

EFEITOS DA VINHAÇA SOBRE O pH DO SOLO, A GERMINAÇÃO E O ACÚMULO DE POTÁSSIO EM MILHO¹

GABRIEL A. SANTOS; ROBERTO O. P. ROSSIELLO²; MANLIO S. FERNANDES³
e PAULO C. O'GRADY⁴

RESUMO - Foi estudado, neste trabalho, o efeito da aplicação de doses crescentes de vinhaça sobre o pH do solo, a germinação do milho (*Zea mays* L.) e a resposta desta cultura à elevação do teor de sais da solução do solo. O experimento foi realizado em potes, em casa de vegetação, sendo utilizadas doses de vinhaça equivalentes a 0, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 m³/ha. Sobre a germinação do milho, avaliada através da emergência de plântulas, o efeito fez-se sentir ao nível de 800 m³/ha, onde foi de 50% o decréscimo da taxa de germinação, queda que aumentou para 65% na dose equivalente a 1.600 m³/ha. O pH tende a elevar-se com a aplicação de doses crescentes de vinhaça. Foram observados incrementos de até 0,99 unidades de pH. O peso de raízes e parte aérea aumenta com a aplicação de doses crescentes de vinhaça, alcançando um máximo na dose correspondente a 800 m³/ha. Para o tratamento correspondente a 1.600 m³/ha, foi observado o mínimo peso total e o mínimo de acúmulo de matéria seca. Um aumento observado na suculência da parte aérea das plantas correlaciona-se positivamente com a percentagem de K nos tecidos (r = 0,80). A variação da condutividade elétrica do extrato de saturação foi de 0,31 mmhos/cm para a dose de 50 m³/ha, até 7,95 mmhos/cm para a dose mais elevada. O aumento da percentagem de K nos tecidos e a variação da condutividade elétrica no extrato de saturação indicam que o aumento da suculência é uma resposta das plantas ao aumento dos teores de sais na solução do solo, causado pela aplicação de elevadas doses de vinhaça rica em potássio.

Termos para indexação: vinhaça, milho, pH do solo, taxa de germinação, acumulação de potássio.

EFFECTS OF STILLAGE ON SOIL pH, GERMINATION RATE AND POTASSIUM ACCUMULATION IN CORN

ABSTRACT - A greenhouse study was conducted on the effects of increasing levels of soil applied stillage on soil pH, germination and growth patterns of corn (*Zea mays* L.). Stillage was applied to soil in pots, at levels corresponding to 0, 50, 100, 200, 400, 800 and 1,600 m³/ha. Plant germination decreased in 50% for the 800 m³/ha treatment and in 65% for the 1,600 m³/ha treatment. Stillage applications increased soil pH values, up to 0,99 pH unit. Up to the 800 m³/ha treatment, stillage applications increased the dry matter accumulation of both shoots and roots. At 1,600 m³/ha, a sharp decrease in dry weights of shoots and roots occurred. Plant potassium contents (expressed as percentage of dry weight), increased as the stillage applications increased and a positive relationship was found between plant-K and tissue succulence. At the same time, electrical conductivity of soil increased from 0,31 mmhos/cm for the 50 m³/ha treatment, to 7,95 mmhos/cm for the 1,600 m³/ha treatment. This increase in electrical conductivity of the soil combined with the high plant-K content and tissue succulence, with increasing levels of stillage application, led to postulate that the increase in tissue succulence was the plant response to the increase in soil salinity.

Index terms: stillage, corn, soil pH, germination rate, potassium accumulation.

INTRODUÇÃO

Em face da perspectiva de expansão da indústria açucareira e, principalmente, alcooleira, torna-se de fundamental importância o uso racional da

vinhaça. Atualmente, um volume considerável da vinhaça produzida é despejada em rios, causando sérios problemas de poluição. Uma alternativa para a utilização da vinhaça é a sua aplicação direta como fertilizante, por seu elevado teor de potássio (Glória et al. 1973). A literatura apresenta grandes variações quanto aos níveis de vinhaça aplicados ao solo, abrangendo uma ampla faixa, que compreende desde valores em torno de 40 m³/ha (Stupiello et al. 1977) até 1.000 m³/ha (Rodella & Ferrari 1977). A aplicação de níveis elevados de vinhaça pode determinar um aumento na concentração salina do solo, o que pode refletir-se no decréscimo da produção vegetal. Embora exista um volume de

- 1 Aceito para publicação em 17 de maio de 1980. Trabalho executado com recursos do Convênio UFRRJ. Departamento de Solos-FINEP. Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado em julho, 1979, Manaus.
- 2 Eng.^o Agr.^o, M.Sc., Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), km 47, Antiga Rodovia Rio/S. Paulo, CEP 23.460 - Seropédica, RJ.
- 3 Eng.^o Agr.^o, Ph.D., UFRRJ, Seropédica, RJ.
- 4 Eng.^o Agr.^o, UFRRJ, Seropédica, RJ.

informação relativamente amplo com relação à resposta vegetal à salinidade, na maioria dos casos têm sido empregados sais do sódio como agentes osmóticos. Menos estudados são os efeitos de elevadas concentrações de potássio como agente salinizante.

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta relativamente sensível ao aumento na concentração salina da solução do solo, sendo principalmente afetado durante a germinação e no primeiro estágio do seu desenvolvimento vegetativo, tendo Bernstein (1964) observado uma queda de 50% na produção de milho quando a eletrocondutividade do extrato de saturação do solo atinge um valor de 7,0 mmhos/cm.

Neste trabalho, estudou-se o efeito de doses crescentes de vinhaça sobre o pH do solo, a germinação de sementes, o acúmulo de matéria seca e a absorção de potássio em plantas de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com vasos plásticos de capacidade de dois litros. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Empregou-se um solo Podzólico Vermelho-Amarelo (Typic Hapludult, Ramos et al. 1973), da área experimental de UFRRJ, coletado na camada superficial (0 - 20 cm). Este solo apresentou as seguintes características: pH em água, 5,7; Ca + Mg, 2,0 mEq/100 cm³ de solo; Al, 0,1 mEq/100 cm³ de solo; K, 60 ppm; P, 20 ppm; % C, 1,3, analisados segundo os métodos descritos por Vettori (1969). A vinhaça utilizada foi proveniente de mosto misto (caldo e melaço), coletada na Usina Outeiro, município de Campos, RJ. A análise química da vinhaça apresentou os seguintes valores: N total, 497 mg/l; N-NO₃, 3,5 mg/l; N-NH₄, 28 mg/l; Ca, 23,3 mg/l; Mg, 26,0 mg/l; P, 18,9 mg/l; K, 1.250 mg/l, determinados segundo os métodos preconizados pelo EPA (Environmental Protection Agency 1974).

Foram usados sete níveis de vinhaça, correspondentes a 0, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 m³/ha. Os valores de líquido aplicados foram iguais em todos os tratamentos, completando-se com água destilada, quando necessário, a fim de serem obtidos volumes finais equivalentes a 1.600 m³/ha. A aplicação foi dividida em quatro parcelas de idêntico volume, (observando-se o intervalo de uma semana entre duas aplicações consecutivas), de forma a manter aproximadamente o mesmo teor de umidade no solo (capacidade de campo), em todos os tratamentos. Uma semana após a última aplicação, o solo foi retirado dos potes, homogeneizado e coletadas amostras para determinação do pH (1 : 2,5 em água). Antes do plantio,

foram aplicados em todos os tratamentos 40 ppm de N na forma de NH₄NO₃.

O efeito das diferentes doses de vinhaça sobre a germinação das sementes de milho (*Zea mays* L.), variedade Pirão, foi determinado através do plantio de 20 sementes por pote e de duas contagens (sete e quinze dias após o plantio) das sementes que germinaram. Foi considerada como germinada toda semente que apresentou emergência de coleótilo. Após este período, as plantas foram desbastadas para duas por pote. Trinta dias após o plantio foram coletadas raízes e parte aérea, e foi determinado o peso fresco. O material foi secado em estufa de circulação de ar (48 horas a 60°C) e o peso seco correspondente foi registrado. A matéria seca total foi calculada como a soma do peso seco das raízes e da parte aérea. O teor de K nas raízes e na parte aérea foi determinado por fotometria de chama após digestão nítrico-perclórica (Sarruge & Haag 1974). No solo, após a colheita, foram determinados o pH em água e a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE), segundo Estados Unidos, Department of Agriculture, 1975.

A diferença entre os valores de pH do solo observados após a aplicação da vinhaça (antes do plantio) e após a colheita das plantas foi calculada e designada como ΔpH (Fernandes & Rossiello 1978).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de doses crescentes de vinhaça ao solo inibiu a emergência das plantas de milho, a partir de 50 m³/ha, observando-se o máximo de inibição na dose mais elevada (Tabela 1). Houve pouca variação no efeito da aplicação da vinhaça sobre a emergência das plantas, quando medido aos sete e aos quinze dias após a aplicação. A Tabela 1 mostra que ocorreu uma redução de 50% na emergência com a segunda dose mais elevada (800 m³/

TABELA 1. Efeito da aplicação de doses crescentes de vinhaça sobre a percentagem de emergência de plântulas de milho (*Zea mays* L.).

Tratamentos m ³ /ha	Dias após o plantio	
	7	15
% em relação ao controle		
0	100	100
50	88.4	84.8
100	76.7	69.8
200	74.4	69.6
400	74.4	73.9
800	51.2	54.3
1.600	34.9	36.9

ha), aumentando essa redução para pouco mais de 60%, com a duplicação do teor de vinhaça no solo. Por outro lado, pouca variação houve na percentagem de emergência, com a elevação, no volume de vinhaça aplicada, de 100 para 400 m³/ha (Tabela 1). Estes dados indicam que o principal efeito das doses crescentes de vinhaça foi o de reduzir a percentagem da germinação total, e não sobre o retardamento da germinação.

A aplicação de doses crescentes de vinhaça afetou o pH do solo. Uma semana após a aplicação da vinhaça, e antes do plantio, verificou-se um significativo aumento do pH a partir da aplicação de 200 m³/ha (Tabela 2). A Tabela 2 também mostra que neste período (sete dias após a aplicação) não se observaram diferenças significativas de pH entre 0 e 100 m³/ha. Também não foram significativas as diferenças de pH entre 200 e 800 m³/ha. Ao nível mais elevado de vinhaça aplicada ao solo (1.600 m³/ha), observou-se maior variação de pH (0,99 unidades) em relação à testemunha (nível 0).

Ao fim do período experimental (30 dias após o plantio), a variação do pH do solo ainda exibe a mesma tendência observada no início, mas com variações de intensidade. Assim, houve um decréscimo do pH do solo com a aplicação de 50 a 100 m³/ha de vinhaça, enquanto que ao nível de 200 e 400 m³/ha não houve diferença significativa de pH em relação à testemunha (nível 0). Ao fim do período experimental, a variação máxima

de pH (0,53 unidades) em relação à testemunha também ocorre ao nível mais elevado de vinhaça aplicado ao solo (1.600 m³/ha), vindo, logo a seguir, a variação causada pelo segundo nível mais elevado de vinhaça (800 m³/ha). Estes resultados confirmam as observações de Almeida et al. (1951), e de Valsecchi & Gomes (1954). As variações de pH entre as duas épocas (antes do plantio e após a colheita) mostraram que, para a segunda época (após a colheita), o pH é inferior ao observado antes do plantio, para todos os tratamentos, exceção feita aos tratamentos de 0 e 50 m³/ha (Tabela 2). Esta variação de pH (Δ pH) entre as duas medições é bem pequena, exceto para a aplicação de 1.600 m³/ha (0,31 unidades de pH). Embora uma mudança contínua do potencial "redox" do solo possa, em parte, explicar essa queda de pH (Döbereiner & Alvahydo 1966), é possível também que essa queda resulte da absorção, pelas plantas, de um excesso de cátions em relação a ânions, com a conseqüente extrusão de H⁺ (Fernandes & Rossiello 1978). Sendo K o íon dominante na composição da vinhaça usada neste experimento, a aplicação de doses crescentes da vinhaça resulta num aumento crescente de K⁺ na solução do solo. A condutividade elétrica do extrato de saturação (ao fim do período experimental) mostra que houve, efetivamente, aumento da concentração de sais com a aplicação de doses crescentes de vinhaça ao solo (Tabela 2). A participação do K⁺ no aumento da concentração sali-

TABELA 2. Efeitos da aplicação de doses crescentes de vinhaça sobre o pH e a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo.

Tratamentos m ³ /ha	pH do Solo		Δ pH	Condutividade elétrica CE _e (mmhos/cm) a 25°C
	Após aplicação da vinhaça	Após a colheita das plantas		
0	5,82	5,97	- 0,15	0,23
50	5,84	5,84	0,00	0,31
100	5,80	5,75	+ 0,05	0,50
200	6,05	5,94	+ 0,11	0,80
400	6,10	5,95	+ 0,15	1,62
800	6,21	6,14	+ 0,07	3,30
1.600	6,81	6,50	+ 0,31	7,95
D.M.S. 0,05 (Tukey)	0,19	0,15	-	0,70

na pode ser inferido pelo níveis crescentes de acumulação de K^+ na parte aérea e na raiz das plantas cultivadas nesses solos (Tabela 3). A partir de $800 \text{ m}^3/\text{ha}$ de vinhaça aplicada ao solo, a concentração de K^+ duplicou na parte aérea das plantas em relação ao nível zero, e, nas raízes, aumentou 3,9 vezes (Tabela 3). A Fig. 1 mostra a reta de regressão do K-total (raiz + parte aérea) acumulado pelas plantas submetidas a doses crescentes de vinhaça, pela variação de pH (ΔpH) antes e depois da colheita das plantas.

Os resultados da Fig. 1 mostram que, nas condições deste experimento, a extrusão de H^+ , resultante da absorção preferencial de cátions sobre ânions, pode ser uma das causas da variação de pH ocorrida durante o crescimento das plantas. Estes resultados estão de acordo com as observações de Riley & Barber (1971). A Tabela 3 mostra ainda que, ao nível mais elevado ($1.600 \text{ m}^3/\text{ha}$), embora a concentração de K (percentagem de matéria seca) seja elevada, o total absorvido por pote pouco diferiu do nível zero de vinhaça no solo. Esta diferença é explicada pela variação no peso seco da parte aérea e da raiz (Tabela 4). O peso seco da parte aérea aumenta com a aplicação de doses crescentes de vinhaça, atingindo o máximo ao nível de $800 \text{ m}^3/\text{ha}$, caindo em seguida até atingir o mínimo de acumulação de matéria seca ao nível de $1.600 \text{ m}^3/\text{ha}$ (Tabela 4).

A Tabela 4 mostra também um aumento na suculência da parte aérea das plantas, a partir do

TABELA 3. Efeito da aplicação de doses de vinhaça no acúmulo de K em milho (*Zea mays* L.).

Tratamentos m^3/ha	Parte aérea		K-total absorvido, em g por pote
	K em % da matéria seca		
0	2,5	0,9	0,12
50	3,2	1,7	0,16
100	4,0	2,1	0,19
200	4,0	2,2	0,23
400	4,6	2,9	0,28
800	5,2	3,5	0,41
1.600	5,2	3,8	0,18
D.M.S. 0,05 (Tukey)	1,00	1,1	0,063

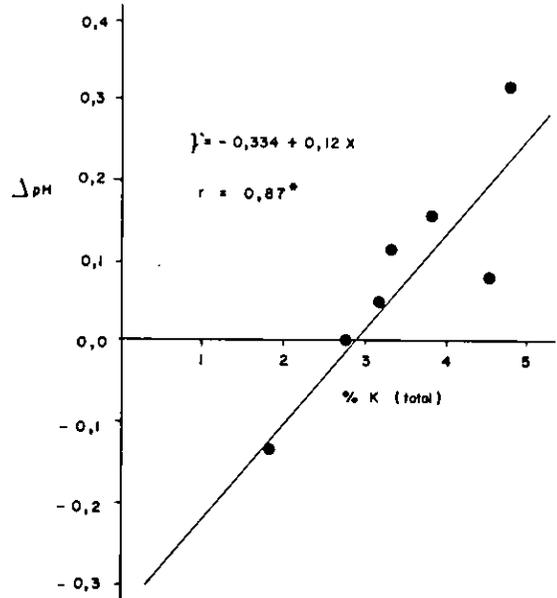


FIG. 1. Relação entre a porcentagem de K total acumulado por plantas de milho e o ΔpH (ΔpH representa as variações observadas entre valores de pH em água, tomadas antes do plantio e após a colheita das plantas).

tratamento a $100 \text{ m}^3/\text{ha}$. O peso seco das raízes também aumenta com a aplicação das doses crescentes da vinhaça. Do mesmo modo que na parte aérea, ocorre um máximo de acumulação de matéria seca ao nível de $800 \text{ m}^3/\text{ha}$, e um mínimo no nível mais elevado ($1.600 \text{ m}^3/\text{ha}$).

Nas raízes, o aumento de suculência só é significativo para o nível mais alto da aplicação. Também a acumulação de matéria seca total (raiz e parte aérea), por vaso, atinge o máximo ao nível de $800 \text{ m}^3/\text{ha}$ e o mínimo ao nível de $1.600 \text{ m}^3/\text{ha}$ (Tabela 4). É interessante notar que, nos tratamentos em que ocorre o máximo de acumulação de matéria seca, a condutividade elétrica, no extrato de saturação do solo, foi de $3,3 \text{ mmhos/cm}$ (Tabela 2). Ao nível seguinte de aplicação ($1.600 \text{ m}^3/\text{ha}$), a condutividade praticamente duplica (Tabela 2), e a acumulação de matéria seca é mínima (Tabela 4).

O aumento de suculência da parte aérea das plantas, está positivamente correlacionado com a porcentagem de K^+ nos tecidos ($r = 0,80$). Esta

TABELA 4. Matéria seca na raiz e parte aérea de milho (*Zea mays* L.) cultivado em solo, sob doses crescentes de vinhaça.

Tratamentos m ³ /ha	Parte aérea		Raiz		Matéria seca total (raiz + p.a)
	Matéria seca (g)	Matéria seca (%)	Matéria seca (g)	Matéria seca (%)	
0	3,9	16,0	2,8	10,2	6,7
50	3,8	14,5	2,7	9,2	6,5
100	3,5	13,6	2,6	9,8	6,1
200	4,1	13,0	2,8	9,1	6,9
400	4,3	12,1	3,1	9,2	7,4
800	5,5	11,6	3,5	9,7	9,0
1.200	2,4	11,6	1,2	7,3	3,6
D.M.S. 0,05 (Tukey)	0,61	2,21	0,82	1,7	1,1

correlação e a variação da condutividade elétrica do extrato de saturação apresentada na Tabela 2 indicam que o aumento de suculência é uma resposta ao aumento da salinidade do solo, provocado pela aplicação de vinhaça com teores elevados de K⁺. Estes resultados confirmam trabalhos anteriores (Poljakoff-Mayber 1975) e sugerem a possibilidade de que as variações no Pol% observado por Stupiello et al. (1977), em cana-de-açúcar, reflitam um desdobramento de carboidratos por aquelas plantas, como resposta à salinidade em solos onde a vinhaça é aplicada regularmente.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J.R.; RANZANI, G. & VALSECCHI, O. L., *Emploi de la vinasse dans l'agriculture*. Piracicaba, SP, ESALQ - Instituto Zimotécnico, 1951. 16p. (Boletim, 2)
- BERNSTEIN, L. Effects of salinity on mineral composition and growth of plants. *Plant. Anal. Fert. Problems*, 4 : 25-45, 1964.
- DÖBEREINER, J. & ALVAHYDO, R. Eliminação da toxicidade de manganês pela matéria orgânica em solos "gray" hidromórfico. *Pesq. agrop. bras.*, 1 : 243-48, 1966.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Methods for chemical analysis of water and wastes*. Cincinnati, Ohio, National Environmental Research Center, 1974. 298p.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Salinity Laboratory Staff. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. 1975. 160p. (USDA Hddk-60).
- FERNANDES, M.S. & ROSSIELLO, R.O.P. Effects of NH₄ and a nitrification inhibitor on soil pH and phosphorus uptake by corn (*Zea mays* L.). *Cereal Res. Commun.*, 6 : 183-91, 1978.
- GLÓRIA, N.A.; SANTA ANA, A.G. & BIAGI, E. Composição dos resíduos de usina de açúcar e destilarias. *Brasil açuc.*, 81 : 78-87, 1973. p. 4
- RAMOS, D.P.; CASTRO, A.F. & CAMARGO, M.N. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. *Pesq. agropec. bras.*, 8 : 1-27, 1973.
- RILEY, D. & BARBER, S. Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root induced pH changes at soil interface. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 35:301-6, 1971.
- RODELLA, A.A. & FERRARI, S.E. Composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana-de-açúcar. *Brasil açuc.*, 90 : 6-13, 1977.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H. P. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba, ESALQ. 1974. 56p.
- STUPIELLO, P.; PEIXE, C.A.; MONTEIRO, C.A. & SILVA, L.H. Efeitos da aplicação de vinhaça como fertilizante na qualidade da cana-de-açúcar. *Brasil açuc.*, 90:41-50, 1977.
- VALSECCHI, O. & GOMES, F.P. Solos incorporados com vinhaça e seu teor de bases. *An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz*, 11 : 136-58, 1974.
- VETTORI, L. *Métodos de análises de solos*. Rio de Janeiro. EPFS, MA. 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)