

Condutividade elétrica após aplicação de vinhaça *in natura* e concentrada em colunas de solo⁽¹⁾

Fabiane Karen Godoy⁽²⁾; Washington Luiz Pereira⁽³⁾; Marcio Roberto Soares⁽⁴⁾; José Carlos Casagrande⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

⁽²⁾ Mestranda pelo Programa de Pós-graduação Agricultura e Ambiente; Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Agrárias; Araras; São Paulo; godoy.fabiane@gmail.com; ⁽³⁾ Graduando em Bacharelado em Agronomia; Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais; wlpereirau2@hotmail.com; ⁽⁴⁾ Professor Adjunto IV; Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Agrárias; Araras; São Paulo; mrsoares@cca.ufscar.br; ⁽⁵⁾ Professor Associado III; Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Agrárias; Araras; São Paulo; bighouse@cca.ufscar.br.

RESUMO: A vinhaça é o principal efluente líquido produzido pelo setor sucroalcooleiro e tem sido amplamente utilizada como fertilizante. Sua utilização pode ocasionar o acúmulo de íons no solo, o que podem alterar, por exemplo, a condutividade elétrica. O uso da vinhaça concentrada tem se intensificado, já que promove o reaproveitamento da água e redução dos custos com transporte. O objetivo deste trabalho foi avaliar a condutividade elétrica em um Latossolo após a aplicação de vinhaça *in natura* e concentrada. O experimento foi conduzido em colunas de PVC preenchidas com solo LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico (LVe), coletado em quatro camadas distintas. As vinhaças *in natura* e concentrada foram aplicadas em duas dosagens diferentes, calculadas pela equação da norma CETESB P4.231/2006. Para monitoramento da condutividade elétrica da última camada de solo (profundidade de 1,15m a 1,35m), durante 10 semanas, foi instalada uma sonda de TDR. Os resultados mostraram que existe tendência de aumento da condutividade elétrica em todos os tratamentos onde foi aplicada a vinhaça, apesar de os valores não apresentarem diferença significativa pelo teste de Tukey (5%). Os maiores valores de condutividade elétrica foram observados no tratamento com vinhaça concentrada na maior dosagem, o que pode estar relacionado à contribuição dos íons que este efluente contém.

Termos de indexação: solos tropicais, resíduos agroindustriais, sondas de TDR.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o único país do mundo a implantar um combustível alternativo ao petróleo em larga escala. Para cada litro de álcool, são produzidos de 10 a 15 litros de vinhaça, efluente com composição bastante variável que depende do

processo industrial e da qualidade da cana-de-açúcar (Ravagnani et al. 2007).

A fertirrigação com vinhaça é bastante difundida nas regiões canavieiras brasileiras, já que se obtém resultados satisfatórios em relação às alterações químicas que beneficiam a fertilidade do solo, através do aumento dos teores de matéria orgânica, nitrogênio (N-NO₃⁻), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) (Ferreira & Monteiro, 1987). Entretanto, a aplicação inadequada de vinhaça pode contribuir para o aumento excessivo de K e de sódio (Na), que influenciam o aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (Brito et al., 2005).

A norma P4.231 (CETESB, 2006) representa importante instrumento de gestão ambiental, já que racionaliza a dosagem para a boa prática da disposição de vinhaça em solo agrícola. Existem indicações evidentes da presença de íons da vinhaça nas águas subterrâneas, mas há expectativa de que as dosagens atualmente praticadas em virtude da normatização, associadas à manutenção da palhada pela colheita da cana crua, tornem remotas as possibilidades de violação da qualidade das águas ou, pelo menos, que as restrinjam a condições específicas de solos arenosos, rasos ou remanescentes das épocas desregradadas.

A Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) vem sendo cada vez mais utilizada para determinação da umidade do solo em pesquisas de manejo e de conservação da água e do solo. (Coelho et al., 2005). Com a utilização da TDR, é possível determinar, simultaneamente, o teor de água e a condutividade elétrica. Neste contexto, a técnica é atrativa para o monitoramento ambiental de áreas que recebem efluentes líquidos, como a vinhaça.

O objetivo deste trabalho é avaliar as alterações da condutividade elétrica do solo (CEs), através de sondas de TDR, em um LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico após a aplicação de vinhaça *in natura* e concentrada.

MATERIAL E MÉTODOS

A vinhaça foi coletada em uma usina de açúcar e álcool do Estado de São Paulo, de um mesmo lote, nas formas *in natura*, diretamente das colunas de destilação a 95 °C, e concentrada por evaporação, diretamente do concentrador da usina.

A vinhaça foi aplicada de acordo com a norma P4.231 (CETESB, 2006). A dose de vinhaça *in natura* na dosagem calculada pela norma CETESB foi de 111,54 m³/ha, o que representou 197,11 mL (V1) e 394,22 mL, para a taxa dobrada (V2). Para a vinhaça concentrada, a dosagem calculada através da norma foi de 30,01 m³/ha, ou seja, 53,03 mL (C1). No tratamento C2, ou seja, taxa calculada multiplicada por dois, foram adicionados 106,06 mL. Os tratamentos foram conduzidos em triplicata, incluindo as colunas testemunha sem aplicação de vinhaça.

Na base das colunas de PVC, de 150 mm de diâmetro por 170 cm de altura, foi montado um sistema filtrante, constituído por argila expandida, pano multiuso e tela de nylon, para evitar a perda de solo. Posteriormente, as colunas foram preenchidas com o LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico (LVe) (EMBRAPA, 2006), coletadas no Centro de Ciências Agrárias da UFSCar, *Campus* de Araras – SP, em quatro camadas distintas: 0-0,2 m, 0,2-0,5 m, 0,5-0,8 m e 0,8-1,1m. O solo foi seco ao ar e passado por peneira de malha de 2 mm (EMBRAPA, 1997). Em campo, subamostras foram coletadas para a caracterização química (**Tabela 1**) e análise granulométrica pelo método do densímetro (**Tabela 2**).

As camadas foram acomodadas de acordo com sua densidade e profundidade real no campo até a altura de 1,50 metros, definida conforme a norma P4.231 (CETESB, 2006), que estabelece a profundidade mínima de 150 cm para o nível d'água do aquífero livre, no momento da aplicação da vinhaça. A coluna de solo foi saturada 15 dias antes do início do experimento.

Foram introduzidas sondas de TDR (*Time Domain Reflectometer*), com haste de 20 cm, na camada mais profunda de solo, entre 1,15 e 1,35 m. As sondas de TDR foram do tipo contínua e homogênea ($K_p = 2,651$), formadas por três hastas de aço conectadas em um cabo coaxial. Estiveram acopladas a um refletômetro TDR100 (Campbell Scientific, Logan-Utah). Utilizou-se a equação empírica de Topp et al. (1980) e através das sondas foi mensurada a condutividade elétrica do solo (CEs).

Tabela 1 – Atributos químicos de LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico (LVe) utilizado no experimento.

Parâmetro ¹	Profundidade (m)			
	0-0,2	0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,1
P _{res} mg dm ³	4	1	1	1
M.O. g dm ³	24	17	12	11
pH (em CaCl ₂)	5,9	5,6	5,9	6
Ca ²⁺	41	26	17	17
Mg ²⁺	11	9	7	7
H+Al mmol _c dm ³	26	25	21	18
SB	52,8	35,4	23,6	24,8
CTC _t	78,8	60,4	44,6	42,8
V %	67	59	53	58
NO ₃ ⁻ µg g ⁻¹	34,07	19,86	10,47	13,47

¹ teores de NO₃⁻ foram determinados em espectrofotômetro a 470 nm, após extração pelo método da brucina; demais parâmetros foram determinados conforme Camargo et al. (2009).

Tabela 2 – Resultados da análise granulométrica do LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico (LVe) utilizado no experimento.

Camadas (cm)	Análise Granulométrica				
	Argila	Areia (%)			Silte
	(%)	Grossa	Fina	Total	(%)
0 - 20	58,7	6,7	8,0	14,7	26,7
20 - 50	63,0	6,0	8,0	14,0	23,0
50 - 80	57,7	5,7	9,0	14,7	27,7
80 - 110	56,6	6,0	8,7	14,7	29,0

A quantidade de água e a frequência de aplicação foram definidas de acordo com o comportamento da chuva na região de Araras – SP no período de outubro, novembro e as 2 primeiras semanas de dezembro, de acordo com os dados obtidos sistema HIDROWEB da Agência Nacional de Águas. Por um período de 10 semanas, foram realizadas medições da condutividade elétrica do solo a fim de avaliar alterações após a aplicação de vinhaça.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, no esquema de parcelas subdivididas. Foram realizados o teste F e o teste de Tukey através do software Assistat, versão 7.6.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As vinhaças *in natura* e concentrada utilizadas no experimento apresentaram a composição que consta na **tabela 3**.

Tabela 3 – Caracterização das vinhaças *in natura* e concentrada coletadas para o experimento.

Parâmetro	Unidade	Vinhaça	
		<i>In natura</i>	Concentrada
pH	----	4,06	4,26
SST ¹	mg L ⁻¹	3.980	40.700
Dureza Total	mg L ⁻¹	1.620	99.851
CE ²	dS m ⁻¹	5,39	17,13
N-NO ₃ ³	mg L ⁻¹	0,643	10,605
N-NO ₂	mg L ⁻¹	0,115	0,904
N-NH ₃ ⁴	mg L ⁻¹	7,54	19,89
N-K ⁵	mg L ⁻¹	14,66	265,44
Sódio (Na)	mg L ⁻¹	398,6	1592,2
Cálcio (Ca)	mg L ⁻¹	398,6	15930
Potássio (K ₂ O)	kg m ⁻³	4,80	17,50
Magnésio (Mg)	mg L ⁻¹	151,68	14588
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg L ⁻¹	1.794,62	10529, 28
Fosfato total	mg L ⁻¹	10,74	118,6
DBO ₅ ⁶	mg L ⁻¹	23.660,00	72.453,30
DQO ⁷	mg L ⁻¹	59.150	211.200

Norma CETESB P4.231/2006: ¹Sólidos Suspensos Totais (Resíduo não filtrável total); ²Condutividade Elétrica; ³Análise por cromatografia de troca iônica; ⁴ Nitrogênio Amoniacal; ⁵ Nitrogênio Kjeldhal; ⁶Demanda Bioquímica de Oxigênio em 5 dias. ⁷Demanda Química de Oxigênio.

Parâmetros de Ayers & Westcot (1985) para a qualidade de água de irrigação podem ser empregados na avaliação da vinhaça, amplamente utilizada na fertirrigação. Segundo os autores, valores de condutividade elétrica superiores a 3,0 dS m⁻¹ indicam grau severo de restrição de uso. Por estes critérios, a vinhaça *in natura* poderia ser considerada imprópria para uso na fertirrigação, assim como a vinhaça concentrada, que apresentou valores de condutividade elétrica seis vezes maiores do que o limite de grau severo de restrição para uso (**Tabela 3**).

Ayers & Westcot (1985) consideram concentração de Na superior a 3 mmol_c L⁻¹ na água de irrigação como indicativo de grau moderado de restrição de uso. Valores de 17 e 69 mmol_c L⁻¹ de Na foram encontrados nas vinhaças *in natura* e concentrada, respectivamente (**Tabela 3**).

A análise isolada dos parâmetros da vinhaça quanto a sua qualidade para irrigação pode distorcer a avaliação do seu impacto no solo no que se refere à salinização. Uma análise complementar pode levar em conta os critérios adotados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS - EMBRAPA, 2006), tais como a

condutividade elétrica (CE a 25°C), a porcentagem de sódio trocável (PST), a razão de adsorção de sódio (RAS) e o pH do solo, para verificar a possibilidade de se tratar de um solo afetado por sais e buscar classificá-lo como salino, sódico ou salino-sódico.

Ao longo de dez semanas de monitoramento, houve tendência de aumento da CE em todos os tratamentos (**Figura 1**). Entretanto, a análise de variância pelo teste F mostrou que não houve diferença significativa entre os tratamentos e na interação tratamentos x tempo. Somente a variável tempo foi significativa a 1% e a 5%. Pelo teste de Tukey a 5% de significância, as médias dos valores de condutividade elétrica do solo de todos os tratamentos, a cada semana, foram diferentes, fato que comprova que a adição de água promoveu a lixiviação dos nutrientes do solo, entretanto a vinhaça pode não ter influenciado significativamente no aumento de CEs no período avaliado.

Os resultados de CEs da camada 1,15 e 1,35 m, decorridos dez semanas da aplicação de vinhaça, estiveram acima de 0,030 dS m⁻¹ nos tratamentos V2, C1 e C2 (**Figura 1**). Conforme o SiBCS, valores de CEs acima de 4,0 dS m⁻¹, associados a PST < 15%, RAS < 13 e pH < 8,5, caracterizam solos salinos. Provavelmente, a retenção dos íons Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺ pela CTC_t do solo (**Tabela 1**) tenha impedido a lixiviação intensa destes íons a ponto de alterar a condutividade elétrica na profundidade estudada. Além disso, o LVe empregado neste experimento não havia recebido vinhaça anteriormente. Entretanto, mesmo atendendo às condições estabelecidas pela norma CETESB P4.231/2006 com relação à concentração de K, no tratamento C1, a concentração de outros elementos como Ca, Mg, e Na podem resultar no aumento da CEs, mesmo em profundidade, considerando que os valores do tratamento testemunha não ultrapassaram 0,025 dS m⁻¹ (**Figura 1**).

Solos que recebem doses elevadas de vinhaça, principalmente, ao longo do tempo, podem apresentar aumento exagerado da concentração de K e Na, causando desbalanço com Ca e Mg. Isso significa que, mesmo não tendo encontrado valores elevados de CEs, a aplicação inadequada de vinhaça *in natura* e concentrada pode comprometer a fertilidade do solo, com repercussão negativa sobre a proporcionalidade de distribuição das bases trocáveis. É conveniente o monitoramento constante dos atributos químicos e físicos do solo em áreas que recebem a aplicação de vinhaça, já que as novas tecnologias de produção de açúcar e álcool que tem sido utilizadas pelo setor sucroalcooleiro podem alterar as características da vinhaça.

CONCLUSÕES

Há uma tendência de aumento da condutividade elétrica do solo após a aplicação das vinhaças *in natura* e concentrada.

Os maiores valores de condutividade elétrica podem ser encontrados nas maiores dosagens de vinhaça e quando utilizada a vinhaça concentrada.

Constata-se um aumento significativo da CE a cada semana, considerando todos os tratamentos, entretanto a adição de vinhaça pode não ser a causa para a alteração da condutividade elétrica do solo no período estudado, e sim, a natureza química do solo e a adição intensa de água.

REFERÊNCIAS

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. Water quality for agriculture. Roma: FAO, 1985. 174 p. (Irrigation and Drainage Paper, 29, Rev. 1).

FERREIRA, E.S.; MONTEIRO, A.O. Efeitos da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Boletim Técnico Copersucar, 37:3-7. 1987.

BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 9:52-56, 2005.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas: IAC, 2009. 77p. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada)

COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.. Sonda de TDR para estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo, com uso de multiplexadores. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 9:475-480, 2005.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Norma Técnica P 4.231. Vinhaça: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo, dez. 2006. 12p. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/P4_231.pdf>. Acesso em 10 abr. 2013.

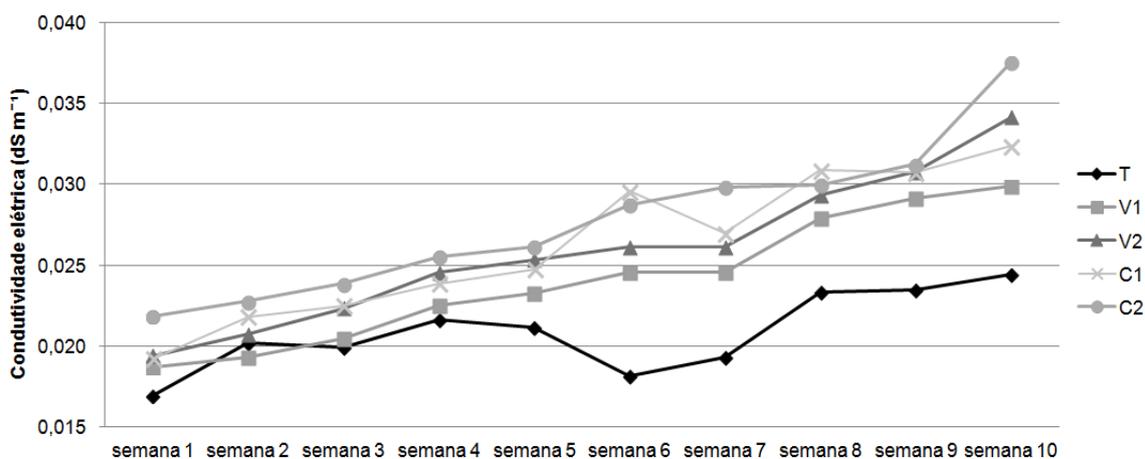
COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo: 2007-2009. São Paulo, 2010. Série Relatórios. 258p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

RAVAGNANI, M.A.S.S., RIGHETTO, A. R. & MARQUINI, M. F. Improving energetic performance and water usage in an industrial ethanol distillery. IChemE, 6:526-532, 2007.

TOPP, G. C., DAVIS, J.L. & ANNAN, A. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. Water Resources Research, 3:574-582. 1980.



T – Testemunha; V1 – Tratamento com vinhaça *in natura* na dose calculada pela norma P4.231; V2 – Vinhaça Tratamento com vinhaça *in natura* na dose calculada pela norma P4.231 multiplicada por dois; C1 – Vinhaça concentrada na dose calculada pela norma P4.231; C2 – Vinhaça concentrada na dose calculada pela norma P4.231 multiplicada por dois.

Figura 1 – Avaliações da condutividade elétrica da última camada de solo, durante o período de 10 semanas, mensurada através das sondas de TDR instaladas na profundidade de 1,15 a 1,35 metros nos cinco tratamentos do experimento.