



# ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS E QUÍMICOS DO SOLO SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA

Daniel Alves Mundim<sup>1</sup>, Robson Bonomo<sup>2</sup>, Fábio Ribeiro Pires<sup>2</sup> & Joabe Martins de Souza<sup>3</sup>

**RESUMO:** Objetivou-se com este trabalho avaliar os atributos físico-hídricos e químicos de um Argissolo amarelo distrófico, fertirrigado com vinhaça por 15 anos. Avaliou-se áreas com cultivo de cana-de-açúcar localizadas no município de Conceição da Barra, ES. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em um esquema fatorial 4 (áreas) x 4 (profundidade) com quatro repetições, sendo as áreas: cana fertirrigada, cana não fertirrigada, eucalipto e mata nativa, nas profundidades 0,00-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m. Foram avaliados os atributos físico-hídricos e químicos do solo, através de amostras deformadas e indeformadas, coletadas nas áreas e profundidades. Os resultados mostraram que o solo sob mata nativa apresentou maior capacidade de retenção de água enquanto a área fertirrigada apresentou menor capacidade e também menor quantidade de água disponível e água prontamente disponível; houve também uma redução significativa na condutividade hidráulica do solo do ambiente fertirrigado nas camadas mais profundas indicando compactação. Houve aumento significativo dos nutrientes fósforo, potássio, enxofre, zinco e sódio na área fertirrigada. Já o pH e a matéria orgânica não apresentaram diferenças significativas entre os ambientes. Os valores de sódio foram significativamente maiores na área de mata nativa, consequentemente, os valores de RAS e CE também foram superiores neste ambiente. A aplicação de vinhaça não interferiu na densidade do solo, contudo reduziu a condutividade hidráulica do solo saturado e os teores de água disponível e prontamente disponível. Promoveu a redução nos teores de alumínio e acidez potencial (H + Al) e não modificou o pH e matéria orgânica do solo. A vinhaça aumentou a concentração de potássio e ferro Fe no solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** condutividade hidráulica do solo, densidade do solo, cana-de-açúcar.

## SOIL PHYSICAL-HYDRIC AND CHEMICAL ATTRIBUTES UNDER APPLICATION OF VINASSE

**ABSTRACT:** The objective of this work was to evaluate the physical-hydrological and chemical attributes of a dystrophic yellow Argisol, fertirrigated with vinasse. The experiment was carried out in areas with sugarcane cultivation located in the municipality of Conceição da Barra, State of Espírito Santo. The experimental design was completely randomized in a factorial scheme 4 (areas) x 4 (depth) with four replicates, being the areas: fertirrigated, non fertirrigated, eucalyptus and native forest, at depths 0.00-0.20; 0.20-0.40; 0.40-0.60 and 0.60-0.80 m. The physical-water attributes and soil chemistry were evaluated through deformed and undisturbed samples, collected in the areas and depths. The results showed that the soil under native forest presented greater water retention capacity while the fertirrigated area showed lower capacity and also less water available and water readily available; there was also a significant reduction in the soil hydraulic conductivity of the fertirrigated environment in the deeper layers indicating compaction. There was a significant increase in nutrients phosphorus, potassium, sulfur, zinc and sodium in the fertirrigated area. However, pH and organic matter did not show significant differences between the environments. The values of sodium were significantly higher in the native forest area, consequently, RAS and CE values were also higher in this environment. The application of vinasse did not interfere with soil density, however, it reduced the hydraulic conductivity of the saturated soil and the water contents available and readily available. It promoted the reduction in the aluminum content and potential acidity (H + Al) and did not modify the pH and organic matter of the soil. Vinasse increased the concentration of potassium and Fe iron in the soil.

**KEYWORDS:** soil hydraulic conductivity, soil density, macronutrients.

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por alternativas, e identificação de possíveis manejos para compensar a diminuição do regime pluviométrico e tornar o sistema mais sustentável, devem

ser consideradas importantes visam melhor produtividade das lavouras, e contribuir para a viabilidade econômica do setor agrícola.

Os resíduos orgânicos, como torta de filtro e vinhaça, produzidos pela indústria sucroalcooleira são exemplos de reaproveitamento nas lavouras em forma de adubação e irrigação. Por se tratar de técnica de disposição que reduz os custos de tratamento e traz benefícios à agricultura, o aproveitamento da vinhaça por meio de fertirrigações, principalmente nas lavouras de cana-de-açúcar, tem despertado o interesse dos agricultores (FRANCISCO et al., 2015). Entretanto, o uso de

<sup>1</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical. Mestre em Agricultura Tropical. Email: [danielmundimalves@hotmail.com](mailto:danielmundimalves@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Docente do Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas. Email: [robsonbonomo@ufes.br](mailto:robsonbonomo@ufes.br), [fabio.pires@ufes.br](mailto:fabio.pires@ufes.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical. Pós Doutorado em Agricultura Tropical. Email: [joabenv@gmail.com](mailto:joabenv@gmail.com)

resíduos orgânicos na agricultura deve ser estudado a fim de definir as doses adequadas a serem aplicadas a curto, médio e longo prazo, monitorando os índices de produção em cultivos sucessivos na mesma área (SILVA et al., 2016a).

Silva; Griebeler e Borges (2007) alertam que, a vinhaça quando aplicada em altas doses pode acarretar efeitos indesejáveis, como o comprometimento da qualidade da cana para produção de açúcar, salinização do solo e poluição do lençol freático, e alteração das propriedades físicas e químicas do solo. Logo, podendo alterar principalmente a estabilidade de agregados e a dispersão de argila do solo, influenciando na sua compactação, cujas principais consequências são: o aumento da densidade, a diminuição do tamanho dos poros e a redução da condutividade hidráulica (KLEIN e LIBARDI, 2002).

Neste sentido, o controle da aplicação da vinhaça na cultura e seus prováveis efeitos sobre o solo, devem ser controlados com monitoramento contínuo. Diante, disso objetivou-se avaliar os atributos físico-hídricos e químicos do solo em cultivo de cana-de-açúcar, fertirrigado com vinhaça por 15 anos, de modo que permita identificar modificações na qualidade do solo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

**Tabela 1** - Valores médios de areia fina e grossa, argila, silte e argila dispersa em água em quatro áreas e profundidades.

Áreas	Profundidade (m)	Areia Fina	Areia Grossa	g kg <sup>-1</sup>		
				Argila	Silte	Argila Dispersa em água
Fertirrigada	0,00-0,20	605,82	209,44	139,25	45,50	6,00
Não fertirrigada		660,17	170,33	138,13	31,37	5,30
Eucalipto		669,86	172,05	124,48	33,61	3,60
Mata		630,20	185,65	145,01	39,14	6,30
Fertirrigada	0,20-0,40	546,47	221,57	173,71	58,25	7,50
Não fertirrigada		646,45	168,34	151,14	34,07	6,50
Eucalipto		680,36	164,21	120,35	35,08	4,30
Mata		596,35	181,84	193,32	28,50	9,00
Fertirrigada	0,40-0,60	385,87	253,21	293,44	67,48	18,20
Não fertirrigada		489,89	229,67	224,92	55,51	12,60
Eucalipto		451,16	231,91	246,50	70,43	13,90
Mata		461,27	216,01	268,48	54,24	13,50
Fertirrigada	0,60-0,80	280,86	233,19	417,53	68,43	30,20
Não fertirrigada		469,39	190,82	237,24	102,54	14,60
Eucalipto		375,64	256,43	298,08	69,84	17,70
Mata		394,97	194,13	376,56	34,35	21,30

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em um esquema fatorial 4 (áreas) x 4 (profundidade) com quatro repetições. Sendo os quatros ambientes: área cultivada com cana-de-açúcar fertirrigada, área cultivada com cana-de-açúcar não fertirrigada, área de eucalipto e área de mata nativa, e quatro profundidades 0,00-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m. A área fertirrigada passou a receber vinhaça como fonte de água e nutrientes no ano 2000. A partir de 2009 as características químicas foram monitoradas com objetivo de atender à legislação ambiental, que regula esta atividade, e determinar doses de vinhaça a serem aplicadas a cada ano safra.

O experimento foi conduzido em áreas adjacentes com cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), pertencentes à empresa DISA, Destilaria Itaúnas, uma área de eucalipto, e uma de mata nativa. A primeira área cultivada de cana variedade RB86-7515, em seu 4º estágio, e fertirrigada, localizada na fazenda Cordanta J (39°52'20''W e 28°26'04''S). A segunda área cultivada com a variedade SP83-2847, no 5º estágio, sem a presença da fertirrigação localizada na fazenda Cordanta P (39°51'43''W e 18°26'21''S), sendo ambas com primeiro plantio realizado no ano de 1998.

Para comparação foi avaliada uma área de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), localizada na fazenda Aliança (39°52'18'' W e 18°26'01''S), pertencente à Suzano Papel e Celulose, e uma área de mata nativa (39°52'22'' e 18°25'57''S), selecionadas devido à proximidade e pelas características homogêneas do solo com área cultivada com cana-de-açúcar. Todas áreas estão localizadas no município de Conceição da Barra, ES.

Os solos das áreas de estudo foram formados a partir de sedimentos argilosos da formação Barreiras, na região dos Tabuleiros Costeiros, caracterizados por horizontes subsuperficiais adensados (IJSN, 2012), sendo classificado como Argissolo amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013). A caracterização textural é apresentada na Tabela 1.

Para as análises dos atributos físico-hídricos e químico do solo, foram retirados dois tipos de amostras: deformadas, com a utilização de trado manual, e indeformadas, com a utilização de anéis cilíndricos, nas profundidades de 0,00-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m.

Os atributos químicos do solo foram determinados utilizando-se as amostras deformadas, conforme metodologia da Embrapa (2011). A condutividade elétrica do solo foi obtida com a utilização de um condutivímetro de bancada Tecnopon MCA 150®, calibrado previamente com solução padrão, usando a proporção 1:2, utilizando-se 20 cm<sup>3</sup> de terra fina seca ao

ar (TFSA) e uma porção de 40 cm<sup>3</sup> de água destilada conforme metodologia de Dolinski et al. (2009).

As amostras indeformadas, foram utilizadas para a determinação da densidade do solo e curva de retenção de água no solo, conforme Embrapa (2011). A curva foi ajustada ao modelo conforme proposto por Van Genuchten (1980), sendo o teor de água medido nos potenciais matriciais de -10, -30, -50, -100, -300 e -1500 kPa.

Com a curva de retenção de água no solo foi determinada a água disponível (AD), calculada pela diferença entre o teor de água obtido na capacidade de campo (10 kPa) e o teor de água retido no potencial de 1500 kPa, considerado como sendo o ponto de murcha permanente. Já a água prontamente disponível (APD) foi calculada pela diferença entre de teor de água retida a 10 kPa e a 100 kPa, conforme definido por Costa et al. (2009).

Foi determinada também a condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat) utilizando-se um permeâmetro de Guelph (SOIL MOISTURE, 2012). As medidas das taxas de infiltração foram realizadas em cargas constantes de 0,05 m (R1) e 0,10 m (R2) de água em intervalos de tempo, no centro de cada uma das quatro profundidades (0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m) nas áreas estudadas. Por meio da equação 1 ou 2, cuja escolha dependeu da opção de reservatório combinado ou interno utilizado, foi possível calcular a condutividade hidráulica do solo saturado.

$$K_{sat} = (0,0041)(X)(R_2) - (0,0054)(X)(R_1) \quad (1)$$

$$K_{sat} = (0,0041)(Y)(R_2) - (0,0054)(Y)(R_1) \quad (2)$$

em que: Ksat- condutividade hidráulica do solo saturado (cm s<sup>-1</sup>); R1 e R2 - taxas de infiltração de água, determinadas pelo permeâmetro, para as cargas constantes de 0,05 e 0,10 m, respectivamente; X e Y - constantes fornecidas pelo fabricante do permeâmetro, respectivamente 35,22 para o reservatório combinado e 2,15 para o interno.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância. As médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas análises dos atributos químicos do solo, não houve interação significativa entre os fatores ambientes e profundidades, procedendo-se então a análise dos fatores isoladamente. Para o fator profundidade do solo, verificou diferenças estatística para o magnésio (mg dm<sup>-3</sup>), cobre (mg dm<sup>-3</sup>), manganês (mg dm<sup>-3</sup>), matéria orgânica (dag dm<sup>-3</sup>), (Tabela 3). Já para o fator ambiente observou-se diferença estatísticas para o alumínio (mg dm<sup>-3</sup>), H + Al (mg dm<sup>-3</sup>), ferro (mg dm<sup>-3</sup>), (Tabela 3). Já a CTC efetiva, CTC a pH 7,0 e cálcio não apresentaram diferenças significativas pelo teste F na interação ambiente *versus* profundidade.

**Tabela 3** - Atributos químicos do solo em quatro profundidades e ambientes fertirrigados com vinhaça.

Profundidade do solo (m)	Mg	Al	H + AL	Fe	Cu	Mn	Matéria Orgânica
	mg dm <sup>-3</sup>						dag dm <sup>-3</sup>
0,00-0,20	0,44 a	0,14 b	1,18 b	141,87 b	0,31 a	12,37 a	2,21 a
0,20-0,40	0,43 a	0,26 b	2,23 b	166,31 b	0,19 b	6,25 b	1,77 b
0,40-0,60	0,19 b	0,49 a	2,67 a	300,81 a	0,11 c	4,00 b	1,20 c
0,60-0,80	0,12 b	0,67 a	2,97 a	373,43 a	0,10 c	2,18 b	0,86d
Ambiente	Al		H + AL	Fe	Saturação de Bases (V)		
	mg dm <sup>-3</sup>						%
Fertirrigada	0,15 c		2,03 c	371,18 a			50,41 a
Não fertirrigada	0,31 c		2,20 c	229,37 b			43,62 a
Eucalipto	0,43 b		2,71 b	194,18 b			40,04 a
Mata	0,65 a		3,11 a	187,68 b			25,46 b

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-knott (p<0.05).

Os teores de magnésio foram superiores nas primeiras duas profundidades, decrescendo acentuadamente a partir da profundidade de 0,40 m, resultado que pode ser explicado já que o Mg correlaciona-se negativamente com a profundidade, ficando retido nas camadas mais superficiais. A vinhaça apresenta valores muito baixos de Mg, modificando moderadamente a concentração nos solos pela baixa concentração desse elemento na vinhaça, favorecendo assim baixas concentrações nos solos.

O alumínio e a acidez potencial (H + Al) aumentaram os teores significativamente nas camadas de 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m (Tabela 3), fato que pode ser explicado devido a redução da matéria orgânica em profundidade no solo, que é um agente neutralizante da acidez. Os

teores de ferro também tiveram aumento significativo com o aumento da profundidade, comportamento inverso ao apresentado pelo cobre e manganês que não apresentaram relação significativa com a área fertirrigada, fato que se deve ao antagonismo entre as altas concentrações de manganês e cobre com o ferro.

A matéria orgânica apresentou maiores valores na camada de 0,00-0,20 m, porém os resultados não mostraram relação significativa com a vinhaça, o que pode estar ligado a forma coloidal que esse produto é aplicado, favorecendo uma rápida decomposição por microrganismo. Porém esse fato pode está ligado ao tempo de aplicação do resíduo orgânico na cultura da cana-de-açúcar ao longo dos anos. Resultado que difere

do encontrado por Francisco et al. (2016), os quais verificaram que a aplicação de vinhaça aumentou os níveis de matéria orgânica no solo, resultando em um aumento na carga negativa da camada superficial e nos valores mais elevados para K encontrados nesta camada. Para o fator ambiente, os teores de alumínio e acidez potencial (H + Al) também apresentaram comportamento similar. Valores menores foram encontrados na área fertirrigada e não fertirrigada, indicando que, possivelmente, o manejo da cana-de-açúcar nestes locais provocou essa alteração (Tabela 3). A área de eucalipto apresentou valor superior ao da cana-de-açúcar, porém menor que o encontrado no solo de mata nativa, indicando que a ação antrópica favoreceu a diminuição do teor dessas variáveis.

Resultados semelhantes foram encontrados por Aquino et al. (2015) que verificaram que a aplicação de vinhaça, houve elevação do pH e dos teores de Ca, Mg e K, com distribuição em todo o perfil. Ainda, segundo Melo et al. (2016), é possível concluir que o efeito dispersivo do K<sup>+</sup> adicionado pela vinhaça são irrelevantes, considerando o

efeito flocculante causado pelo incremento no conteúdo de Mg<sup>2+</sup> e no ΔpH após a aplicação de vinhaça.

A área fertirrigada apresentou maior teor de ferro em comparação com as demais que não sofreram alterações significativas (Tabela 3), podendo a vinhaça ter contribuído com o aumento desse micronutriente. A saturação por bases, por sua vez, foi menor na mata nativa, exibindo comportamento contrário ao observado para o alumínio, ou seja, a não movimentação do solo, e os manejos para o cultivo incrementam a saturação por bases.

Para os teores de fósforo-Mehlich, potássio, enxofre, zinco e sódio, observa-se interação significativa entre os fatores, ambiente e profundidade. Os teores de fósforo encontrados na área fertirrigada se concentraram em maior quantidade na camada de 0,00-0,20 m, decrescendo com o aumento da profundidade, fato relacionado a sua baixa mobilidade no solo. E sempre em maior quantidade quando comparado com os demais ambientes, que não apresentaram resultados significativos entre si (Tabela 4).

**Tabela 4 - Atributos químicos em quatro ambientes e em quatro profundidades de amostragem.**

Ambiente	Profundidade (m)			
	0,00-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80
<b>Fósforo-Mehlich (mg dm<sup>-3</sup>)</b>				
Fertirrigada	16,50 aA	6,50 aB	2,50 aC	1,00 aC
Não fertirrigada	4,50 bA	2,25 bA	1,25 aA	1,50 aA
Eucalipto	5,00 bA	2,50 bA	1,50 aA	1,00 aA
Mata	2,50 bA	2,00 bA	1,00 aA	1,00 aA
<b>Potássio (mg dm<sup>-3</sup>)</b>				
Fertirrigada	58,00 aA	40,00 aB	21,75 aC	13,50 aC
Não fertirrigada	20,50 bA	10,75 bB	7,50 bB	6,50 aB
Eucalipto	25,75 bA	19,25 bA	17,00 aA	14,25 aA
Mata	23,00 bA	25,00 bA	20,75 aA	11,50 aA
<b>Enxofre (mg dm<sup>-3</sup>)</b>				
Fertirrigada	7,75 bA	7,50 bA	8,00 bA	9,75 cA
Não fertirrigada	8,50 bA	8,25 bA	9,25 bA	9,50 cA
Eucalipto	12,75 aA	10,00 aB	12,00 aA	14,00 bC
Mata	12,00 aA	11,00 aA	9,25 bB	12,25 aA
<b>Zinco (mg dm<sup>-3</sup>)</b>				
Fertirrigada	0,93 aA	0,50 aB	0,20 aB	0,10 aB
Não fertirrigada	0,90 aA	0,30 aB	0,18 aB	0,10 aB
Eucalipto	1,08 aA	0,60 aA	0,23 aB	0,15 aB
Mata	0,78 aA	0,55 aA	0,33 aA	0,15 aA
<b>Sódio (mg dm<sup>-3</sup>)</b>				
Fertirrigada	28,25 aA	20,00 aB	14,25 bC	11,50 bC
Não fertirrigada	14,25 bA	9,50 bA	8,00 bA	7,50 bA
Eucalipto	18,00 bA	14,00 bA	12,25 bA	11,25 bA
Mata	18,25 bA	19,25 aA	22,75 aA	18,00 aA
<b>Razão de Absorção de Sódio - RAS (mmol, dm<sup>-3</sup>)</b>				
Fertirrigada	29,33 aA	25,57 bA	23,76 bA	23,91 bA
Não fertirrigada	18,71 aA	15,13 bA	13,58 bA	14,74 bA
Eucalipto	20,95 aA	20,64 bA	22,15 bA	24,82 bA
Mata	29,14 aB	34,45 aB	53,47 aA	53,99 aA
<b>pH em água</b>				
Fertirrigada	6,15 aA	5,90 aA	5,48 aB	5,33 aB
Não fertirrigada	5,75 aA	5,55 aA	5,43 aA	5,33 aA
Eucalipto	5,65 aA	5,45 aA	5,18 aA	4,80 aA
Mata	5,15 aA	5,00 aA	4,80 aA	4,78 aA

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Scott-knott (p<0.05).

O teor de potássio, principal nutriente encontrado na vinhaça, apresentou-se dentro do esperado, com a maior concentração no ambiente fertirrigado nas profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m, mostrando que apesar da sua forma líquida, a vinhaça tende a concentrar o K nas

camadas superiores do solo da área fertirrigada. Tal comportamento foi observado na superfície do solo da área fertirrigada, bem como a diminuição dos teores em profundidade. Resultado semelhante aos encontrados por Francisco et al. (2016) e Silva; Bono e Pereira (2014), que verificaram maiores concentrações de potássio a



uma profundidade de 0,20 m, não se observando acúmulo de K no solo com o passar dos anos. Nas profundidades de 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, os teores encontrados nas áreas de eucalipto e mata nativa foram equivalentes ao ambiente fertirrigado, fato que não ocorreu com a área de cana-de-açúcar não fertirrigada (Tabela 4), mostrando o efeito positivo da aplicação da vinhaça.

Já os teores de enxofre foram similares nos ambientes fertirrigado e não fertirrigado, apresentando maiores valores de teores nas áreas de eucalipto seguido de mata nativa, mostrando uma baixa contribuição da vinhaça para esse elemento no solo.

O zinco apresentou valores similares entre os ambientes, porém na área fertirrigada e não fertirrigada o seu teor decresce de acordo com o aumento da profundidade. A partir da camada 0,40-0,60 m esse comportamento também é observado na área de eucalipto. Fato que pode ser explicado já que nesse trabalho os valores de pH do solo não foram afetados significativamente, considerando que os teores de zinco podem ser alterados pelo pH. Resultado que difere dos encontrado por Moran- Salazar et al. (2016) que observaram que a adição de vinhaça ao solo aumenta metais, como o zinco e cobre.

Com relação ao sódio, importante sinalizador de salinidade do solo e também presente na vinhaça, apresentou valor superior na camada 0,00-0,20 m, na área fertirrigada, comparada com as demais, diminuindo significativamente em profundidade do solo. Na camada de 0,20-0,40 cm, a área fertirrigada foi equivalente a área de mata nativa e, nas camadas 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, os teores de sódio na mata nativa foram superiores e significativos, quando comparadas aos demais. O ambiente não fertirrigado e eucalipto apresentaram teores equivalentes.

Esse fato que não ocorreu significativamente nas demais áreas, pode ser explicado pela maior concentração de K, na vinhaça, o qual quando aplicado no solo, promove a competição dos sítios de troca do solo, deslocando o Na, proporcionando maior lixiviação desse elemento no solo.

Os resultados das análises indicaram que a área de mata nativa apresentou maior valor da RAS a partir da camada

de 0,20-0,40 m, seguida da área fertirrigada, área de eucalipto e área não fertirrigada, que não apresentaram teores significativos entre si. Esperava-se que essa variável seria maior em áreas sob manejo de vinhaça, uma vez que o sódio é encontrado na composição deste subproduto.

A não alteração dos valores de pH entre os ambientes (Tabela 4), pode estar ligado ao fato que o pH diminuiu à medida em que se aumentou os volumes de vinhaça aplicados, podendo esse efeito de redução do pH do solo ser observado logo após a aplicação de vinhaça, porém voltando a valores originais após certo tempo, principalmente devido a atividades de microrganismos, fato que corrobora com Barros et al. (2010) e Francisco et al. (2015; 2016).

Para a condutividade elétrica do solo (CE), quando ao se comparar as profundidades, os maiores valores significativos foram encontrados na camada de 0,00-0,20 m, enquanto que as demais não diferiram significativamente (Tabela 5). Esse aumento, provavelmente pela maior solubilização de íons presentes nas micelas do solo, efeito da aplicação da vinhaça. Resultado semelhante encontrado por Francisco et al. (2015) com os quais maiores valores de CE foram obtidos nas camadas mais superficiais do solo.

Porém, o aumento excessivo na aplicação, possivelmente causaria uma redução no valor da CE, pela diluição exagerada dos íons e/ou perdas por lixiviação, fato que pode ter ocorrido quando observados os resultados de comparação entre os ambientes, em que a área de mata nativa apresentou valores superiores com relação aos demais, que não apresentaram diferenças significativas entre si (Tabela 5). Esse resultado difere do encontrado por Moran- Salazar et al. (2016) e Francisco et al. (2016) que verificaram que a adição de vinhaça ao solo aumenta condutividade elétrica do solo.

Além disso, maiores valores de CE estão relacionados com os teores de sais presentes na solução do solo, ou seja, quanto maior a quantidade de sais maior será a CE. Neste caso, os maiores valores de CE podem ser explicados pela maior concentração de sódio (Na), nas maiores profundidades (Tabela 4), no ambiente de mata nativa (BRANDÃO e LIMA, 2002).

**Tabela 5 - Condutividade elétrica do solo (CE) em quatro profundidades e ambientes analisados.**

Profundidade (m)	CE (mS m <sup>-1</sup> )
0,00-0,20	0,04082 a
0,20-0,40	0,03287 b
0,40-0,60	0,02787 b
0,60-0,80	0,02751 b
<b>Ambiente</b>	
Fertirrigada	0,02922 b
Não fertirrigada	0,02519 b
Eucalipto	0,02989 b
Mata	0,04476 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-knott ( $p < 0.05$ ).

A densidade do solo também apresentou interação significativa entre os fatores em estudo (Tabela 6), sendo que na camada inicial o ambiente com a presença de eucalipto apresentou menor densidade e, a partir da

camada 0,40-0,60 m, teve comportamento similar à área fertirrigada, apresentando os menores valores entre os ambientes. O ambiente com mata nativa apresentou maior densidade significativa nas camadas superiores a 0,40 m de profundidade.

**Tabela 6 - Densidade (Ds) e Condutividade hidráulica do solo (Kfs) em quatro ambientes e profundidades de amostragem**

Ambiente	Profundidade (m)			
	0,00-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80
	<b>Ds (g cm<sup>-3</sup>)</b>			
Fertirrigada	1,52 aA	1,62 aA	1,51 bA	1,33 cB
Não fertirrigada	1,70 aA	1,72 aA	1,62 aA	1,59 bA
Eucalipto	1,23 bB	1,54 aA	1,41 bA	1,38 cA
Mata	1,62 aB	1,60 aB	1,78 aA	1,84 aA
	<b>Kfs (cm s<sup>-1</sup>)</b>			
Fertirrigada	0,0047 bA	0,0021 bB	0,0021 aB	0,0011 aB
Não fertirrigada	0,0051 bA	0,0024 bA	0,0023 aA	0,0010 aA
Eucalipto	0,0042 bA	0,0024 bA	0,0024 aA	0,0011 aA
Mata	0,0111 aA	0,0086 aA	0,0028 aB	0,0006 aB

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Scott-knott ( $p < 0.05$ ).

Os valores de densidade do solo nas profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m foram maiores na área não fertirrigada, porém apresentaram estatisticamente igual a área fertirrigada, indicando que a aplicação de vinhaça não influenciou a densidade do solo, resultado que corrobora Silva et al. (2016b), que verificaram que as diferentes doses de vinhaça não promoveram alterações nas propriedades físicas do solo. Nas camadas de 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m foram superiores na área de mata nativa. Como tanto o eucalipto quanto a cana-de-açúcar exigem operações agrícolas que revolvem o solo até camadas de 0,00 a 0,80 m, podendo chegar a 1,0 m, estas práticas podem ter contribuído para a redução de densidades originalmente altas nestes ambientes.

Os resultados de condutividade hidráulica indicaram uma redução significativa na área fertirrigada a partir da camada de 0,20 m de profundidade (Tabela 6), mesmo resultado apresentado pelos ambientes não fertirrigado e eucalipto. A redução de condutividade hidráulica pode ter ocorrido devido ao íon potássio, tal como o sódio, tratar-se de cátion monovalente e que tem a capacidade de promover a dispersão das argilas, podendo levar à redução de poros reduzindo a permeabilidade do solo (UYEDA et al., 2013). Ainda segundo Souza et al. (2014a), a condutividade hidráulica do solo apresenta uma correlação negativa para microporosidade. Tal

justificativa que pode ser aplicada a este estudo que, na avaliação de argila dispersa, apresentou, para a área fertirrigada, maiores valores nas camadas mais profundas (Tabela 1).

O ambiente de mata nativa apresentou valores superiores e significativos nas duas primeiras camadas, no entanto, nas profundidades de 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, apresentou estatisticamente similar ao ambiente tratado com vinhaça, ou seja, uma redução significativa (Tabela 6).

O ambiente não fertirrigado apresentou maior quantidade de água disponível (AD) e água prontamente disponível na profundidade de 0,00-0,20 m. Já o ambiente de mata nativa apresentou maior quantidade de água disponível (AD) em comparação com os outros ambientes nas profundidades de 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m (Tabela 7).

**Tabela 7** - Água disponível (AD) e água prontamente disponível (APD) em quatro ambientes e em quatro profundidades de amostragem

Ambiente	Profundidade (m)	AD	APD
		cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	
Fertirrigada	0,00-0,20	0,05232	0,02863
Não fertirrigada		0,08194	0,05794
Eucalipto		0,05483	0,03333
Mata		0,07306	0,03952
Fertirrigada	0,20-0,40	0,05232	0,02863
Não fertirrigada		0,07072	0,06010
Eucalipto		0,07316	0,05459
Mata		0,08251	0,04410
Fertirrigada	0,40-0,60	0,06674	0,03845
Não fertirrigada		0,09949	0,07073
Eucalipto		0,08323	0,06143
Mata		0,10800	0,06577
Fertirrigada	0,60-0,80	0,06002	0,04021
Não fertirrigada		0,09390	0,07229
Eucalipto		0,08186	0,05906
Mata		0,10191	0,05974

O ambiente fertirrigado apresentou menor quantidade de água disponível e água prontamente disponível provavelmente devido aos maiores teores de areia fina e grossa (Tabela 1). Esse resultado pode ser explicado devido as altas frações de areia, já que, segundo Souza et al. (2014b), essas frações de areia se correlacionam negativamente com a retenção de água. Esses resultados ainda corroboram Gariglio; Matos e Lo Monaco (2014), que concluíram que conteúdo de água na capacidade de campo apresentou tendência de decréscimo com o aumento da quantidade de vinhaça aplicada.

De acordo com os resultados encontrados de água disponível (AD) (Tabela 7), na camada de 0,00-0,20 m, o ambiente não fertirrigado teve maior teor de água em relação aos demais, enquanto que nas camadas a partir de 0,20 m o ambiente de mata nativa sempre obteve maior valor que aos demais. Mostrando que as modificações na capacidade de campo, como ocorreu para a área fertirrigada, alteraram a água disponível (AD), tendo o ambiente fertirrigado apresentado os menores valores de umidade do solo em todas as profundidades analisadas, corroborando com Costa et al. (2009).

#### 4 CONCLUSÕES

- ✓ A aplicação de vinhaça não interferiu na densidade do solo.
- ✓ A condutividade hidráulica do solo, e os teores de água disponível e prontamente disponível foram reduzidos com aplicação da vinhaça.
- ✓ A vinhaça promoveu redução nos teores de alumínio e acidez potencial (H + Al) e não modificou o pH e matéria orgânica do solo.
- ✓ A área fertirrigada com vinhaça aumentou os teores de potássio e ferro Fe no solo.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C.; BRITO, O. R.; FONSECA, I. C. B. Changes in soil chemical reactions in response to straw sugar cane and vinasse. **Semina: Ciência Agrária**, Londrina, v. 36, n. 4, p. 2493-2506, 2015.
- BARROS, R. P. de; VIÉGAS, P. R. A.; SILVA, T. L. DA; SOUZA, R. M. DE; BARBOSA, L.; VIÉGAS, R. A.; BARRETO, M. C. DE V.; MELO, A. S. de.

Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.40, n.3, p.341-346, 2010.

BRANDÃO, S. L.; LIMA, S. C. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado na Chapada, em Uberlândia (MG). **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.3, n.6, p.46-56, 2002.

COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; SILVA, F. R. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n. 2, p.235-244, 2009.

DOLINSKI, M. A.; MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; MAY-DE MIO, L. L. pH condutividade elétrica e potássio do solo após três anos de aplicações de nitrogênio e potássio em ameixeira, no município de Araucária – PR. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n.5, p.371-376, 2009.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2011. 230p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª edição. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.

FRANCISCO, J. P.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, L. B. D.; SILVA, J. G. B.; DIOTTO, A. V. Variations in the chemical composition of the solution extracted from a Latosol under fertigation with vinasse. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.47, n.2, p.229-239, 2016.

FRANCISCO, J. P.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, L. B. D.; SILVA, J. G. B. Monitoramento da condutividade elétrica e pH da solução do solo sob diferentes doses de aplicação de vinhaça. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.25, n.6, p.552-561, 2015.

GARIGLIO, H. A. A.; MATOS, A. T.; LO MONACO, P. A. V. Alterações físicas e químicas em três solos que receberam doses crescentes de vinhaça. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 1, p. 14-24, 2014.

IJSN. **Mapeamento geomorfológico do Estado do Espírito Santo**. Vitória-ES, 2012, 19p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição de diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.4, p.857-867, 2002.

MELO, T. R.; TELLES, T. S.; MACHADO, W. S.; TAVARES FILHO, J. Factors affecting clay dispersion in Oxisols treated with vinasse. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 6, p. 3997-4004, 2016.

MORAN-SALAZAR, R. G.; SANCHEZ-LIZARRANGA, A. L.; RODRIGUEZ-CAMPOS, J.; DAVILA-VAZQUEZ, G.; MARINO-MARMOLEJO, E. N.; DENDOOVEN, L. CONTRERAS-RAMOS, S. M. Utilization of vinasses as soil amendment: consequences and perspectives. **Springerplus**, London, v.5, n.1, p.1-11, 2016.

SILVA, M. A. S. DA; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.1, p.108- 114, 2007.

SILVA, A. P. M.; BONO, J. A. M.; PEREIRA, F. A. Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 38-43, 2014.

SILVA, S. F.; GARCIA, G. O.; REIS, E. F.; DALVI, L. P. Uso agrícola da vinhaça para produção de forragem de milho durante três anos de cultivo. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 59-69, 2016a.

SILVA, P. C.; SILVA, A. A. F.; SANTOS, R. F.; BELTRAME, S. R. Características físicas do solo em pastagem sob aplicação de vinhaça. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.5, n.1, p.57-66, 2016b.

Soil Moisture Equipment Corp. **Guelph Permeameter model 2800K 1 (operating instructions)**, Santa Bárbara, CA, 2012, 60p.

SOUZA, J. M.; BONOMO, R.; PIRES, F. R.; BONOMO, D. Z. Curva de retenção de água e condutividade hidráulica do solo, em lavoura de café Conilon submetida à subsolagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 223-233, 2014a.

SOUZA, J. M.; BONOMO, R.; PIRES, F. R.; BONOMO, D. Z. Funções de pedotransferência para retenção de água e condutividade hidráulica em solo submetido a subsolagem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.9, n.4, p.606-613, 2014b.

UYEDA, C. A.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; MEDEIROS, P. R. F.; DIAS, C. T. Influence of vinasse



application in hydraulic conductivity of three soils.

**Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.4, p.689-698, 2013

VAN GENUCHTEN, M. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.5, p.892-898, 1980.