

## EFEITO DO USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA EM UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO SOB CULTIVO DE PASTAGEM

William Luiz de Souza<sup>1</sup>, Iorrano Andrade Cidrini<sup>1</sup>, Mateus José Inácio de Abreu<sup>2</sup>, Onofre Barroca de Almeida Neto<sup>3</sup>

**RESUMO** – Objetivou-se avaliar o efeito do descarte de água residuária de suinocultura (ARS) sobre os parâmetros químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob cultivo de pastagens e determinar uma dose máxima para utilização. A área experimental era ocupada pela forrageira *Pennisetum purpureum* cv. BRS Kurumi. O experimento teve início em 19 de setembro de 2013, com duração de 93 dias (quatro ciclos de produção da forrageira). Foram realizadas quatro aplicações de 0, 15, 30, 45, 60 litros de ARS nas parcelas, dosagens que correspondiam a 0, 100, 200, 300 e 400 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> de ARS, respectivamente. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições. Ao final do período experimental, amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm para determinação dos parâmetros químicos. Em ambas as camadas avaliadas, a aplicação da ARS implicou no aumento linear ( $p < 0,10$ ) nos parâmetros Na<sup>+</sup>, ISNa e PST. O fósforo disponível no solo, na camada de 0 a 20 cm, apresentou um comportamento quadrático com ponto de máxima em 271 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> de ARS, podendo ser atribuída como dose máxima a ser aplicada. Acima disso, o maior acúmulo de sódio reduz a porosidade superficial, provocando elevação das perdas horizontais de fósforo e, ainda, causar danos ambientais. A aplicação de ARS aumenta a sodicidade do solo e as perdas horizontais de fósforo, recomendando-se utilizar doses de até 271 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.

Palavras chave: Água residuária, fertirrigação, solo, sustentabilidade.

## EFFECT OF SWINE WASTEWATER USE ON A DYSTROPHIC RED-YELLOW LATOSOL UNDER PASTURE

**ABSTRACT** – The objective of this study was to evaluate the effect of swine wastewater disposal (ARS) on the chemical parameters of a dystrophic Red-Yellow Latosol under pasture cultivation and to determine a maximum dose for use. The experimental area was occupied by forage *Pennisetum purpureum* cv. BRS Kurumi. The experiment began on September 19, 2013, with a duration of 93 days (four forage production cycles). Four applications of 0, 15, 30, 45, 60 liters of ARS were performed in the plots, dosages corresponding to 0, 100, 200, 300 and 400 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> of ARS, respectively. A randomized block design with five treatments and four replications was used. At the end of the experimental period, soil samples were collected at depths from 0 to 20 and 20 to 40 cm to determine the chemical parameters. In both evaluated layers, the application of ARS implied the linear increase ( $p < 0.10$ ) in the parameters Na<sup>+</sup>, ISNa and PST. The soil available phosphorus, in the 0 to 20 cm layer, presented a quadratic behavior with a maximum point of 271 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> of ARS, which can be attributed as the maximum dose to be applied. Above that, the higher sodium accumulation reduces the surface porosity, causing an increase in horizontal phosphorus losses and also causing environmental damage. The application of ARS increases soil sodicity and horizontal losses of phosphorus, using up to 271 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.

Keywords: Fertigation, soil, sustainability, wastewater.

<sup>1</sup> Discentes, Curso de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil. E-mail: williamluizdesouzaa@gmail.com e iorrandoandrade@gmail.com

<sup>2</sup> Discente, Curso de Graduação em Zootecnia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais. Rio Pomba, MG. E-mail: abreu.mateusji@gmail.com

<sup>3</sup> Docente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais. Rio Pomba, MG. E-mail: onofre.neto@ifsudestmg.edu.br

## INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimento e produtos de origem animal, torna necessária a adoção de tecnologias que promovam o incremento na produtividade do setor agropecuário brasileiro (Reis et al., 2017). Apesar de mais eficientes, sistemas intensivos de produção animal, geram uma elevada carga de resíduos concentrados que necessitam ser tratados e posteriormente descartados em local adequado, evitando danos ambientais (Menezes et al., 2018).

Segundo Konzen (2005), a suinocultura possui potencial de produzir um volume elevado de dejetos, somente na fase de terminação com valores próximos a 15 litros animal.dia<sup>-1</sup>. Sendo que, a água residuária de suinocultura (ARS), é proveniente da lavagem de instalações de animais em produção, onde ocorre a junção da água com os resíduos presentes nas instalações. Com intuito de promover a integração entre os processos de produção, eficiência do sistema e a sustentabilidade, é possível utilizar pastagens como local para descarte da ARS (Bortoni et al., 2018; Menezes et al., 2018).

Os nutrientes contidos na ARS, na maioria dos casos, se encontram em desbalanço em relação à demanda das forrageiras. Alguns de seus componentes podem se tornar maléficis quando em excesso, dentre eles o sódio (Souza et al., 2018). Este, quando em cargas excessivas, causa o selamento do solo e compromete seus aspectos físicos através do entupimento dos macroporos superficiais, favorecendo perdas horizontais dos demais nutrientes, especialmente o fósforo (Matos et al., 2014).

Assim, faz-se necessário monitorar os parâmetros químicos do solo sob cultivo, evitando cargas excessivas de determinados nutrientes que contribuirão para danos ambientais, tais como contaminação do solo, perda de produtividade das pastagens e eutrofização dos leitos dos rios (Homem et al., 2014; Almeida Neto et al., 2017; Souza et al., 2018).

Porém, são escassas as informações sobre as doses para descarte de ARS em Latossolos Vermelho-Amarelo distrófico sob cultivo de pastagem. Objetivou-se avaliar o efeito do descarte de água residuária de suinocultura (ARS) sobre os parâmetros químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob cultivo de pastagens e determinar uma dose máxima para utilização.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no setor de Zootecnia do IF Sudeste-MG, Campus Rio Pomba, localizado nas coordenadas geográficas de 21°15'12.47"S de latitude e 43°09'38.90"O de longitude, com altitude média de 450 metros. O regime climático é Cwa: clima tropical úmido com inverno seco e verão quente, na classificação Köppen; a precipitação média anual é de 1644 mm e a temperatura média anual situa-se na faixa de 19 a 28°C, com umidade relativa do ar quase sempre elevada, revelando médias anuais de 80,1% (Inmet, 2016). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Embrapa, 1999), com suas características iniciais apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico

pH	P	K	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al
H <sub>2</sub> O	_____ mg/dm <sup>3</sup> _____			_____ cmolc/dm <sup>3</sup> _____			
5,84	1,7	94	0	5,4	1,7	0	2
SB	(t)	(T)	V	m	ISNa	MO	P-rem
_____ cmolc/dm <sup>3</sup> _____	_____ % _____			_____ dag/kg		_____ mg/L	
7,34	7,34	9,34	78,59	0	0	3,81	11,1

pH em água, P: Na: K: Extrator Mehlich 1; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>: Extrator KCl 1 molL<sup>-1</sup>; H+Al: Extrator acetato de cálcio 0,5 molL<sup>-1</sup> pH 7,0; SB: Soma de Bases Trocáveis; CTC (t): Capacidade de Troca Catiônica efetiva; CTC (T): Capacidade de Troca Catiônica; V: Índice de Saturação por Bases; m: Índice de Saturação por Alumínio; ISNa: Índice de Saturação por Sódio; Matéria Orgânica (MO): pH 7,0, C. Org. x 1,724: Walkley-Black; P-rem: Fósforo remanescente.



A ARS foi coletada de uma unidade suinícola no município de Rio Pomba – MG, com auxílio de um tanque acoplado ao trator, em seguida foi armazenada em caixas d'água de 1000L até o momento de utilização. A propriedade possuía por volta de 270 matrizes suínas, gerando por dia 40 mil litros de dejetos. Após a coleta, a ARS passou por peneiras de malha de 5 mm, simulando um pré-tratamento (Brandão et al., 2003).

De maneira prévia a aplicação, foram coletadas amostras contendo 2 litros de ARS para quantificação do teor de nutrientes totais, sendo realizadas as seguintes análises:

pH, nitrogênio total, dureza da água, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), teores totais de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ; condutividade elétrica (CE), P-Total, sólidos nas águas e relação de adsorção de sódio (RAS) de acordo com metodologias recomendadas pela Apha (2005). As análises foram realizadas no Laboratório de Química e Meio Ambiente do Campus Rio Pomba. Os resultados das concentrações de nutrientes estão apresentados na Tabela 2. Já as quantidades dos nutrientes aplicados de acordo com o tratamento encontram-se descritos na Tabela 3.

Tabela 2 - Característica da água residuária da suinocultura utilizada para descarte.

pH	CE	SS	ST	SF	SV	SST	SDT	RAS
( $\text{H}_2\text{O}$ )	( $\text{dS.m}^{-1}$ )	( $\text{ml.L}^{-1}$ )	(mg.L <sup>-1</sup> )					
8,09	10,01	175	9525	4191	5334	2284	7800	2,25
$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	P-total	DQO	DBO	Dureza	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	N-total
(mg. L <sup>-1</sup> )								
166	759	63	106370	4114	1364	159	174	1979

Sendo: RAS: razão de adsorção de sódio; N-Total: nitrogênio total; DQO: demanda química de oxigênio; DBO: demanda bioquímica de oxigênio;  $\text{Ca}^{2+}$ : cálcio;  $\text{Mg}^{2+}$ : magnésio;  $\text{Na}^+$ : sódio;  $\text{K}^+$ : potássio; CE: condutividade

elétrica; SS: sólidos sedimentáveis; ST: sólidos totais; SF: sólidos fixos; SV: sólidos voláteis; SST: sólidos suspensos totais; SDT: sólidos dissolvidos totais; P-Total: fósforo total.

Tabela 3 - Representação do aporte de nutrientes adicionado ao solo pela ARS, considerando a forma convencional de fornecimento destes

Nutrientes	100 m <sup>3</sup>	200 m <sup>3</sup>	300 m <sup>3</sup>	400 m <sup>3</sup>
	----- Kg.ha <sup>-1</sup> -----			
N	197,90	395,80	593,70	791,60
$\text{K}_2\text{O}$	91,10	182,20	273,20	364,30
$\text{P}_2\text{O}_5$	8,60	17,20	25,80	34,40
CaO	22,20	44,50	66,70	89,00
$\text{CaCO}_3$	39,70	79,40	119,10	158,80
MgO	28,90	57,70	86,60	115,40

N – Nitrogênio,  $\text{K}_2\text{O}$  – Óxido de potássio,  $\text{P}_2\text{O}_5$  – Pentóxido de difósforo, CaO – óxido de cálcio,  $\text{CaCO}_3$  – Carbonato de cálcio, MgO – Óxido de magnésio.

A forrageira *Pennisetum purpureum* cv. BRS Kurumi foi estabelecida por meio de mudas, implantadas em sucros de 10 cm de profundidade usando-se 4 sulcos longitudinais de 3 m em cada parcela. A distância entre linhas foi de 0,50m, e a distância entre parcelas foi de 1,5 m. Após o plantio, 60 dias, foi realizado um corte na altura de resíduo de 35 cm, com o objetivo de realizar a uniformização das parcelas, sendo este o marco inicial do período de avaliação da forragem, no qual foi realizada a primeira fertirrigação com a ARS.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. As parcelas possuíam 6 m<sup>2</sup> (3 × 2m) e foram fertirrigadas após cada corte (total de quatro), aplicando-se as quantidades de 0, 15, 30, 45, 60 L de ARS (0, 25, 50, 75 e 100 m<sup>3</sup>.ciclo<sup>-1</sup>), doses essas que correspondiam a aplicação de 0, 100, 200, 300 e 400 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> de ARS. Os cortes foram realizados na frequência de desfolha de 75 cm e com uma intensidade de desfolha de 35 cm (Gomide et al., 2015).

Após o último corte, foram coletadas amostras de solo através do uso de uma sonda até 40 cm de profundidade. As camadas amostradas foram: 0 a 20 e 20 a 40 cm. O solo foi seco ao ar, moído, passado em peneira com malha de 2 mm e encaminhado para análise química

As análises incluíram a determinação do pH em água, cátions trocáveis (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>), acidez trocável (Al<sup>3+</sup>), acidez total (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>), carbono orgânico (CO), teor de matéria orgânica (M.O.) e fósforo disponível (Embrapa, 1997). Os valores da soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC), capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) saturação de bases (V), saturação de alumínio (m), índice de saturação de sódio (ISNa) e potencial de troca de sódio (PST) foram obtidos por meio

de cálculos que envolveram os cátions trocáveis (Embrapa, 1997; Matos et al., 2014).

Os dados dos parâmetros químicos do solo nas duas camadas avaliadas foram submetidos à análise da variância e análise de regressão em função das doses de ARS. Foram selecionadas as equações por meio do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) com probabilidade de 10%, de acordo com o teste F. A análise estatística foi realizada por meio do Programa R, versão 3.0.3 (R CORE TEAM, 2016).

O modelo incluiu o efeito da média, do bloco, dos tratamentos e do erro aleatório associado a cada observação, como descrito a seguir:

$$Y_{ij} = \mu + B_i + D_j + \epsilon_{ij}$$

onde: Y<sub>ij</sub> = valor observado no i-ésimo bloco da j-ésima dose de ARS; μ = média geral; B<sub>i</sub> = efeito aleatório associado ao i-ésimo bloco, i = 1, ..., 4; D<sub>j</sub> = efeito fixo associado à j-ésima dose de ARS, j = 1, ..., 5; ε<sub>ij</sub> = efeito aleatório associado ao i-ésimo bloco da j-ésima dose de ARS, assumindo γ<sub>ij</sub> ~ N (0, Iσ<sup>2</sup>γ), sendo que Iσ<sup>2</sup>γ é a matriz identidade de variância e covariância, pois assume independência dos resíduos;

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros químicos pH, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, H + Al, SB, t, T, COT, MO, P-rem, V e m nas profundidades de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm e o P na profundidade de 20 - 40 cm não foram influenciados (p<0,10) com as sucessivas aplicações da ARS (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5 - Parâmetros químicos no Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico na profundidade de 0 - 20 cm

Tratamento	pH	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	SB
	(H <sub>2</sub> O)	-----mg dm <sup>-3</sup> -----			-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----				
0	5,67	3,39*	44,00	8,50*	4,05	2,30	0,00	6,45	6,50
100	5,82	4,66*	52,00	11,50*	3,78	2,03	0,01	7,10	5,98
200	5,64	9,89*	44,00	24,58*	3,98	1,88	0,00	6,68	6,07
300	5,49	9,80*	55,00	29,85*	2,8	2,85	0,00	8,91	5,92
400	5,79	5,57*	36,00	29,10*	4,38	2,00	0,00	5,19	6,59
Média	5,68	6,66	46,20	20,71	3,80	2,21	0,00	6,87	6,21
CV(%)	4,24	15,06	22,62	22,17	29,64	47,00	159,23	11,75	27,76

Continua...



Tabela 5 - Cont.

Tratamento	CTCe	CTC	COT	MO	P-rem	V	M	ISNa	PST
	---cmolc dm <sup>-3</sup> ---		---dag kg <sup>-1</sup> ---		mg L <sup>-1</sup>		-----%-----		
0	6,51	12,94	1,79	3,07	17,30	48,50	0,40	0,67*	0,29*
100	6,00	13,09	1,83	3,16	17,80	44,70	0,40	0,99*	0,39*
200	6,09	12,75	1,66	2,87	17,60	47,60	0,30	1,92*	0,84*
300	5,93	14,83	2,16	3,73	17,80	39,60	0,00	2,24*	0,88*
400	6,59	11,78	1,61	2,76	19,50	55,90	0,00	2,01*	1,09*
Média	6,22	13,08	1,81	3,12	18,00	47,26	0,22	1,57	0,70
CV(%)	27,57	10,16	15,7	15,66	13,94	18,62	253,17	27,89	23,80

Médias seguidas por (\*) são significativas pelo teste F (p<0,10).

Legenda: P - K - Extrator Mehlich 1; Al Extrator KCl 1N; H+Al - Extrator SMP; SB = soma de bases trocáveis; Ca<sup>2+</sup> = cálcio; Mg<sup>2+</sup> = magnésio; CTCe = capacidade de troca catiônica efetiva; CTC = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação de bases; m = índice de saturação de alumínio; ISNa = índice de saturação de sódio; P-rem = fósforo remanescente; C. O. = carbono orgânico; M.O. = matéria orgânica.

Tabela 6 - Parâmetros químicos no Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico na profundidade de 20 - 40 cm

Tratamento	pH	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB
	(H2O)	-----mg dm <sup>-3</sup> -----					-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----		
0	5,96	1,72	21,00	4,50*	3,33	1,78	0,00	3,56	5,17
100	6,01	1,02	23,00	6,00*	2,60	1,05	0,01	4,25	3,73
200	5,90	5,77	17,00	11,50*	3,73	0,98	0,00	4,08	4,80
300	5,75	3,25	29,00	16,03*	1,88	1,85	0,00	4,92	3,87
400	6,10	1,31	13,00	13,02*	3,00	1,13	0,00	2,58	4,23
Média	5,94	2,61	20,6	10,21	2,91	1,36	0	3,88	4,36
CV(%)	3,79	122,47	54,42	20,01	50,4	55,93	233,4	23,3	39,86

Tratamento	CTCe	CTC	COT	MO	P-rem	V	M	ISNa	PST
	-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----		dag kg <sup>-1</sup>		mg L <sup>-1</sup>		-----%-----		
0	5,17	8,73	0,45	0,77	11,70	54,60	0,00	0,62*	0,23*
100	3,75	7,98	0,54	0,94	11,60	44,70	1,40	1,15*	0,26*
200	4,80	8,88	0,46	0,79	11,10	54,10	0,00	1,25*	0,56*
300	3,87	8,79	0,55	0,95	13,50	43,60	0,00	2,00*	0,79*
400	4,23	6,81	0,40	0,68	11,90	62,10	0,00	1,64*	0,99*
Média	4,36	8,24	0,48	0,83	11,96	51,82	0,28	1,33	0,56
CV(%)	39,79	14,55	33,8	33,98	20,71	26,5	447,21	39,21	22,32

Médias seguidas por (\*) são significativas pelo teste F (p<0,10).

Legenda: P - K - Extrator Mehlich 1; Al Extrator KCl 1N; H+Al - Extrator SMP; SB = soma de bases trocáveis; Ca<sup>2+</sup> = cálcio; Mg<sup>2+</sup> = magnésio; CTCe = capacidade de troca catiônica efetiva; CTC = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação de bases; m = índice de saturação de alumínio; ISNa = índice de saturação de sódio; P-rem = fósforo remanescente; C. O. = carbono orgânico; M.O. = matéria orgânica.

Na determinação do  $\text{Na}^+$ , índice de saturação por sódio (ISNa) e na porcentagem de sódio trocável (PST), notou-se que a aplicação da ARS influenciou ( $p < 0,10$ ) o aumento dos mesmos no solo, visto que o  $\text{Na}^+$  adsorvido aumentou de forma linear nas seguintes profundidades 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm (Figura 1). Os teores de  $\text{Na}^+$  com a aplicação de doses crescentes de ARS, alcançando um teor máximo de  $32,64 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  de  $\text{Na}^+$ , 2,34% de ISNa e 1,12% de PST na dose máxima de  $400 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

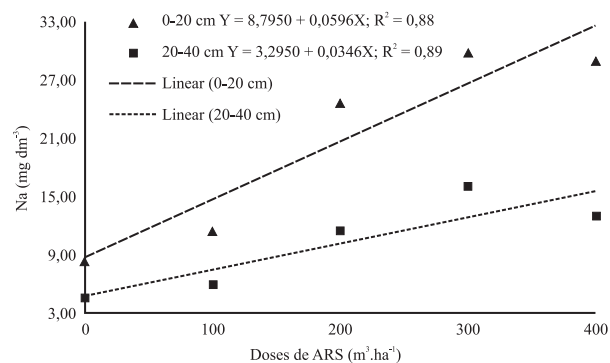


Figura 1 - Variação do  $\text{Na}^+$  no solo em diferentes doses de aplicação de água residuária de suinocultura.

Em geral, as concentrações de  $\text{Na}^+$ , o ISNa (Figura 2) e PST (Figura 3) são elevadas após a aplicação de águas residuárias, principalmente, nas camadas superficiais, tanto em experimentos de curta e longa duração (Cromer et al., 1984; Fonseca et al., 2005). Os resultados corroboram com os encontrados por Erthal et al. (2010), observaram que a aplicação da água residuária de bovinocultura não causou problemas de salinidade visto que o sódio adsorvido se encontra abaixo dos limites prejudiciais. De acordo com Pizarro (1990), os valores podem ser caracterizados como normais com o ISNa e o PST quando  $< 7\%$ , em geral, não causam problemas de dispersão de argilas, embora a elevação dos níveis de  $\text{Na}^+$  favoreça a dispersão de argila do solo. Assim, Garcia et al., (2012), observaram que a aplicação de esgoto doméstico tratado com base no nitrogênio em Tifton 85 com um aumento linear, chegou-se em um PST de 3,1% para a maior dose de esgoto doméstico tratado. Resultado mais elevado do que encontrado no presente trabalho, porém ambos ficaram abaixo do limite máximo.

Embora, tem-se observado acréscimos de  $\text{Na}^+$  em solos cultivados tanto com culturas florestais (Feigin et al., 1991; Bond, 1998) como em estudos de curta e longa duração utilizando água residuária (Quin & Woods, 1978; Balks et al., 1998; Fonseca et al., 2005). Desta forma, a elevação

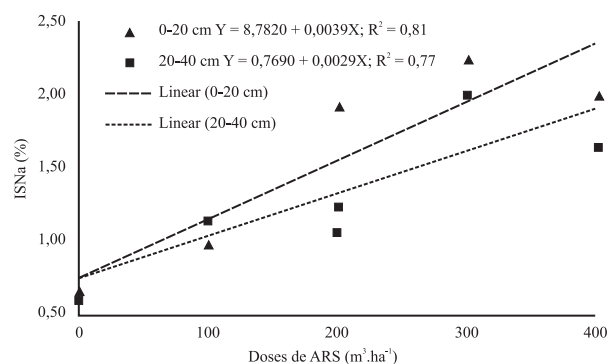


Figura 2 - Variação do ISNa no solo em diferentes doses de aplicação de água residuária de suinocultura.

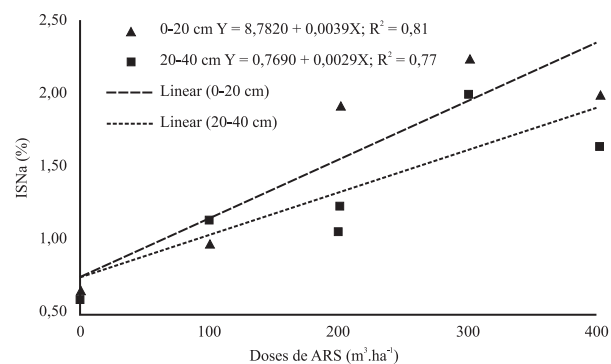


Figura 3 - Variação do PST no solo em diferentes doses de aplicação de água residuária de suinocultura.

na concentração de  $\text{Na}^+$  e ISNa têm sido apontados como responsáveis (Bond, 1998) ou não (Balks et al., 1998) por alterações na condutividade hidráulica do solo, de acordo com a concentração total de sais na solução. A magnitude dos impactos adversos do sódio sobre as propriedades do solo é dependente das quantidades e frequências das precipitações ou aplicações, de forma a promover a lixiviação deste cátion (Mancino & Pepper, 1992; Speir et al., 1999). Neste contexto, a concentração de  $\text{Na}^+$  pode ter influenciado o selamento superficial e conseqüentemente redução no incremento de P disponível no solo a partir da dose  $200 \text{ m}^3$ , devido à perda por escoamento superficial.

A concentração de P disponível respondeu de forma quadrática ( $p < 0,10$ ) a aplicação de ARS na profundidade de 0-20 cm. O nível de P no solo obteve o valor máximo de  $9,89 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  na aplicação de  $200 \text{ m}^3$  com decréscimos de  $4,32 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  para a aplicação de  $400 \text{ m}^3$  de ARS. A aplicação de água residuária em grandes volumes



tende favorecer a perda de P por escoamento superficial (Allen & Mallarino, 2008; Mori et al., 2009; Kaufmann et al., 2019); e isso pode estar associado à formação de um selo constituído pela própria água residuária sobre a superfície do solo (Bundy et al., 2001) e consequente aumento do escoamento superficial (Bertol et al., 2007; Peles, 2007; Matos et al., 2014). Neste contexto, as perdas de P estão associadas ao aumento do sódio e demais parâmetros, que influenciam a porosidade da porção superficial do solo ao longo do período de utilização. Assim, com o incremento das doses elevaram-se as perdas horizontais de P disponível (Figura 4).

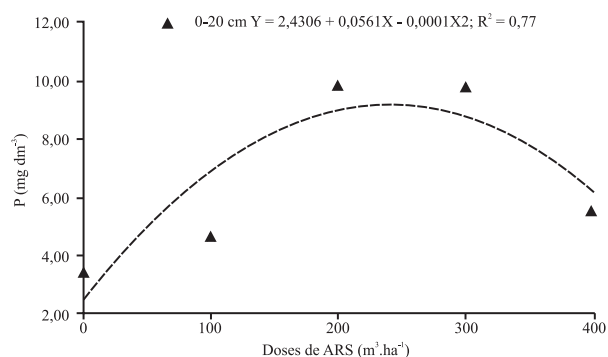


Figura 4 - Variação do P disponível no solo em diferentes doses de aplicação de água residuária de suinocultura.

Em revisão realizada por Souza et al. (2018), foram destacados trabalhos que relatam incrementos de P disponível após a aplicação da água residuária, sobretudo nas camadas superficiais e subsuperficiais, devido a sua baixa mobilidade no solo, sendo observado com maior ênfase em experimentos com mais de cinco anos de duração ou montantes elevados aplicados. Com isso, segundo a CFSEMG (1999), os valores médios de P disponíveis encontrados em ambas as faixas de profundidades por serem considerados baixos, indica-se a utilização da ARS como fonte de P parcial, necessitando de complementação na forma mineral.

Entretanto, os valores de P aderido aos óxidos e hidróxidos (P-rem) em ambas as profundidades do solo não diferiram estatisticamente ( $p < 0,10$ ) com a aplicação de ARS. Porém, Condé et al. (2013), observaram redução no P-remanescente quando realizadas aplicações de diferentes doses de água residuária suínos em um Latossolo Vermelho-Amarelo. Os mesmos autores atribuem essa redução na quantidade de P aderido aos óxidos e hidróxidos presentes no solo se deve ao fato de que o fósforo contido nas águas

residuárias é lentamente disponibilizado com a degradação do material orgânico, tornando-se menos sujeito às reações de adsorção e fixação pelos óxidos de ferro e alumínio presentes no solo.

Os valores da SB e V em ambas as profundidades não diferiram estatisticamente ( $p > 0,10$ ). Ao contrário de Queiroz et al., (2004), utilizando ARS, obtiveram aumentos na SB do solo. Para a V, houve uma redução na camada superficial pela maior utilização desses nutrientes pela forrageira, onde se encontram a maior parte das raízes.

Os teores de  $Al^{3+}$  trocável e a Saturação por Alumínio (m), não tiveram diferença significativa ( $p > 0,10$ ) nas duas profundidades estudadas. Semelhante a esse resultado, Cassol et al. (2011) e Condé et al. (2013), não observaram alterações nesses parâmetros nas camadas superficiais do solo com aplicação de diferentes doses de água residuária de suínos.

Nas duas profundidades, a inclusão de diferentes doses de ARS não afetou o pH e a acidez potencial do solo ( $p > 0,10$ ). Resultados semelhantes foram encontrado por Gomes et al. (2004), Caovilla et al. (2005), Scherer et al. (2007) e Bócoli et al. (2014), que não observaram alterações nos valores de pH e acidez potencial do solo com o emprego de água residuária de suinocultura. Smanhotto et al. (2010), constataram aumento no pH do solo com a aplicação de  $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de água residuária de suinocultura, ao compararem esse tratamento com a testemunha e o que recebeu  $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

As diferenças de efeito sobre o pH causado por resíduos animais aplicados no solo são atribuídas às variações na sua composição, especialmente, quanto aos teores de carbonato ou outros componentes de reação alcalina (Whalen et al., 2000). Por outro lado, a magnitude do efeito de resíduos em componentes da acidez do solo, também, depende do poder tampão do solo tratado e da dose aplicada, sendo, geralmente, necessárias doses elevadas e repetidas para serem observadas mudanças significativas (Cassol et al., 2011).

Para os teores de  $K^+$  trocável nas duas profundidades, não houve diferença significativa ( $p < 0,10$ ) entre os tratamentos. Os trabalhos científicos envolvendo o  $K^+$  em águas residuárias são, às vezes, contraditórios. Sendo observados resultados semelhantes ao presente trabalho por Johns & McConchie (1994), que não notaram alteração no conteúdo de  $K^+$  no solo ao utilizar efluente secundário de esgoto doméstico na fertirrigação de bananeiras, por outro lado, incrementos na concentração de  $K^+$  foram observados em solos com exploração florestal (Cromer et al., 1984; Falkiner & Smith, 1997), gramíneas (Queiroz et al., 2004,

Cabral et al., 2011) e cafeeiro (Medeiros et al., 2005), quando da aplicação de outras águas residuárias. Já Stewart et al. (1990) verificaram que a aplicação de efluente de esgoto tratado causou decréscimos na concentração de  $K^+$  em virtude do incremento da concentração de  $Na^+$  no solo, favorecendo a dessorção e lixiviação de  $K$  no solo.

Os valores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  não diferiram estatisticamente em nenhuma das profundidades ( $p > 0,10$ ), resultado semelhante para o  $Ca^{2+}$  foi encontrado por Condé et al. (2013) com utilização de água residuária de suínos em um Latossolo Vermelho Amarelo. De acordo com a CFSEMG (1999), os valores encontrados neste presente trabalho caracterizam um solo de boa fertilidade em relação ao cálcio. Em relação ao  $Mg^{2+}$ , corroboram com os encontrados por Caovilla et al. (2010), não observaram diferença estatística deste elemento em um Latossolo Vermelho Distroférico fertirrigado com água residuária de suínos.

A CTCe não se diferiu estatisticamente ( $p < 0,10$ ) nas duas profundidades analisadas, porém, a CFSEMG (1999), caracterizando-se este solo como de boa fertilidade em relação a CTCe. A CTC não foi influenciada ( $p < 0,10$ ) pelas doses de ARS nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Entretanto, Erthal et al. (2010), notaram aumento na CTC nas camadas superficiais de 0-10 cm e 10-25 cm quando fertirrigadas com água residuária de bovinos. Queiroz et al. (2004), utilizando água residuária de suinocultura obtiveram aumento na CTC do solo. Aumentos na CTC e saturação por bases também foram observados com o uso de água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro conilon (Garcia, 2003) e com efluente de esgoto tratado (Fonseca et al., 2005). Em geral, os aumentos na CTC com a aplicação de águas residuárias são atribuídos à alta concentração de íons e aos colóides orgânicos presentes nestas. De acordo com a CFSEMG (1999), os valores de CTC encontrados neste trabalho podem ser caracterizados como bom e médio para as profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm respectivamente, resultados que apontam uma manutenção em fertilidade do solo com a aplicação da ARS.

Os valores relacionados a matéria orgânica (MOS) e ao carbono orgânico total (COT) não foram influenciados ( $p < 0,010$ ) pelas doses de ARS. Entretanto, aumentos nos teores de MOS e COT é devido à fertirrigação com águas residuárias, que têm sido relatados principalmente em estudos de longa duração (Quin & Woods, 1978; Friedel et al., 2000 e Ramirez-Ruentes et al., 2002). Assim, Stevenson (1986) e Ramirez-Fuentes et al. (2002), a aplicação de adubos orgânicos no solo promove a diminuição da MOS, por acometer o efeito “priming”. Esse efeito consiste

em um estímulo, normalmente, positivo, que ocasiona incremento na taxa de decomposição da MOS devido ao crescimento extenso e vigoroso da população microbiana, quando material rico em energia é adicionado ao sistema e, subsequentemente, microrganismos produzem enzimas que atacam a MOS (Erthal et al., 2010). A magnitude de diminuição da concentração de MOS depende, principalmente, do tamanho e da atividade da microflora.

## CONCLUSÃO

A aplicação de ARS aumenta a sodicidade do solo e as perdas horizontais de fósforo, recomendando-se utilizar doses de até  $271 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  para manutenção da sustentabilidade e evitar que ocorram danos ambientais.

## LITERATURA CITADA

ALLEN, B.L.; MALLARINO, A.P. Efeito da taxa de esterco suíno líquido, incorporação e tempo de chuva na perda de fósforo com escoamento superficial. *Journal of Environmental Quality*, v. 37, n. 1, p. 125-137, 2008.

ALMEIDA NETO, O.B.; SOUZA, W.L.; HOMEM, B.G.C.; FERREIRA, I.M.; CIDRINI, I.A.; ABREU, M.J.I. Tratamento de efluentes agropecuários: importância e procedimentos. In: PENA, S.M.; TEIXEIRA, R.M.A.; TREVIZANO, L.M.; CAMPOS, A.N.R.; CAETANO, F.B.; MOREIRA, L.A.; MATTOS, L.N. (Ed.) *Ciência e tecnologia no Campus Rio Pomba do IF Sudeste MG: Importância para o arranjo produtivo local*. Rio Pomba, 2017. p.1- 40.

APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21.ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005. 1268p.

BALKS, M.R.; BOND, W.J.; SMITH, C.J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. *Australian Journal of Soil Research*, v.36, p.821-830, 1998.

BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; BERTOL, I. et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p.781-792, 2007.





BÓCOLI, M.E. *Biofertilizer of swine manure on soil fertility and yield of maize*. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Jose do Rosario Vellano, Alfenas, 2014. 48p.

BOND, W.J. Effluent irrigation – An environmental challenge for soil science. *Australian Journal of Soil Research*, v.36, p.543-555, 1998.

BORTONI, S.F., SILVA, J.B.G.; DE SOUSA, C.P. Efeito residual da fertirrigação com água residuária de bovinocultura na qualidade de um solo argilo-arenoso. *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 26, n. 5, p. 452-463, 2018.

BRANDÃO, V.D.S.; MATOS, A.T.; FONTES, M.P. et al. Retenção de poluentes em filtros orgânicos operando com águas residuárias da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, v. 7, n. 2, p. 329-334, 2003.

BUNDY, L.G.; ANDRASKI, T.W. & POWELL, J.M. Management practice effects on phosphorus losses in runoff in corn production systems. *Journal of Environmental Quality*, v. 30, p.1822-1828, 2001.

CABRAL, J.R.; FREITAS, P.S.L.; REZENDE, R. et al. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.8, p.823-831, 2011.

CAOVILLA, F.A.; SAMPAIO, S. C.; SMANHOTTO, A. et al. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, v. 14, n. 7, 2010.

CAOVILLA, F.A.; SAMPAIO, S.C.; PEREIRA, J.O. et al. Lixiviação de nutrientes proveniente de águas residuárias em colunas de solo cultivado com soja. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.283-287, 2005.

CASSOL, P.C.; SILVA, D.C.P.; ERNANI, P.R. et al. Atributos químicos em Latossolo Vermelho fertilizado com dejetos suíno e adubo solúvel. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.10, n.2, p.103-112, 2011.

CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. *Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 5ª aproximação. Viçosa, 1999. 359p.

CONDÉ, M.S.; HOMEM, B.G.C.; ALMEIDA NETO, O.B. et al. Impacto da fertirrigação com água

residuária da suinocultura em um latossolo vermelho-amarelo. *Vértices*, Campos dos Goytacazes, v. 15, p. 161-178, 2013.

CROMER, R.N.; TOMPKINS, D.; BARR, N.J.; HOPMANS, P. Irrigation of monterey pines with wastewater: Effect on soil chemistry and groundwater composition. *Journal of Environmental Quality*, v.13, p.539-542, 1984.

EMBRAPA. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, 412p., 1999.

ERTHAL, V.J.T.; FERREIRA, P.A.; MATOS, A.T. et al. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.5, p.467-477, 2010.

FALKINER, R.A.; SMITH, C.J. Changes in soil chemistry in effluent- irrigated *Pinus radiata* and *Eucalyptus grandis*. *Australian Journal of Soil Research*, v.35, p.131-147, 1997.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. *Irrigation with treated sewage effluent: Management for environmental protection*. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.

FONSECA, A.F.; MELFI, A.J.; MONTES, C.R. Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. II. Soil acidity, exchangeable cations, and sulfur, boron and heavy metals availability. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.36, p.1983-2003, 2005.

FRIEDEL, J.K.; LANGER, T.; SIEBE, C.; STAHR, K. Effects of longterm waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico. *Biology and Fertility of Soils*, v.31, p.414-421, 2000.

GARCIA, G. de O. *Alterações químicas, físicas e mobilidade dos íons no sol decorrentes da aplicação de água residuária da lavagem e despulpa de frutos do cafeeiro conilon*. Dissertação Mestrado. Viçosa: UFV, 2003. 101p.

GARCIA, G.O.; RIGO, M.M.; CECÍLIO, R.A.; REIS, E.F.; BAUER, M.O.; RANGEL, O.J.P. Propriedades

- químicas de um solo cultivado com duas forrageiras fertirrigadas com esgoto doméstico tratado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.7, suplemento, p.737-742, 2012.
- GOMES, E.R.S.; SAMPAIO, S.C.; CORRÊA, M.M. et al. Movimento de nitrato proveniente de água residuária em colunas de solos. *Engenharia Agrícola*, v.24, p.557-568, 2004.
- HOMEM, B.G.C.; ALMEIDA NETO, O.B.; CONDE, M.S. et al. Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. *Científica*, v. 42, n. 3, p. 299-309, 2014.
- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Estações automáticas, 2016. IN [http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_auto\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf). (Acessado em: 02/02/2019).
- JOHNS, G.G.; MCCONCHIE, D.M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. II. Effect on plant nutrients, additional elements and pesticide residues in plants, soil and leachate using drainage lysimeters. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.45, p.1619-1638, 1994.
- KAUFMANN, D.S.; BERTOL, I.; SANTOS, M.A.D.N.D. et al. Impacts of Pig Slurry Applied to Two Different Soils on Nutrient Transport by Runoff. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 43, 2019.
- KONZEN, E. A. *Dejetos de suínos fermentados em biodigestores e seu impacto ambiental como insumo agrícola*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 4 p. (Comunicado técnico, 124).
- MANCINO, C.F.; PEPPER, I.L. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: soil quality. *Agronomy Journal*, v.84, p.650-654, 1992.
- MATOS, A.T.; ALMEIDA NETO, O. B.; MATOS, M.P. Saturação do complexo de troca de solos oxidicos com sódio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental -Agriambi*, v. 18, n. 5, 2014.
- MEDEIROS, S.S.; SOARES, A.A.; FERREIRA, P.A. et al. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.603-612, 2005.
- MENEZES, J.F.S.; DA SILVA BERTI, M.P.; JÚNIOR, V.D.V. et al. Extração e exportação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo milho adubado com dejetos de suínos. *Journal of Neotropical Agriculture*, v. 5, n. 3, p. 55-59, 2018.
- MORI, H.F.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J.; SANTOS, W.L. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 33, p. 189- 198, 2009.
- PELES, D. *Perdas de solo, água e nutrientes sob aplicação de gesso e dejetos líquido de suínos*. Dissertação Mestrado. Curitiba, UFPR, 2007. 97p.
- PIZARRO, F. *Riegos localizados de alta frecuencia*. 2.ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1990. 471p.
- QUEIROZ, F.M.; MATOS, A.T.; PEREIRA, O.G. et al. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. *Ciência Rural*, v.34, n.05, p.1487-1492, 2004.
- QUIN, B.F.; WOODS, P.H. Surface irrigation of pasture with treated sewage effluent. I. Nutrient status of soil and pastures. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v.21, p.419-426, 1978.
- R CORE TEAM. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, 2016. In <http://www.R-project.org/>.
- RAMIREZ-FUENTES, E.; LUCHO-CONSTANTINO, C; ESCAMILLA-SILVA, E.; DENDOOVEN, L. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. *Bioresource Technology*, v.85, p.179-187, 2002.
- REIS, M.M.; SANTOS, L.D.T.; OLIVEIRA, F.G. et al. Irrigação de pastagens tropicais: desafios e perspectivas. *Unimontes Científica*, v. 19, n. 1, p. 178-190, 2017.
- SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T.; NESI, C.N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v.31, p.123-131, 2007.
- SMANHOTTO, A.; SOUSA, A.P.; SAMPAIO, S.S. et al. Cobre e zinco no material percolado e no solo com a aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja. *Engenharia Agrícola*, v.30, p.347-357, 2010.
- SOUZA, W.L.; CIDRINI, I.A.; ALMEIDA NETO, O.B. Aplicação de águas residuárias em solos cultivados: atributos químicos e físicos. *Boletim do Observatório*



*Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*. v. 12, n. 1, p. 43-56, 2018.

SPEIR, T.W.; SCHAIK, A.P. VAN; KETTLES, H.A. et al. Soil and stream-water impacts of sewage effluent irrigation onto steeply sloping land. *Journal of Environmental Quality*, v.28, p.1105-1114, 1999.

STEVENSON, F. J. *Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. New York: John Wiley, 1986. 380p.

STEWART, H.T.L.; HOPMANS, P.; FLINN, D.W. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. *Environmental Pollution*, v.63, p.155-177, 1990.

WHALEN, J.K.; CHANG, C.; CLAYTON, G.W. et al. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.64, p 962-966, 2000.

Recebido para publicação em 22/03/2019 e aprovado em 10/09/2019.