

Alterações químicas no solo induzidas pela aplicação superficial de palha de cana-de-açúcar, calcário e vinhaça

Chemical alterations in the soil induced by the superficial application of straw of sugar-cane, limestone and vinasse

Cristine Elizabeth Alvarenga Carneiro¹; Roberto Antunes Fioretto^{2*};
Inês Cristina de Batista Fonseca²; Carmen Silvia Vieira Janeiro Neves²;
Alexandre José da Silva Castro³

Resumo

Em solos com elevada acidez e baixa CTC, a aplicação combinada de calcário e material orgânico pode alterar favoravelmente suas características químicas. Neste trabalho, objetivou-se avaliar o efeito da utilização de palhada de cana-de-açúcar, calcário e vinhaça, em tratamentos individuais e combinados, nas propriedades químicas do solo. O experimento foi conduzido em ambiente de laboratório, com solo argiloso (Nitossolo), testando os seguintes tratamentos: 1) testemunha; 2) vinhaça: 100 m³ ha⁻¹; 3) palha de cana: 10 t ha⁻¹; 4) calcário dolomítico: 6 t ha⁻¹ (28% CaO, 17% MgO e PRNT 67%); 5) palha de cana + calcário; 6) calcário + vinhaça + palha de cana. Foram avaliados pH, Al⁺³, Ca⁺², Mg⁺² e K⁺. Foi possível observar que o tratamento calcário + vinhaça + palha foi o que proporcionou maiores alterações nas condições químicas avaliadas, com elevação do pH, soma de base e redução do Al⁺³.

Palavras-chave: Calagem, bases trocáveis, matéria orgânica, resíduo.

Abstract

In soils with high acidity and low CEC, the combined application of limestone and organic matter can improve soil chemical characteristics. This research work had the aim of observing soil chemical changes with sugar-cane straw, limestone and vinasse alone or in combined treatments. The experiment was carried out in a laboratory environment, with a clayey soil (Nitossolo), testing the following treatments: 1) control; 2) vinasse 100 m³ ha⁻¹; 3) sugar-cane straw: 10 t ha⁻¹; 4) dolomite limestone (28% CaO, 17% MgO and ECC 67%): 6 t ha⁻¹; 5) limestone + sugar-cane straw; 6) limestone + vinasse + sugar-cane straw. The pH and the elements Al⁺³, Ca⁺², Mg⁺² e K⁺ have been evaluated. The treatment limestone + vinasse + straw provided changes in the evaluated chemical conditions, with increase of pH and cation contents, and decrease of Al⁺³.

Key words: Lime, exchangeable bases, organic matter, waste.

¹ Bacharel e Licenciada em Química, especializada em Pós-colheita de Frutas e Hortaliças. Aluna do Programa de Pós-graduação em Agronomia – UEL. Londrina-PR. Autor para correspondência. E-mail: cristine@iapar.br

² Professores do Departamento de Agronomia, UEL, C.P. 6001, CEP.86.051-990, Londrina, PR. Tel. 43 3371-4555.

³ Acadêmico de Agronomia, UEL.

* Autor para correspondência

Introdução

Na década de 70, com o advento do Proálcool (Programa Nacional do Álcool), a cultura da cana-de-açúcar estendeu-se para áreas com solo de baixa fertilidade, expandindo as regiões canavieiras do Brasil. Entretanto, para maior facilidade operacional da colheita, houve intensificação da prática da queima da palha. Com o aumento da produção, aumentou-se a quantidade de resíduos provenientes da indústria do álcool, como a vinhaça, que se tornou um sério poluidor das águas superficiais próximas às regiões de cultivo (NUNES; VELLOSO; LEAL, 1981).

Nos últimos anos, a área total de cana queimada diminuiu muito, aumentando as áreas colhidas mecanicamente com a cana verde (OLIVEIRA et al., 1999a). A manutenção da palhada sobre o solo, como cobertura, protege-o contra erosão, evita o aquecimento excessivo e reduz a proliferação de plantas daninhas (BODDEY et al., 1989). Além disso, a decomposição de resíduos vegetais contribui para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (MENDONZA et al., 2002), auxiliando na mineralização de nutrientes e, conseqüentemente, aumentando a disponibilidade para as plantas (OLIVEIRA et al., 1997).

Já a vinhaça deixou de ser um poluente, para tornar-se fonte de nutrientes (NUNES; VELLOSO; LEAL, 1981). A vinhaça “in natura” aplicada em áreas com soqueira de cana-de-açúcar tem resultado em efeitos favoráveis ao sistema solo-planta (SILVA et al., 1999). O efeito da vinhaça na elevação do pH é bastante conhecido (NUNES; VELLOSO; LEAL, 1981; MATIAZZO; GLÓRIA, 1985; CAMBUIM;

CORDEIRO, 1986). Além disso, a vinhaça aumenta a disponibilidade de alguns nutrientes, seja pela ação direta dos componentes da matéria orgânica, seja pela ação indireta do aumento do pH do solo, da atividade microbiana ou de efeitos físicos (GLÓRIA; ORLANDO, 1983; SOLERA, 1988).

As recomendações de calagem têm como objetivo a elevação do pH até a faixa adequada ao bom desenvolvimento das culturas (6 a 6,5). As quantidades de corretivos são determinadas com base na necessidade de correção de acidez e adequação da soma e saturação por bases, que proporcione o máximo retorno econômico (KAMINSKI, 2000). O comportamento e a eficiência dos corretivos dependem das suas características, como a natureza química, o poder de neutralização, a solubilidade e a granulometria (VELOSO et al., 1992).

O presente trabalho teve como objetivo estudar as alterações químicas em um solo argiloso, provocadas pela utilização da palhada da cana-de-açúcar combinada com calcário e vinhaça, aplicados superficialmente.

Material e Métodos

O estudo foi realizado com um solo argiloso (Nitossolo), coletado na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, coordenadas 23°20'S e 51°11'W. O solo utilizado foi coletado da camada superficial de 0-20 cm. Em seguida, secou-se ao ar e, após passado em peneira de 2 mm (T.F.S.A.), 200 g de solo destinaram-se as análises químicas (PAVAN et al., 1992) e granulométrica (BOUYOUCOS, 1934; MEDINA, 1969) (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do Nitossolo, antes da instalação do experimento.

CTC pH7	pH ClCa ₂	cmol _c dm ⁻³					Granulometria (g kg ⁻¹)		
		Ca	Mg	K	Al	H	Areia	Silte	Argila
9,76	4,00	0,44	0,21	0,1	2,10	6,91	50	150	800

O experimento foi conduzido em laboratório sob temperatura ambiente, em tubos de PVC com diâmetro interno de 3,6 cm por 30 cm de altura, contendo cada um 305 g de solo (T.F.S.A), obtendo-se uma densidade de $1,2 \text{ Kg dm}^{-3}$. Utilizou-se uma espuma sintética inerte na parte inferior dos tubos para facilitar a drenagem da solução sem perda do solo (FIORETTO, 1999). O solo foi umedecido aplicando-se quantidade de água equivalente a 80% do volume de poros (VP), que para o solo estudado foi de 70 mL/100 g T.F.S.A., essa quantidade equivale à precipitação de 168 mm.

Foram utilizados seis tratamentos com 3 repetições: 1) testemunha; 2) vinhaça: $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; 3) palha de cana: 10 t ha^{-1} ; 4) calcário dolomítico: 6 t ha^{-1} (28% CaO, 17% MgO e PRNT 67%); 5) palha de cana + calcário; 6) calcário + vinhaça + palha de cana. Para os tratamentos combinados, as doses de cada componente foram as mesmas dos tratamentos individuais. Nas Tabelas 2 e 3 são apresentadas as composições químicas da vinhaça e da palhada. O

solo foi incubado durante 90 dias, sendo aplicado 70 mL/100 g T.F.S.A. a cada 30 dias. A aplicação de água foi feita com auxílio de equipamento adaptado a partir de aplicação de soro, que permitia a taxa de aplicação de $0,5 \text{ mL min}^{-1}$. Ao término do experimento, 210 mL água/100 g T.F.S.A. foram aplicados em cada tratamento. Em seguida, as colunas foram desmontadas e separadas em cinco camadas de 5 cm de espessura para análises químicas de Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Al^{+3} , pH e MO (PAVAN et al., 1992). Todas as determinações foram realizadas no laboratório da LABORSOLO – Central de Análises Agrônômicas – Ltda., em Londrina – PR. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com os tratamentos organizados em esquema fatorial 6×5 , em que os fatores foram: 6 combinações de tratamentos e cinco profundidades de amostragem, com três repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 2. Composição química média de vinhaça

Determinação	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	M.O.	pH
					kg m^{-3}			
Vinhaça	0,70	0,11	4,80	1,61	0,92	0,62	15,07	4,30

Tabela 3. Análise química da palha de cana-de-açúcar em Matéria Seca.

Variedade	Ca	Mg	K	N	C/N
	$(\text{g kg}^{-1} \text{ MS})$				
RB 78-5148	0,040	0,016	0,121	71,43	57,0

Resultados e Discussão

O tratamento CVP apresentou pH significativamente superior nas camadas de 0-5 e 5-10 cm em relação aos demais tratamentos (Tabela 4). Na camada superficial, apesar do pH nos tratamentos VI e CA permanecerem abaixo da faixa

adequada para o bom desenvolvimento radicular (MEDINA, 1991), observa-se que houve um considerável aumento em relação à testemunha e aos tratamentos PA e PC. O aumento de pH na camada superficial após a calagem foi também observado por Caires, Banzzatto e Fonseca (2000).

Tabela 4. Valores médios para pH nas diferentes camadas avaliadas, após 90 dias de incubação com os diferentes tratamentos⁽¹⁾

Tratamento	pH				
	Camadas (cm)				
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25
TE ⁽²⁾	3,94Da	3,94ABa	3,93Aa	3,92Aa	3,93Aa
VI ⁽³⁾	4,34Ba	4,01ABb	3,92Ab	3,92Ab	3,91Ab
PA ⁽⁴⁾	3,96Da	3,92Ba	3,92Aa	3,91Aa	3,91Aa
CA ⁽⁵⁾	4,11Ca	3,91Bb	3,91Ab	3,89Ab	3,89Ab
PC ⁽⁶⁾	3,96Da	3,91Ba	3,89Aa	3,88Aa	3,88Aa
CVP ⁽⁷⁾	5,07Aa	4,06Ab	3,94Abc	3,90Ac	3,91Ac
C.V.%	1,33				

⁽¹⁾ Médias seguidas das mesmas letras minúsculas, na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. ⁽²⁾ TE: testemunha. ⁽³⁾ VI: vinhaça. ⁽⁴⁾ PA: palha. ⁽⁵⁾ CA: calcário. ⁽⁶⁾ PC: palha + calcário. ⁽⁷⁾ CVP: calcário + vinhaça + palha.

O aumento de pH proporcionado pela vinhaça, pode ser atribuído às reações de redução que consomem íons H⁺, presentes no solo que segundo Freire e Cortes (2000) resultam no abaixamento do potencial redox. Outra possível causa para a elevação do pH, pode ser atribuída à adição de resíduos vegetais é a reação de troca de ligante entre ânions orgânicos e OH⁻ terminais em óxidos de Fe⁺³ e Al⁺³, como foi observado por Hue e Amien (1989). Segundo Nunes, Velloso e Leal (1981), a introdução de cátions básicos pela vinhaça, causando redução de oxi-hidróxidos de ferro e manganês, seria a explicação mais razoável para o aumento de pH. Sendo também razoável considerar as reações de troca entre H⁺ e Al⁺³, por Ca⁺², Mg⁺² e K⁺, presentes nos resíduos utilizados, aumentando assim a saturação por bases do solo (FRANCHINI et al., 1999). Pode-se inferir então, que a combinação dos tratamentos resultou em aumento do pH superficialmente devido

ao efeito sinérgico proporcionado pela mistura de calcário, vinhaça e palha.

A redução na concentração do Al⁺³ na camada de 0-5 cm ficou evidenciada no tratamento em que empregou a mistura, calcário + vinhaça + palha e no tratamento vinhaça (tabela 5). À medida que o pH aumenta, a concentração de alumínio extraível decresce, sendo esta relação bem estabelecida (NUNES; VELLOSO; LEAL, 1981). Matiazzo e Glória (1985) também observaram que a adição de vinhaça, eleva o pH do solo, promovendo a precipitação do Al⁺³ presente em Areia Quartzosa, aos 14 dias. Em solo Podzólico, estes autores observaram que o Al⁺³ foi reduzido à metade da sua concentração apenas no final do experimento, o que ocorreu aos 178 dias. A redução do Al⁺³ (tabela 5) também pode ser explicada pela complexação com ácidos orgânicos, os liberados pela palha de cana e pela vinhaça, como indica os resultados obtidos por Kaminsk (2000).

Tabela 5. Valores médios para Al⁺³ nas diferentes camadas avaliadas, após 90 dias de incubação com os diferentes tratamentos⁽¹⁾

Tratamento	Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)				
	Camadas (cm)				
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25
TE ⁽²⁾	2,35Aa	2,27Ab	2,22Bb	2,44Aa	2,34Aa
VI ⁽³⁾	0,86Cb	1,90BCa	2,07Ba	2,25Aa	2,19Aa
PA ⁽⁴⁾	1,58Ba	2,24Ba	1,81Ba	2,5Aa	2,08Aa
CA ⁽⁵⁾	2,22Aa	2,29ABa	2,39Aa	2,18Aa	2,32Aa
PC ⁽⁶⁾	2,05Aa	2,40Aa	2,49Aa	2,51Aa	2,42Aa
CVP ⁽⁷⁾	0,22Dc	1,58Cb	2,24ABa	2,38Aa	2,18Aa
C.V.%	8,99				

⁽¹⁾ Médias seguidas das mesmas letras minúsculas, na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. ⁽²⁾ TE: testemunha. ⁽³⁾ VI: vinhaça. ⁽⁴⁾ PA: palha. ⁽⁵⁾ CA: calcário. ⁽⁶⁾ PC: palha + calcário. ⁽⁷⁾ CVP: calcário + vinhaça + palha.

Observou-se que o tratamento combinado CVP proporcionou também aumento significativo no teor de Ca^{+2} , seguido pelos tratamentos CA, VI e PA separadamente, na camada de 0-5 cm (Tabela 6). O aumento de pH pela calagem promove a neutralização de Al^{+3} e H^{+} , resultando em aumento na CTC e na energia de ligação pelos cátions básicos, Ca^{+2} e Mg^{+2} (KAMINSKI, 2000). Pode-se observar que o tratamento calagem proporcionou aumento do teor de Ca^{+2} somente na camada de 0-5 cm. O aumento do teor de Ca pela calagem, ficou restrito a camada de 0-5 cm, indicando que o calcário tem dificuldade de promover efeito corretivo nas camadas mais inferiores por não ocorrer lixiviação do Ca^{+2} no perfil do solo. Entretanto, em estudos recentes Miyazawa, Pavan e Franchini (1997), Franchini et al. (1997, 1999) vêm demonstrando que resíduos vegetais em mistura com calcário aplicados na superfície do solo aceleram

o transporte de Ca^{+2} e Mg^{+2} no perfil do solo. Com os resultados observa-se que onde foi empregado o tratamento vinhaça ocorreu uma maior lixiviação do Ca^{+2} até a camada de 5-10 cm, e quando o tratamento foi completo, ou seja, calcário + vinhaça + palha ocorreu uma lixiviação do Ca^{+2} até a camada de 10-15 cm. Estes resultados estão de acordo com aqueles realizados com resíduos vegetais, em que a mobilidade de Ca^{+2} , Mg^{+2} e Al^{+3} ocorreu sempre acompanhada por aumentos no teor de K^{+} trocável. Os autores Miyazawa, Pavan e Franchini (1997), Franchini et al. (1997, 1999) atribuíram este efeito à formação de complexos orgânicos que facilita a pela lixiviação de cátions no solo. Os mesmos autores verificaram, no extrato de nabo forrageiro, a presença de ácidos orgânicos na forma de sais de K^{+} , Ca^{+2} e Mg^{+2} , sendo que estes teriam grande contribuição para a manutenção destes cátions em solução.

Tabela 6. Valores médios para Ca^{2+} nas diferentes camadas avaliadas após 90 dias de incubação com os diferentes tratamentos⁽¹⁾

Tratamento	Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)				
	Camadas (cm)				
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25
TE ⁽²⁾	0,80Ca	0,73Ca	0,77Ba	0,70Ba	0,87Aa
VI ⁽³⁾	1,23Ba	1,07ABab	0,93ABab	0,90ABb	1,00Aab
PA ⁽⁴⁾	1,05BCa	0,90BCa	0,90ABa	0,95ABa	0,95Aa
CA ⁽⁵⁾	1,30Ba	0,90BCb	0,97ABb	0,93ABb	0,97Ab
PC ⁽⁶⁾	0,83Ca	0,83Ba	0,93ABa	0,93ABa	0,93Aa
CVP ⁽⁷⁾	2,35Aa	1,40Ab	1,20Abc	1,05Ac	0,95Ac
C.V.%	13,76				

⁽¹⁾Médias seguidas das mesmas letras minúsculas, na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. ⁽²⁾ TE: testemunha. ⁽³⁾ VI: vinhaça. ⁽⁴⁾ PA: palha. ⁽⁵⁾ CA: calcário. ⁽⁶⁾ PC: palha + calcário. ⁽⁷⁾ CVP: calcário + vinhaça + palha.

Os tratamentos CVP e PC, bem como com os tratamentos individuais com calcário e com vinhaça diferiram estatisticamente da testemunha e da palha quanto ao teor de Mg^{+2} , na camada de 0-5 cm (Tabela 7). A testemunha e a palha não continham Mg^{+2} em quantidade significativa para proporcionar alteração na reação química do solo. A justificativa para o tratamento com calcário ter apresentado elevado teor

de Mg^{+2} foi a utilização do calcário dolomítico, que continha 17% de MgO. Observou-se que o Mg^{+2} foi lixiviado até a camada de 20-25 cm para todos os tratamentos estudados, não diferindo entre camadas. O tratamento CVP proporcionou maior teor de Mg^{+2} até a camada de 5-10 cm, juntamente com os tratamentos calcário e vinhaça.

Tabela 7. Valores médios para Mg²⁺ nas diferentes camadas avaliadas após 90 dias de incubação com os diferentes tratamentos⁽¹⁾

Tratamento	Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)				
	Camadas (cm)				
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25
TE ⁽²⁾	0,43Ba	0,60Ba	0,67Aa	0,87Aa	0,70Aa
VI ⁽³⁾	1,37Aa	0,90Aa	0,87Aa	0,83Aa	0,77Aa
PA ⁽⁴⁾	0,45Ba	0,45Ba	0,80Aa	0,80Aa	0,80Aa
CA ⁽⁵⁾	1,03Aa	1,03Aa	0,90Aa	1,23Aa	1,10Aa
PC ⁽⁶⁾	0,93Aa	0,67Ba	0,57Ba	0,77Aa	0,70Aa
CVP ⁽⁷⁾	1,75Aa	1,65Aa	1,20Aa	1,00Aa	1,20Aa
C.V.%	39,04				

⁽¹⁾ Médias seguidas das mesmas letras minúsculas, na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. ⁽²⁾ TE: testemunha. ⁽³⁾ VI: vinhaça. ⁽⁴⁾ PA: palha. ⁽⁵⁾ CA: calcário. ⁽⁶⁾ PC: palha + calcário. ⁽⁷⁾ CVP: calcário + vinhaça + palha.

Os resultados obtidos para o elemento K⁺ não diferiram estatisticamente para os tratamentos individuais, VI e PA e para os tratamentos PC e CVP na camada de 0-5cm (Tabela 8). Nas camadas de 5-10 e 10-15 cm, observou-se que o tratamento VI e o combinado CVP não diferiram estatisticamente entre si, apresentando maior teor que os demais. A vinhaça possui elevado teor de K⁺ (Tabela 2), o que explica que os tratamentos com esse resíduo ficassem com teores mais elevados, assim promovendo uma maior distribuição nas profundidades. Isto pode ser explicado pelo fato de que o elemento não faz parte de nenhum composto

na planta, estando presente na forma iônica, o que facilita sua saída da célula após o rompimento da membrana plasmática (OLIVEIRA et al., 1999b). Yadav; Todi e Srivastava (1987) também verificaram que a palhada de cana incubada a 28°C liberou 35% do K⁺ nos 15 primeiros dias de incubação, enquanto que ao final do experimento (120 dias) 70% de todo o K⁺ existente havia sido liberado. Cambuim e Cordeiro (1986) constataram que o emprego da vinhaça aliada aos diferentes períodos de incubação acarreta um aumento nos teores de K⁺, apresentando um comportamento ao longo da profundidade.

Tabela 8. Valores médios para K⁺ nas diferentes camadas avaliadas após 90 dias de incubação com os diferentes tratamentos⁽¹⁾

Tratamento	K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)				
	Camadas (cm)				
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25
TE ⁽²⁾	0,14Ba	0,16Ba	0,18Ba	0,18Aa	0,19Aa
VI ⁽³⁾	1,17Aa	0,70Aa	0,37Aab	0,26Ab	0,17Ac
PA ⁽⁴⁾	0,38Aa	0,18Bb	0,17Bb	0,17Ab	0,15Ab
CA ⁽⁵⁾	0,18Ba	0,15Ba	0,15Ba	0,18Aa	0,16Aa
PC ⁽⁶⁾	0,39Aa	0,23Bb	0,18Bb	0,17Ab	0,19Ab
CVP ⁽⁷⁾	1,38Aa	0,73Aa	0,44Aa	0,24Ab	0,23Ab
C.V.%	15,08				

⁽¹⁾ Médias seguidas das mesmas letras minúsculas, na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. ⁽²⁾ TE: testemunha. ⁽³⁾ VI: vinhaça. ⁽⁴⁾ PA: palha. ⁽⁵⁾ CA: calcário. ⁽⁶⁾ PC: palha + calcário. ⁽⁷⁾ CVP: calcário + vinhaça + palha.

Com relação ao teor de matéria orgânica não foi observada diferença estatística entre os tratamentos testados (Tabela 9), mas houve diferença entre as profundidades no tratamento palha. A diferença

observada para MO no tratamento palha entre camadas pode ser atribuída à lixiviação do material vegetal degradado lentamente, o que não ocorre quando a palha é misturada a outro tratamento.

Tabela 9. Valores médios para matéria orgânica (MO) nas diferentes camadas avaliadas após 90 dias de incubação com os diferentes tratamentos⁽¹⁾

Tratamento	MO (g dm ⁻³)				
	Camadas (cm)				
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25
TE ⁽²⁾	4,19Aa	3,25 Aa	3,43 Aa	3,43 Aa	2,75 Aa
VI ⁽³⁾	3,43 Aa	3,92 Aa	4,10 Aa	4,10 Aa	4,06 Aa
PA ⁽⁴⁾	3,65Aab	3,99Aab	2,78Ab	4,94 Aa	3,79Aab
CA ⁽⁵⁾	2,53 Aa	3,06 Aa	3,02 Aa	3,43 Aa	3,70 Aa
PC ⁽⁶⁾	3,33 Aa	3,19 Aa	4,01 Aa	2,98 Aa	3,06 Aa
CVP ⁽⁷⁾	3,86 Aa	3,52 Aa	3,86 Aa	3,45 Aa	2,91 Aa
C.V.%	26,50				

⁽¹⁾Médias seguidas das mesmas letras minúsculas, na linha e maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%. ⁽²⁾ TE: testemunha. ⁽³⁾ VI: vinhaça. ⁽⁴⁾ PA: palha. ⁽⁵⁾ CA: calcário. ⁽⁶⁾ PC: palha + calcário. ⁽⁷⁾ CVP: calcário + vinhaça + palha.

Analisando os resultados de forma conjunta (Tabelas 4 a 8) para pH, Al⁺³, Ca⁺², Mg⁺² e K⁺, observa-se que o tratamento combinado CVP se destacou em relação aos demais, sendo que a melhoria das condições químicas do solo foi mais pronunciada até a camada de 5-10 cm. Estes resultados se assemelham aos obtidos por Sá (1996), que constatou em sistema de plantio direto (4 anos), que o efeito no pH, Ca⁺², Mg⁺² e Al⁺³, predominou até a profundidade de 10 cm. Pode-se admitir que os tratamentos isolados aqui estudados não foram capazes de promover alterações químicas consideráveis nas propriedades do solo, uma vez que estas só são proporcionadas por vários fatores combinados.

As alterações químicas no solo podem ser consideradas interdependentes, pois a correção do pH (adição de calcário e vinhaça), tem como consequência a diminuição do Al⁺³ livre, proporcionando também aumento da CTC e da disponibilidade de cátions básicos para a nutrição das plantas. O solo, estando em equilíbrio químico, favorece o restabelecimento microbiano, o que irá favorecer também a degradação da palhada, liberando assim constituintes orgânicos e inorgânicos que auxiliarão na manutenção do equilíbrio químico, além de favorecer a estruturação do solo, condições necessárias para o bom desenvolvimento radicular e conseqüente desenvolvimento da planta.

Conclusões

Os compostos hidrossolúveis da palha, em combinação com calcário e vinhaça amenizam os efeitos tóxicos do alumínio trocável e aumentam a disponibilidade dos cátions básicos.

A aplicação combinada de calcário + vinhaça + palha, foi mais eficiente em alterar as propriedades químicas do solo, do que a aplicação isolada de cada um dos tratamentos.

Referências

- BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; LIMA, E.; LIRA, L.; DÖBEREINER, J. Influência da queima, aplicação de nitrogênio e vinhaça na cultura de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 22., Recife, 1989. *Resumos...* Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1989. p.101.
- BOUYOUCOS, G. L. A. Comparison between the pipette method and the hydrometer method for making mechanical analysis soil. *Soil Science*, Baltimore, v.38, p.335-345, 1934.
- CAIRES, E. F.; BANZZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, p.161-169, 2000.
- CAMBUIM, F. A.; CORDEIRO, D. A. Ação da vinhaça sobre pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes, em solo arenoso. *STAB: açúcar, álcool e subprodutos*, Piracicaba, v.4, n.4, p.27-33, 1986.

- FIORETTO, R. A. *Mudança na reação química do solo induzida pela palhada da cana-de-açúcar (Saccharum spp)*. 1999. 84f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.
- FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.34, n.12, p.2267-2276, 1999.
- FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo manejado com resíduos de adubo verde. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.32, n.12, p.1309-1315, 1997.
- FREIRE, W. J.; CORTES, L. A. B. *Vinhaça de cana-de-açúcar*. Guairá: Ed. Agropecuária, 2000.
- GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação da vinhaça como fertilizante. *Boletim Técnico do Planalsucar*, Piracicaba, v.5, n.1, p.5-38, 1983.
- HUE, N. V.; AMIEN, I. Aluminum detoxification with green manures. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.20, p.1499-1511, 1989.
- KAMINSKI, J. *Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto*. Pelotas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 123p.
- MATIAZZO, M. E.; GLORIA, N. A. Efeito da vinhaça na acidez do solo. *STAB: açúcar, álcool e subprodutos*, Piracicaba, v.3, p.35-40, 1985.
- MEDINA, C. C. *Estudo da aplicação de gesso e calcário na produção de cana-de-açúcar (Saccharum spp), açúcar e álcool*. 1991. 112f. Tese (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1991.
- MEDINA, H. P. Simplificação do método de análise granulométrica para caracterização sumária da textura do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 12., Curitiba. *Resumos...* Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1969.
- MENDONZA, H. N. S.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. V. M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Viçosa, v.24, p.201-207, 2002.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Avaliação de resíduos vegetais na mobilidade do calcário aplicado na superfície do solo. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Viçosa, v.21, p.65-70, 1997.
- NUNES, M. R.; VELLOSO, A. C. X.; LEAL, J. R. Efeito da vinhaça nos cátions trocáveis e outros elementos químicos do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.16, n.2, p.171-176, 1981.
- OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P.; PICOLO, M. C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.34, n.12, p.2359-2362, 1999a.
- OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; PENATTI, C. P. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.56, n.4, p.803-809, 1999b.
- OLIVEIRA, M. W.; VITI, A. C.; GAVA, G. J. C.; PICOLO, M. C.; TRIVELIN, P. C. O. Decomposição da palhada de cana-de-açúcar em campo. In: ENCONTRO CIENTÍFICO DOS PÓS-GRADUANDOS DO CENA/USP, 3., 1997, Piracicaba. *Resumos...* Universidade Estadual de São Paulo, Piracicaba, 1997.
- PAVAN, M. A.; BLOCH, M. D. M.; ZEMPULSK, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. *Manual de análises químicas de solo e controle da qualidade*. Londrina: IAPAR, 1992. (IAPAR, Circular, 76).
- SÁ, J. C. M. Calagem em solos sob plantio direto na região dos Campos Gerais, Centro-Sul do Paraná. Ponta Grossa: Fundação ABC, 1996. p.73-107. Curso Sobre Manejo do Solo no Sistema Plantio Direto.
- SILVA, V. M.; TRIVELIN, P. C. O.; COLAÇOL, W. C.; ENCARNAÇÃO, F. A. F.; CABEZAS, W. A. R. L. Mineralização e volatilização do nitrogênio da vinhaça-¹⁵N na presença ou não de uréia e de palha de cana-de-açúcar. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.56, n.1, p.117-123, 1999.
- SOLERA, M. A. C. *Efeito da relação Ca:Mg, utilizando carbonatos e sulfatos, sobre o crescimento e a nutrição mineral da cana-de-açúcar*. 1988. 186f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.
- VELOSO, C. A. C.; BORGES, A. L.; MUNIZ, A. S.; VEIGAS, I. A. de J. M. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.49, n.1, p.123-128, 1992.
- YADAY, D. V.; TODI, S.; SRVASTAVA, A. K. Recycling of nutrients in trash with N for higher cane yield. *Biological Wastes*, Barking, v.20, p.133-141, 1987.