

EFEITO DA VINHAÇA NOS CÁTIONS TROCÁVEIS E OUTROS ELEMENTOS QUÍMICOS DO SOLO¹

MARCOS R. NUNES², ARY CARLOS X. VELLOSO³ e JAIR R. LEAL⁴

RESUMO - O efeito da incubação de doses crescentes de vinhaça (correspondentes a 50, 100, 150, 200 e 400 m³/ha), na presença e ausência de N e P, sobre as propriedades químicas de um solo do terciário (Typic Paleudult), foi estudado em laboratório. Os teores de N-total, C e C/N praticamente não se alteraram, em ambos os tratamentos, após a aplicação das doses de vinhaça. Um aumento nos teores de K, Ca e Mg trocáveis acompanhou, em ambos os tratamentos, os níveis crescentes de vinhaça incorporada às amostras de solo. Entretanto, os teores de Ca e Mg trocáveis, em todos os tratamentos, foram superiores aos introduzidos pelas crescentes doses de vinhaça. Por outro lado, os teores de Na trocável mantiveram-se praticamente constantes em ambos os tratamentos. Aumento moderado do pH e decréscimo nos teores de alumínio trocável, de fósforo assimilável, e de nitrato, acompanharam a aplicação de doses crescentes de vinhaça às amostras de solo, em ambos os tratamentos. Os teores de amônio, que, nos tratamentos com vinhaça, sem adição de N e P, se mantiveram constantes, tenderam a decrescer nos tratamentos que receberam N e P, em relação àqueles adicionados no início da incubação, para ambos os tratamentos. Não houve diferença entre os valores do PCZ, determinados nos tratamentos que receberam a maior dose de vinhaça (400 m³/ha), com e sem N e P, como também destes para o PCZ determinado no solo original.

Termos para indexação: vinhaça, despejo no solo, cátions trocáveis.

EFFECT OF LAND DISPOSAL OF STILLAGE ON EXCHANGEABLE CATIONS AND OTHER NUTRIENTS IN THE SOIL

ABSTRACT - In laboratory, increasing volumes of stillage (equivalents to 50, 100, 150, 200 and 400 m³/ha), with and without addition of N and P, were incubated with a Typic Paleudult soil, and the effects on exchangeable cations and other nutrients in the soil were studied. Total N and C levels were not affected. Exchangeable K, Ca and Mg levels increased with the increasing levels of stillage applied. However, in each treatment, Ca and Mg increases were higher than the amounts of these elements introduced in the soil by the dose of stillage. The levels of exchangeable Na were not affected with the increasing levels of applied stillage. The soil pH increased while the levels of exchangeable Al, available P and nitrate decreased. The point of zero charge (p.z.c.) determined for the soil treated with 400 m³/ha of stillage, with and without addition of N and P, did not differ from the value of the untreated soil. The addition of N and P to the stillage did not affect the general trends observed for the soil treated with stillage. However, the levels of ammonium, which were constant for the different treatments with stillage without N and P, tended to decrease during incubation for the treatment with stillage plus N and P.

Index terms: stillage, land disposal, exchangeable cations.

INTRODUÇÃO

A preocupação com os resíduos provenientes da indústria do açúcar e do álcool manifesta-se há muito tempo. Almeida (1952) alertou as autoridades para que proibissem o escoamento da vinhaça

nos cursos d'água, apoiando-se no fato de que tal resíduo, além de destruir o plâncton dos rios, ocasionava a poluição das águas, comprometendo seriamente a saúde pública.

Felizmente, essa maneira de se considerar a vinhaça exclusivamente como poluente vem mudando gradativamente, pois, assim como ocorre com outros resíduos, procura-se reconhecer o seu valor econômico. A intensificação das pesquisas visando o aproveitamento da vinhaça como fonte de nutrientes tem comprovado o seu promissor efeito fertilizante. Por se tratar de uma fonte de nutrientes, o emprego racional da vinhaça contribuiria para minimizar os custos da produção agrícola na zona canavieira, substituindo parcialmente a adubação química.

¹ Aceito para publicação em 19 de março de 1980. Parte do trabalho de Tese do primeiro autor, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Departamento de Solos - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Trabalho realizado com recursos financeiros da FINEP (processo IF/780).

² Eng^o Agr^o, M.Sc., Empresa Goiana de Pesquisa Agropecuária - (EMGOPA), Caixa Postal 49, CEP 74.000 - Goiânia, GO.

³ Eng^o Agr^o, Livre Docente, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) - CEP 23.460 - Seropédica, RJ

⁴ Eng^o Agr^o, Ph.D. UFRRJ, Seropédica, RJ.

Com respeito ao efeito da vinhaça nas propriedades do solo, Almeida (1955) demonstrou o importante papel deste resíduo na correção da acidez do solo. Além do seu efeito na elevação do pH, a vinhaça provoca uma intensa proliferação de microorganismos, causando um verdadeiro selamento das partículas do solo (Rezende 1979).

Glória & Mattiazzo (1976) verificaram que a aplicação da vinhaça ao solo afeta também a disponibilidade do fósforo, possivelmente em virtude da fixação biológica deste nutriente pelos microorganismos, que proliferam quando da aplicação do resíduo.

Evidência de significativos aumentos na capacidade de troca de cátions e no teor de bases trocáveis graças à aplicação de vinhaça aos solos foi mostrada por Brieger (1977) e Magro (1978).

Constituiu o propósito deste trabalho investigar o efeito da adição de doses crescentes de vinhaça (na presença e ausência de N e P) nas propriedades químicas e na disponibilidade de nutrientes de um solo de textura média, representativo da região canavieira de Campos, RJ.

MATERIAL E MÉTODOS

Solo

Utilizaram-se amostras coletadas até a profundidade de 20 cm de um solo franco-argilo-arenoso, representativo da região canavieira de Campos, RJ (Usina de Outeiro), classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo (Typic Paleudult). Algumas propriedades deste solo aparecem na Tabela 1. Este solo desenvolveu-se a partir de sedimentos não consolidados de formação terciária, ocorrendo em relevo

suavemente ondulado e ocupando em Campos, uma área de aproximadamente 344 km², cultivada, na sua maior parte, com cana-de-açúcar.

Métodos experimentais

A vasos de plástico, contendo 6 kg das amostras de solo (secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm), adicionou-se vinhaça mista procedente da Usina do Outeiro (composição apresentada na Tabela 2), em doses correspondentes a 50, 100, 150, 200 e 400 m³/ha, na presença e na ausência de nitrogênio e fósforo. Nos tratamentos que levaram N e P, aplicou-se, juntamente com a vinhaça, uma solução de NH₄H₂PO₄ e NH₄NO₃ em doses equivalentes a 100 kg/ha de N e 100 kg/ha de P₂O₅. Todo o sistema foi incubado durante 35 dias, procurando-se manter a umidade a 1/3 atm durante este período. Após a incubação, as amostras de solo de todos os tratamentos foram novamente secadas ao ar, destorroadas, passadas em peneiras de 2 mm, homogeneizadas e analisadas.

Métodos analíticos

As amostras de solo, após a coleta, bem como as amostras dos tratamentos com incubação foram submetidas à mesma metodologia analítica. A capacidade de troca de cátions foi determinada pela soma de Ca, Mg e Al, extraíveis com KCl 1N mais K e Na, extraíveis com ácido diluído. O carbono orgânico foi determinado pelo método de Walkley-Black, descrito por Jackson (1958); o nitrogênio total, amônio e nitrato trocáveis foram determinados pelos métodos descritos por Hesse (1971). Para o fósforo assimilável utilizou-se extração com mistura de HCl e H₂SO₄ diluídos (Método de Carolina do Norte), sendo o P analisado colorimetricamente.

Para a determinação do ponto de carga zero, curvas de titulação potenciométrica foram realizadas apenas no tratamento com a maior dose de vinhaça (400 m³/ha), na presença e ausência de N e P, de acordo com a técnica descrita por Raji & Peech (1972).

TABELA 1. Características químicas e físicas do solo.

Composição granulométrica %			C-org. %	N-Total %	C/N	pH		Fósforo disponível ppm	N-NO ₃ ppm
Areia	Silte	Argila				H ₂ O	KCl		
64	6	30	0,94	0,09	10,4	4,9	4,1	18,4	20,4
Cátions trocáveis, mEq/100 g									
Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	Al ⁺³ + H ⁺		NH ₄ ⁺		
1,20	0,85	0,16	0,03	0,30	3,30		6,80		

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variações do pH das amostras de solo incubadas com doses crescentes de vinhaça sem NP encontram-se na Fig. 1. Observa-se uma moderada elevação do pH com o aumento da quantidade de vinhaça aplicada. À medida que o pH aumenta, a concentração de alumínio extraível decresce moderadamente. Essa relação inversa entre o pH do solo e alumínio trocável, na faixa ácida, está bem estabelecida. Convém lembrar que, neste trabalho, a redução da concentração de alumínio se deve exclusivamente à adição de vinhaça.

O aumento do pH do solo após a incorporação de resíduos de vegetais tem sido verificado em muitos trabalhos. Com relação à vinhaça, resultados semelhantes foram obtidos por Almeida (1953), Ranzani (1956), Brieger (1977) e Magro (1978). A introdução de cátions básicos (Tabela 2) pela vinhaça (no presente caso a dose de 400 m³/ha introduziu aproximadamente 23.200 equivalentes de cátions básicos) e o decréscimo de Eh (resultante da anaerobiose induzida pelos altos teores de carboidratos na vinhaça) causando redução de oxi-hidróxidos de ferro e manganês, seriam as explicações mais razoáveis para o aumento do pH. Asghar & Kanehiro (1977), estudando os efeitos da incorporação de resíduos de cana-de-açúcar nas propriedades do solo, atribuíram a elevação do pH

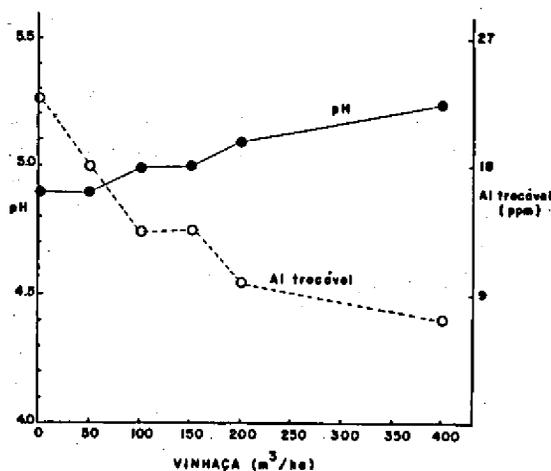
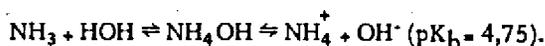
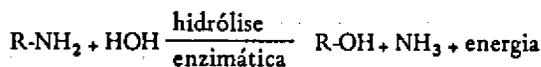


FIG. 1. Variação dos valores do pH e do alumínio trocável em função das crescentes doses de vinhaça sem NP, após 35 dias de incubação.

à redução de óxidos de manganês e aos cátions básicos introduzidos pelos resíduos. Existe, ainda, a possibilidade de aumento do pH pela atividade microbiológica. Segundo Asghar & Kanehiro (1977), as seguintes reações estariam envolvidas neste processo:



É interessante notar que a dose mais alta de vinhaça (400 m³/ha) contém aproximadamente 200 kg de nitrogênio orgânico (Tabela 2), metade do qual se encontra na fase líquida, como observado em análise preliminar neste laboratório. Essa fração solúvel de nitrogênio orgânico deve, portanto, ser facilmente degradada pelos microorganismos do solo, contribuindo, de certa forma, para o aumento do pH, segundo as reações acima.

TABELA 2. Composição química da vinhaça mista.

pH	4,0
Condutividade (mmhos/cm, 25°C)	4,3
Carbono (%)	1,04
N-total (Kjeldahl) (mg/l)	497,0
N-NH ₃ ⁻ (mg/l)	28,0
N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	3,5
P-total (mg/l)	19,0
Potássio (mg/l)	1.360,0
Sódio (mg/l)	95,0
Cálcio (mg/l)	207,5
Magnésio (mg/l)	103,5
Ferro (mg/l)	51,4
Resíduo total (105°C) (mg/l)	22.500

Para os tratamentos que receberam vinhaça complementada com N e P, obtiveram-se resultados de pH semelhantes aos dos tratamentos sem NP, e os mesmos deixam de ser mostrados.

Os tratamentos com vinhaça, com e sem NP, praticamente não alteraram o N-total, o carbono e a relação C/N do solo, após 35 dias de incubação (Tabelas 3 e 4).

A Tabela 3 mostra também os teores de amônio dos tratamentos que receberam vinhaça sem adição de NP. Verifica-se que os teores deste íon, após o

TABELA 3. Efeito da vinhaça (na ausência de NP) no N-total, carbono, relação C/N, $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$ extraíveis e P assimilável (Método de Carolina do Norte) do solo, após 35 dias de incubação.

Vinhaça m ³ /ha	N-total %	Carbono %	C/N	Nitrogênio extraível		P assimilável ppm
				$N-NH_4^+$ ppm	$N-NO_3^-$ ppm	
0	0,087	0,94	10,8	3,6	21,6	16,2
50	0,091	1,06	11,6	7,2	16,2	15,6
100	0,090	1,02	11,3	9,0	14,4	14,7
150	0,093	1,06	11,4	7,2	12,6	14,7
200	0,090	1,04	11,5	9,0	12,6	15,0
400	0,091	1,09	12,0	10,8	14,4	13,4

TABELA 4. Efeito da vinhaça (na presença de NP) no N-total, carbono, relação C/N, $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$ extraíveis e P assimilável (Método de Carolina do Norte) do solo, após 35 dias de incubação.

Vinhaça (com NP) m ³ /ha	N-total %	Carbono %	C/N	Nitrogênio extraível		P assimilável %
				$N-NH_4^+$ %	$N-NO_3^-$ %	
0	0,090	1,04	11,5	21,6	57,4	32,5
50	0,098	1,06	10,8	18,0	53,8	31,9
100	0,098	1,06	10,8	10,8	50,2	29,4
150	0,090	1,06	11,8	18,0	43,0	29,1
200	0,091	1,06	11,6	18,0	50,2	28,1
400	0,094	1,11	11,8	18,0	28,6	24,4

período de 35 dias de incubação, mostraram-se praticamente iguais (com exceção do tratamento que recebeu dose zero de vinhaça) àqueles existentes no início da incubação (6,8; 7,5; 8,2; 8,9; 9,6 e 12,0 ppm para as doses de vinhaça equivalentes a 0,50, 100, 150, 200 e 400 m³/ha, respectivamente). Sendo o "ion amônio" a forma preferencialmente absorvida pelos microorganismos e sabendo-se que a adição de vinhaça estimulou a proliferação de de microorganismos "proporcionalmente" à dose aplicada, surgem duas possibilidades para tentar explicar os níveis crescentes de $N-NH_4^+$, após o período de incubação nos vários tratamentos. Levando-se em consideração que o teor de nitrogênio, na fração filtrável da vinhaça estudada, representa aproximadamente 50% do N-total daquele resíduo acredita-se que uma quantidade apreciável do N-total seja prontamente mineralizada e usada no metabolismo de microorganismos que prolife-

rem após a adição da vinhaça. Existe ainda a possibilidade de fixação biológica de N₂ através de organismos de vida livre (principalmente bactérias). Testes preliminares, realizados com vinhaça neste mesmo solo, revelaram atividade de nitrogenase a partir do quarto dia de incubação; e resultados posteriores, com maior intervalo de dias, têm mostrado a ocorrência de aumentos naquela atividade.

Os teores de amônio dos tratamentos que receberam vinhaça na presença de NP (Tabela 4) tenderam a decrescer em relação àqueles existentes no início da incubação (25,8; 26,5; 27,2; 27,9; 28,6 e 31,4 ppm para as doses de vinhaça equivalentes a 0,50, 100, 150, 200 e 400 m³/ha). A vinhaça com NP parece ter estimulado a proliferação de microorganismos em nível proporcionalmente maior do que nos tratamentos que não receberam NP. A hipótese de uma possível nitrificação de amônio não justifica os decréscimos observados nos teores de

nitrito, conforme será visto adiante. A atividade da nitrogenase talvez não tivesse sido efetiva para os tratamentos que receberam NP, pois acredita-se que a mesma tenha sido reprimida na presença de níveis mais altos de amônio. Resta, portanto, como mais plausível, a hipótese de uma possível imobilização biológica, tendo em vista, a proliferação de microorganismos, "proporcional" às doses de vinhaça aplicadas.

A Tabela 4 mostra, também, os teores de nitrato em função da aplicação de doses crescentes de vinhaça complementada com NP, após 35 dias de incubação. Verifica-se que os teores de nitrato decrescem de modo drástico, proporcionalmente às doses de vinhaça adicionadas ao solo. Para a maior dose de vinhaça adicionada (400 m³/ha), observa-se um decréscimo de, aproximadamente, 30 ppm de nitrato em relação à dose zero (Tabela 4).

A vinhaça possui altos teores de carboidratos, apresentando alta demanda de oxigênio da atmosfera do solo para atender ao seu metabolismo oxidativo. Wijler & Delwiche (1954) demonstraram que quase 100% do nitrato adicionado a um solo, sob anaerobiose induzida por adição de carboidratos, transformou-se em óxido nitroso (N₂O) e nitrogênio (N₂).

Em face da improvável imobilização microbológica do nitrato, aceita-se a denitrificação como a sugestão mais razoável para explicar os decréscimos nos teores de nitrato com as crescentes doses de vinhaça, apesar de não ter sido medida a taxa de denitrificação neste experimento. Resultados semelhantes, porém em níveis inferiores, foram obtidos para os tratamentos que receberam vinhaça sem adição de NP (Tabela 3).

Os dados de P assimilável, para ambos os trata-

mentos (com e sem NP), indicam que a fixação ou imobilização do P aumentou substancialmente com as doses crescentes de vinhaça (Tabelas 3 e 4). Resultados semelhantes foram obtidos por Glória & Mattiazzi (1976).

O efeito da vinhaça, na ausência de NP, sobre os cátions trocáveis Ca, Mg, K e Na, aparece na Tabela 5. Verifica-se aumento dos teores de K, Ca e Mg com os níveis crescentes de vinhaça adicionada às amostras de solo, enquanto que os teores de Na mantiveram-se praticamente constantes. Esses resultados vêm corroborar os já observados por vários autores (Almeida 1952, Brieger 1977, Magro 1978). Os altos teores de K extraível nos diversos tratamentos já eram esperados, levando-se em consideração o elevado teor deste elemento na vinhaça estudada (1.360 mg/l). Os dados da Tabela 5, igualmente, mostram que, praticamente, todo o K introduzido no solo foi extraído com solução de ácido diluído. Entretanto, os valores de Ca e Mg trocáveis (Tabela 5) são bem superiores aos introduzidos pela vinhaça nos diversos tratamentos, especialmente na dose de 400 m³/ha, não se encontrando uma explicação plausível para o fato.

Os teores de K, Ca, Mg e Na, para os tratamentos onde a vinhaça foi complementada com NP (Tabela 6), foram semelhantes aos dos tratamentos que levaram apenas vinhaça.

O solo estudado apresentou PCZ = 3,2, valor este que permaneceu invariável nas amostras tratadas com 400 m³/ha de vinhaça, na presença ou ausência de NP, após 35 dias de incubação. Tem-se demonstrado que ânions especificamente adsorvidos podem deslocar o PCZ para valores mais baixos de pH, conferindo aos colóides uma superfície mais negativa e, conseqüentemente, uma maior capaci-

TABELA 5. Efeito da vinhaça (na ausência de NP) nos teores de K, Ca, Mg e Na trocáveis, após 35 dias de incubação.

Vinhaça m ³ /ha	Cátions trocáveis				Total
	K	Ca	Mg mEq/100 g	Na	
0	0,17	1,49	0,74	0,08	2,48
50	0,29	1,60	0,75	0,08	2,72
100	0,38	1,70	0,88	0,08	3,04
150	0,41	1,70	1,00	0,07	3,18
200	0,56	1,85	1,03	0,08	3,52
400	1,15	2,20	1,30	0,09	4,74

TABELA 6. Efeito da vinhaça (na presença de NP) nos teores de K, Ca, Mg e Na trocáveis, após 35 dias de incubação.

Vinhaça (com NP) m ³ /ha	K	Ca	Mg mEq/100 g	Na	Total
0	0,14	1,48	0,70	0,09	2,41
50	0,23	1,53	0,82	0,07	2,65
100	0,33	1,68	1,00	0,11	3,12
150	0,69	1,78	0,95	0,09	3,51
200	0,84	1,93	1,57	0,09	4,43
400	1,20	2,28	1,42	0,10	5,00

dade de retenção de cátions. Moraes et al. (1976) e Rajj & Peech (1972) atribuíram as pronunciadas diferenças, nos valores do PCZ entre os horizontes A e B de um mesmo solo, a modificações no conteúdo de matéria orgânica. Portanto, a matéria orgânica, possivelmente através de compostos orgânicos adsorvidos especificamente, contribui para a redução do PCZ para valores mais baixos de pH. Entretanto, os resultados aqui obtidos não mostram efeito da matéria orgânica da vinhaça no PCZ do solo, possivelmente em virtude da moderada quantidade de matéria orgânica introduzida com a dose equivalente a 400 m³/ha (Tabela 2) e ao já muito baixo valor do PCZ.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J.R. de. Interferência dos fungos na adubação do solo pela vinhaça. Piracicaba, ESALQ-Instituto Zimotécnico, 1953. 9 p. (Boletim, 5).
- _____. O problema da vinhaça. *Brasil açuc.*, 45: 72-7, 1955.
- _____. O problema da vinhaça. *O solo*, 1:73-5, 1952.
- ASGHAR, M. & KANEHIRO, Y. Effects of incorporating sugarcane trash on soil and plant characteristics. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOIL ENVIRONMENT AND FERTILITY MANAGEMENT IN INTENSIVE AGRICULTURE, Tokyo, 1977. Proceedings ... Tokyo, 1977. p. 714.
- BRIEGER, F. Observações sobre a distribuição de vinhaça ou caldo de destilaria no Estado de São Paulo. *Brasil açuc.*, 90:23-30, 1977.
- GLÓRIA, N.A. da. & MATTIAZZO, N.E. Efeito da matéria orgânica na solubilização de fosfatos no solo: III. Efeitos de resíduos de destilaria (vinhaça). *Brasil açuc.*, 87:55-62, 1976.
- HESSE, P.R. A textbook of soil analysis. New York, Chemical Publishing Co. Inc., 1971. 520 p.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, New Jersey Prentice - Hall Inc., 1958, 498 p.
- MAGRO, J.A. Uso da vinhaça em cana-de-açúcar na Usina de Pedra Serrana. *Brasil açuc.*, 92:40-8, 1978.
- MORAIS, F.I.; PAGE, A.L. & LUND, L.J. The effect of pH, salt concentration, and nature of electrolytes on the charge characteristics of brazilian tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40:521-7, 1976.
- RAIJ, B. van & PEECH, M. Electrochemical properties of some oxisols and alfisols of the tropics. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36:587-93, 1972.
- RANZANI, G. Conseqüências da aplicação do restilo ao solo. *An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz, Piracicaba*, 12:57-67, 1956.
- REZENDE, J.O. Conseqüências da aplicação de vinhaça sobre algumas propriedades físicas de um solo aluvial: estudo de um caso. Piracicaba, ESALQ, 1979. 112 p. Tese Doutorado.
- WIJLER, J. & DELWICHE, C.C. Investigations on the denitrifying process in soil. *Plant Soil*, 5:155-69, 1954.