.C P.M., Motta, A.C.V., Pauletti, V., Favaretto, N., Barcellos, M., Oliveira, A.S., Veloso, M.C., Costa E Silva, L.F. 2008. Esterco líquido de bovinos leiteiros combinado com adubação mineral sobre atributos químicos de um latossolo Bruno. **Revista Brasileira de Solos.** 32: 2563-2572.
- Silveira, M.A. 2007. **A Cultura da batata-doce como fonte de matéria-prima para produção de etanol.** Boletim técnico, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, Brasil. 44p.
- Siqueira, F.L.T., Siqueira, G.B., Bandeira, C., Rodrigues, W.B., Neiva, I. 2015. Identificação do Potencial de Uso e Características Poluentes do Resíduo da Produção de Bioetanol de Batata Doce. In: **IV Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais.** Rio de Janeiro-RJ. Disponível em: [https://www.sbera.org.br/4sigera/files/5.8\\_FlaviaLucilaTonaniSiqueira.pdf](https://www.sbera.org.br/4sigera/files/5.8_FlaviaLucilaTonaniSiqueira.pdf). Acesso em 18/11/2024.
- Steiner, F., Costa, M.S.S.M., Costa, L.A.M., Pivetta, L.A., Castoldi, G. 2011. Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de culturas e fontes de adubação. **Global Science and Technology.** 04: 16-28.
- Sousa, D.M.G., Miranda, L.N., Oliveira, S.A. 2007. **Acidez do solo e sua correção.** In: Novais, R.F. et al. Fertilidade do solo. SBCS. 206-266.

Stangarlin, J.R., Schwan-Estrada, K.R.F., Cruz, M.E.S., Nozaki, M.H. 1999. Plantas medicinais e o controle alternativo de fitopatógenos. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**. 11: 16-21.

Troeh, F.R., Thompson, L.M. 2007. **Solos e fertilidade do solo**. 6. ed. São Paulo. 718p.

Yagi, R., Ferreira, M.E., Cruz, M.C. P., Barbosa, J.C. 2003. Organic matter fractions and soil fertility under

the influence of liming, vermicompost and cattle manure. **Scientia Agricola**. 60: 549-557.

Watanabe, R.T., Fioretto, R.A., Fonseca, I.B., Seifert, A.L., Santiago, D.C., Creste, J.E., Harada, A., Cucolotto, M. 2005. Produtividade da cultura de soja em função da densidade populacional e da porcentagem de cátions (Ca, Mg e K) no complexo sortivo do solo. **Semina: Ciências Agrárias**. 26: 477-484.