

## Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo

### Effect of prolonged use of swine wastewater on soil properties

Bruno Grossi Costa HOMEM<sup>1,2</sup>; Onofre Barroca de ALMEIDA NETO<sup>3</sup>; Marisa Senra CONDÉ<sup>2</sup>; Mateus Diniz SILVA<sup>4</sup>; Igor Machado FERREIRA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Parte da Iniciação Científica do primeiro autor; Pesquisa financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais.

<sup>2</sup> Graduandos em Zootecnia; IF Sudeste MG, *Câmpus* Rio Pomba; grossizoo@hotmail.com; marisa.senra@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Autor para correspondência; Doutor em Engenharia Agrícola; IF Sudeste MG, *Câmpus* Rio Pomba; Departamento de Agricultura e Ambiente; Av. Dr. José Sebastião da Paixão, s/nº Bairro Lindo Vale, Rio Pomba, MG, CEP: 36185-000; onofre.neto@ifsudestemg.edu.br

<sup>4</sup> Estudantes do curso Técnico em Zootecnia; IF Sudeste MG, *Câmpus* Rio Pomba; mateusdinizsilva@hotmail.com; igorzootecnia@yahoo.com.br

Recebido em: 17-07-2013; Aceito em: 09-05-2014

#### Resumo

A água residuária de suinocultura (ARS) possui características que possibilitam sua disposição no solo como fertilizante, sendo uma alternativa para o não acúmulo desse material na propriedade, além de proporcionar redução de custos com fertilizantes químicos sintéticos. Quando inadequadamente usada, pode constituir-se em fator negativo de impacto ambiental. Diante disso, neste trabalho avaliamos o efeito da aplicação contínua de ARS nas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. O experimento foi realizado numa área plana, ocupada com pastagem de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk estabelecida há três anos. No total foram cinco ciclos da forrageira, onde a cada ciclo da forragem, foram aplicadas as doses 10, 20 e 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de ARS, totalizando as doses de 50, 100 e 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A aplicação da ARS procedeu-se por 5 meses, determinando as propriedades químicas e físicas do solo em duas etapas, uma aos 82 dias de fertirrigação e outra aos 138 dias de fertirrigação. As amostras de solo foram retiradas, nas camadas de 0-0,20 e 0,2-0,40 m. A aplicação de ARS não conseguiu recuperar a fertilidade do solo e suprir a quantidade de nutrientes que a planta estava extraindo, provocando um decréscimo na concentração de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além da diminuição de outros parâmetros ligados a esses nutrientes, como soma de bases e saturação de bases. A água residuária de suinocultura contribui para o aumento da concentração de alumínio trocável e sódio e para a diminuição da matéria orgânica e da capacidade de troca catiônica do solo.

**Palavras-chave adicionais:** adubação orgânica; efluentes; macronutrientes.

#### Abstract

The swine wastewater (SW) has features that allow its disposal in the soil as fertilizer, as an alternative to no buildup of this material on the property, in addition to providing cost savings with synthetic chemical fertilizers. When used improperly, it can constitute a negative factor in environmental impact. Therefore, this study evaluated the effect of continuous application of SW in the chemical and physical properties of an Oxisol red-yellow. The experiment was conducted in a flat area, busy with *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk established three years ago. A total of five cycles of forage, where each cycle of forage, the doses 10, 20 and 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> were applied SW, total doses of 50, 100 and 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. The application of ARS held up for 5 months, determining the chemical and physical properties of soil in two stages, one after 82 days of fertilization and over 138 days of fertilization. Soil samples were taken at depths 0-0.20 m and 0.2-0.40 m. The application of SW could not recover soil fertility and supply the amount of nutrients that the plant was extracting, causing a decrease in the concentration of phosphorus, potassium, calcium and magnesium, besides the decrease of other parameters associated with these nutrients, such sum saturation of bases and bases. The swine wastewater contributes to the increased concentration of exchangeable aluminum and sodium, and decreased organic matter and cation exchange capacity of the soil.

**Additional keywords:** effluent; macronutrients; organic fertilizing.

## Introdução

A inserção da indústria no processo produtivo da suinocultura contribuiu para o melhoramento das raças de suínos e a consequente tecnificação do sistema de manejo, empregando altas tecnologias nas áreas de nutrição, sanidade e ampliação da escala de produção, gerando como efeito colateral, grande produção de dejetos. Dado seu potencial poluidor, esses resíduos requerem tratamentos específicos estabelecidos por leis de proteção ambiental os quais, em algumas situações e dada a inadequada capacitação dos próprios produtores para gerenciamento desses resíduos, são simplesmente tratados como agentes poluidores (CABRAL et al., 2011).

O emprego de água residuária no solo como forma de disposição final deste efluente pode reduzir os custos com fertilização das culturas e reduzir o nível requerido de purificação do efluente e, conseqüentemente, os custos de seu tratamento, pelo fato de o solo e as culturas se comportarem como biofiltros naturais (HARUVY, 1997). Além disso, o aproveitamento de águas residuárias na fertirrigação de culturas agrícolas pode possibilitar o aumento da produtividade e qualidade dos produtos colhidos, redução da poluição ambiental e dos custos de produção, além de promover melhoria nas características químicas, físicas e biológicas do solo (QUEIROZ et al., 2004; BARROS et al., 2005; SANTOS et al., 2006). Todavia, o uso incorreto pode trazer efeitos deletérios tanto ao solo quanto à cultura (LO MONACO et al., 2009).

Apesar de o reúso planejado ser amplamente difundido e utilizado mundialmente, no Brasil, mesmo com escassez dos recursos hídricos em algumas regiões, esta prática não tem sido utilizada de forma intensiva; entretanto, é consenso geral que a irrigação com água residuária, inadequadamente, pode ser nociva ao meio ambiente, à saúde humana, ao solo, aos aquíferos e às culturas irrigadas, por conter certos constituintes poluentes (DUARTE et al., 2008).

Entre os poluentes mais comuns, estão: a) a matéria orgânica, representada pela demanda bioquímica de oxigênio, pela demanda química de oxigênio e pelos sólidos suspensos totais; b) poluentes orgânicos, como os agrotóxicos; c) poluentes inorgânicos, como os metais pesados; d) excesso de macronutrientes, como o nitrogênio e o fósforo; e) microrganismos patogênicos, como as bactérias, os vírus e os parasitas, e f) os elementos que conferem a salinidade da água (HARUVY, 1998; MANCUSO & SANTOS, 2003).

A disposição intensiva de dejetos de suínos pode promover acúmulo de nutrientes na camada superficial do solo, principalmente

daqueles elementos com menor mobilidade, entre os quais fósforo, cobre e zinco (KONZEN, 2000; CERETTA et al., 2003; GRÄBER et al., 2005; SCHERER et al., 2007), o que pode potencializar sua transferência via escoamento superficial e por lixiviação (GESSEL et al., 2004; BASSO et al., 2005; BERWANGER, 2006).

Embora a literatura internacional seja relativamente ampla sobre a utilização de dejetos de suínos como fertilizante e seu possível impacto ambiental, o acervo brasileiro é ainda bastante limitado (SCHERER et al., 2010). A maioria das informações restringe-se às curvas de resposta de algumas culturas, avaliando doses e fontes (KONZEN, 2000; SCHERER & NESI, 2007). Poucos são os trabalhos que apresentaram resultados do efeito cumulativo do uso prolongado de dejetos sobre características do solo, acúmulo de nutrientes ou perda destes por escoamento superficial ou por lixiviação (BERWANGER, 2006).

O conhecimento da dinâmica de elementos no solo, onde se utilizam dejetos de suínos como fertilizante, possibilita estabelecer estratégias para corrigir distorções nos sistemas de produção, visando à maior sustentabilidade ambiental (SCHERER et al., 2010). Neste trabalho, avaliou-se o efeito da aplicação contínua de água residuária de suínos nas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo.

## Material e métodos

Esta pesquisa foi realizada no município de Silveirânia – MG, no período de dezembro de 2011 a maio de 2012, em área com relevo suave ondulado e 5% de declividade, ocupado com pastagem de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk estabelecida há três anos. A área experimental localiza-se nas coordenadas geográficas de 21° 11' 23.92" de latitude (S) e 43° 57' 29.36" de longitude (O), com altitude média de 508 m. O regime climático é Cwa: clima tropical úmido com inverno seco e verão quente na classificação de Koppen; a precipitação média anual é de 1.644 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%.

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas mediram 6 m<sup>2</sup> (3 × 2 m), distantes 1,5 m entre si, em cada bloco. A distribuição dos tratamentos nos respectivos blocos foi definida por sorteio, da seguinte forma: T1 - Testemunha (sem aplicação de água residuária de suinocultura - ARS), T2 a T4 com aplicação de doses de ARS, sendo: T2 – 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, T3 – 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, T4 – 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. As lâminas foram definidas a partir da caracterização da ARS, levando em consideração o ele-

mento K como limitante.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA, 1999). Em dezembro de 2011, delimitou-se a área experimental e realizaram-se amostragens de solo em duas camadas, de 0-0,20 m e de 0,20-0,40 m, para caracterização física e química.

As análises físicas compreenderam a determinação da textura e umidade residual (RUIZ, 2005), densidade aparente (EMBRAPA, 1997) e argila dispersa em água (ADA) (DONAGEMMA, 2003). As análises químicas compreenderam a determinação do pH em água,

cátions trocáveis ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  e  $Na^+$ ), acidez trocável ( $Al^{3+}$ ), acidez total ( $H^+$  +  $Al^{3+}$ ), teor de matéria orgânica e fósforo remanescente e disponível (EMBRAPA, 1997). Os valores da soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (T), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) foram obtidos por meio de cálculos que envolveram os cátions trocáveis determinados (MATOS, 1995).

Nas Tabelas 1 e 2 encontram-se os valores da caracterização física e química do solo, respectivamente.

**Tabela 1** - Caracterização física do Latossolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m. *Physical characterization of the Oxisol from the layers 0-0,20 and 0,20-0,40 m.*

Camada 0-0,20 m							
Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	ADA <sup>(1)</sup>	Densidade aparente	Umidade Residual	
----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----				(%)	(g cm <sup>-3</sup> )	g g <sup>-1</sup>	
90	630	110	170	7,2	1,0283	0,01605	
Camada 0,20-0,40 m							
Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	ADA <sup>(1)</sup>	Densidade aparente	Umidade Residual	
----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----				(%)	(g cm <sup>-3</sup> )	g g <sup>-1</sup>	
80	490	130	300	3,7	1,0283	0,02035	

<sup>1</sup>Argila dispersa em água

**Tabela 2** - Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-0,20 m e 0,20-0,40 m. *Chemical characterization of the Oxisol from the layers 0-0,20 and 0,20-0,40 m.*

Camada 0-0,20 m							
pH	P	K	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>(1)</sup>
H <sub>2</sub> O	----- (mg dm <sup>-3</sup> ) -----			----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----			
5,75	4,8	24	0	1,90	1,60	0	2,3
SB <sup>(2)</sup>	t <sup>(3)</sup>	T <sup>(4)</sup>	V <sup>(5)</sup>	m <sup>(6)</sup>	ISNa <sup>(7)</sup>	MO <sup>(8)</sup>	P-rem <sup>(9)</sup>
----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----		----- (%) -----		----- (dag kg <sup>-1</sup> ) -----		(mg L <sup>-1</sup> )	
3,56	3,56	5,86	60,8	0	0	0,43	40,5
Camada 0,20-0,40 m							
pH	P	K	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al <sup>(1)</sup>
H <sub>2</sub> O	----- (mg dm <sup>-3</sup> ) -----			----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----			
5,3	0,2	10	0	0,9	0,5	0,2	2,9
SB <sup>(2)</sup>	t <sup>(3)</sup>	T <sup>(4)</sup>	V <sup>(5)</sup>	m <sup>(6)</sup>	ISNa <sup>(7)</sup>	MO <sup>(8)</sup>	P-rem <sup>(9)</sup>
----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----		----- (%) -----		----- (dag kg <sup>-1</sup> ) -----		(mg L <sup>-1</sup> )	
1,43	1,63	4,33	33	12,3	0	0,15	23,4

<sup>(1)</sup>Acidez potencial; <sup>(2)</sup>Soma de bases; <sup>(3)</sup>Capacidade de troca catiônica efetiva; <sup>(4)</sup>Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; <sup>(5)</sup>Saturação por bases; <sup>(6)</sup>Saturação por alumínio; <sup>(7)</sup>Índice de saturação por sódio; <sup>(8)</sup>Matéria Orgânica; <sup>(9)</sup>Fósforo remanescente..

A instalação do experimento ocorreu na primeira quinzena do mês de dezembro de 2011, após ser realizado o corte de uniformização da pastagem em todas as parcelas; no total, foram cinco ciclos de produção da forrageira *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, sendo que o volume total de água residuária de suinocultura (ARS) de cada tratamento foi dividido igualmente entre os

cinco ciclos. Dessa forma, foram aplicadas a cada ciclo da forragem as doses de 10; 20 e 30 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> de ARS, totalizando as doses de 50; 100 e 150 m<sup>3</sup> ha ano<sup>-1</sup>. A aplicação foi feita a cada 28 dias (tempo médio necessário para o completo desenvolvimento dessa forrageira), após cada corte da forragem.

A água residuária de suinocultura (ARS)

foi obtida de uma unidade de terminação de suínos em regime de confinamento total, do IF SUDESTE-MG, Câmpus Rio Pomba. A ARS foi armazenada por 45 dias em galões com capacidade de 50 litros para devida fermentação. No momento da aplicação da ARS no campo, foram coletadas amostras do efluente e levadas ao Laboratório de Agroindústria do IF Sudeste-MG, Câmpus Rio Pomba para se proceder às

seguintes análises: pH, nitrogênio total, dureza da água, demanda química de oxigênio (DQO), cálcio, magnésio, potássio, sódio, condutividade elétrica (CE), fósforo total, sólidos nas águas e relação de adsorção de sódio (RAS). As análises se basearam em metodologias recomendadas pela APHA (1995) e os resultados estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3:** Composição da água residuária de suinocultura. *Composition of swine wastewater.*

Ciclos	pH	N-total	Dureza	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	DQO <sup>(1)</sup>	CE <sup>(2)</sup>	RAS <sup>(3)</sup>	
	H <sub>2</sub> O			(mg L <sup>-1</sup> )			(dS m <sup>-1</sup> )	(mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	
I	5,7	868,0	308	65,2	9,86	14.350	6,5	5,1	
II	6,0	865,5	481	101,9	106,1	12.183	6,4	4,4	
III	6,3	863,0	654	138,6	202,3	10.016	6,4	3,6	
IV	6,6	860,5	827	175,3	298,6	7.849	6,3	2,9	
V	6,7	858,0	1000	212,0	394,8	5.682	6,2	2,2	
Média	6,3	863,0	654	138,6	202,3	10.015	6,4	3,6	
Ciclo	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	P-total	ST <sup>(4)</sup>	SF <sup>(5)</sup>	SV <sup>(6)</sup>	SST <sup>(7)</sup>	SDT <sup>(8)</sup>	SS <sup>(9)</sup>
	(mg L <sup>-1</sup> )								
I	156,0	373,0	152,4	5,9	2,5	3,4	0,5	5,4	44
II	156,5	372,2	142,3	5,6	2,1	3,5	0,7	4,9	34,7
III	157,0	371,5	132,2	5,2	1,6	3,6	0,9	4,3	25,4
IV	157,0	370,7	122,1	4,9	1,2	3,7	1,1	3,7	16,1
V	158,0	370,0	112,0	4,5	0,7	3,8	1,3	3,2	6,9
Média	157	371,5	132,2	5,2	1,6	3,6	0,9	4,3	25,3

<sup>(1)</sup>Demanda química de oxigênio; <sup>(2)</sup>Condutividade elétrica; <sup>(3)</sup>Relação de adsorção de sódio; <sup>(4)</sup>Sólidos totais; <sup>(5)</sup>Sólidos fixos; <sup>(6)</sup>Sólidos voláteis; <sup>(7)</sup>Sólidos suspensos totais; <sup>(8)</sup>Sólidos dissolvidos totais; <sup>(9)</sup>Sólidos sedimentáveis.

Com o passar do tempo, ocorrem mudanças no aporte de nutrientes da ARS, devido à mineralização da matéria orgânica, por isso a necessidade de se caracterizar a ARS por ciclos.

Com base nas concentrações de nutrientes presentes na ARS no início de cada ciclo e

nos volumes aplicados por ciclo, estimou-se o aporte de nutrientes fornecido pela ARS (Tabela 4). Nessa estimativa não se levando em consideração as formas como os nutrientes se encontravam no efluente, apenas os teores totais de cada nutriente.

**Tabela 4** - Aporte de nutrientes via água residuária de suinocultura (ARS) durante o experimento. *Nutrient input via swine wastewater (ARS) during the experiment.*

Ciclos	Tratamentos (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Volume de ARS (m <sup>3</sup> )	N Total	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
I	50	10	8,68	1,52	3,73	0,65	0,10	1,56
	100	20	17,36	3,04	7,46	1,30	0,20	3,12
	150	30	26,04	4,56	11,19	1,95	0,30	4,68
II	50	10	8,65	1,42	3,72	1,02	1,06	1,56
	100	20	17,30	2,84	7,44	2,04	2,12	3,12
	150	30	25,95	4,26	11,16	3,06	3,18	4,70
III	50	10	8,63	1,32	3,71	1,39	2,02	1,57
	100	20	17,26	2,64	7,42	1,30	4,04	3,14
	150	30	26,89	3,96	11,13	1,96	6,06	4,71
IV	50	10	8,60	1,22	3,71	1,75	2,98	1,57
	100	20	17,20	2,44	7,42	3,50	5,96	3,14
	150	30	25,80	3,66	11,13	5,25	8,94	4,71
V	50	10	8,58	1,12	3,70	2,12	3,95	1,58
	100	20	17,16	2,24	7,40	4,24	7,89	3,16
	150	30	25,74	3,36	11,10	6,36	11,85	4,74
Total	50	50	43,14	6,60	18,57	6,93	10,11	7,84
	100	100	86,28	13,20	37,14	12,38	20,21	15,68
	150	150	130,42	19,80	55,71	18,58	30,33	23,54

A água residuária de suinocultura (ARS) foi aplicada por cinco meses, determinando-se as propriedades químicas e físicas do solo em duas etapas, uma no meio do experimento de campo (após 82 dias de fertirrigação) e outra no final do experimento (após 138 dias de fertirrigação). As amostras de solo foram retiradas, em todas as parcelas, nas camadas 0-0,20 m e 0,20-0,40 m. Em cada parcela foram coletadas duas amostras em cada camada.

Foram determinados os seguintes parâmetros: pH, CTC efetiva, saturação por bases, soma de bases, saturação por alumínio, teores de MO, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Na<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, e o índice de saturação por sódio (ISNa), de acordo com EMBRAPA (1997); além da argila dispersa em água (ADA) e dos índices de dispersão (ID) e defloculação (IF), de acordo com RUIZ, (2005).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância para o modelo de parcela subdividida no tempo, no qual as doses constituíram a parcela principal e o tempo as subparcelas. As variáveis que se mostraram significativas, foram submetidas ao teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, por intermédio do programa SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

**Resultados e discussão**

Os parâmetros pH, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, ID e IF na camada de 0-20 m e os parâmetros pH, Al<sup>3+</sup>, SB e m não foram influenciados com as sucessivas aplicações da ARS (p>0,05) (Tabelas 5 e 6).

**Tabela 5**—Parâmetros<sup>(\*)</sup> químicos e físicos do LVA na camada de 0-0,20 m, após sucessivas aplicações da ARS. *Chemical and physical LVA parameters in the 0-0,20 m layer, after successive applications of ARS.*

Tempo (dias)	pH (H <sub>2</sub> O)	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB <sup>(1)</sup>	
		-----	(mg dm <sup>-3</sup> )	-----	-----	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	-----	-----	
0	5,75	4,80b	24,00	0,00b	1,90b	1,60	0,0	3,56b	
82	5,98	10,90a	32,00	3,67a	2,53a	1,42	0,07	4,24a	
138	5,55	5,21b	20,50	4,92a	1,85b	1,19	0,18	3,10b	
Média	5,76	6,97	25,50	2,86	2,09	1,40	0,08	3,63	
CV(%)	3,09	27,69	26,60	33,78	8,67	17,66	85,07	4,58	
Tempo (dias)	t <sup>(2)</sup>	MO <sup>(3)</sup>	P-rem <sup>(4)</sup>	V <sup>(5)</sup>	m <sup>(6)</sup>	ISNa <sup>(7)</sup>	ADA <sup>(8)</sup>	ID <sup>(9)</sup>	IF <sup>(10)</sup>
	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	(dag kg <sup>-1</sup> )	(mg L <sup>-1</sup> )	-----	-----	(%)	-----	-----	-----
0	3,56b	0,43c	40,50b	60,80a	0,00b	0,00b	7,20ab	42,37	57,63
82	4,30a	1,53a	46,98a	64,39a	1,36b	0,37a	6,49b	38,17	61,83
138	3,29b	0,92b	44,69a	36,41b	5,34a	0,67a	7,94a	49,36	50,64
Média	3,72	0,96	44,06	53,87	2,23	0,34	7,21	43,30	56,70
CV(%) <sup>(11)</sup>	5,26	10,35	2,15	6,18	51,22	30,09	6,25	9,99	7,63

<sup>(\*)</sup>Médias seguidas por letras diferentes na coluna são significativamente diferentes pelo teste Tukey (p<0,05); <sup>(1)</sup>Soma de bases; <sup>(2)</sup>Capacidade de troca catiônica efetiva; <sup>(3)</sup>Matéria orgânica; <sup>(4)</sup>Fósforo remanescente; <sup>(5)</sup>Saturação por bases; <sup>(6)</sup>Saturação por alumínio; <sup>(7)</sup>Índice de saturação por alumínio; <sup>(8)</sup>Argila dispersa em água; <sup>(9)</sup>Índice de dispersão; <sup>(10)</sup>Índice de floculação; <sup>(11)</sup>Coefficiente de variação.

**Tabela 6**—Parâmetros<sup>(\*)</sup> químicos e físicos do LVA na camada de 0,20-0,40 m, após sucessivas aplicações da ARS. *Chemical and physical LVA parameters in the 0,20-0,40 m layer, after successive applications of ARS.*

Tempo (dias)	pH (H <sub>2</sub> O)	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB <sup>(1)</sup>	
		-----	(mg dm <sup>-3</sup> )	-----	-----	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	-----	-----	
0	5,30	0,20b	10,00b	0,00c	0,90b	0,50b	0,20	1,43	
82	5,47	3,30a	18,75ab	2,33b	1,92a	1,32a	0,39	3,28	
138	5,37	1,07ab	18,83a	4,08a	1,07b	0,78b	0,49	2,30	
Média	5,38	1,52	15,86	2,14	1,30	0,87	0,36	2,34	
CV(%)	2,48	57,77	19,12	18,27	11,71	20,89	41,52	41,71	
Tempo (dias)	t <sup>(2)</sup>	MO <sup>(3)</sup>	P-rem <sup>(4)</sup>	V <sup>(5)</sup>	m <sup>(6)</sup>	ISNa <sup>(7)</sup>	ADA <sup>(8)</sup>	ID <sup>(9)</sup>	IF <sup>(10)</sup>
	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	(dag kg <sup>-1</sup> )	(mg L <sup>-1</sup> )	-----	-----	(%)	-----	-----	-----
0	1,63c	0,15b	23,43b	33b	12,30	0c	3,70b	12,40b	87,60a
82	3,78a	0,70a	36,74a	54,43a	10,84	0,28b	12,89a	42,98a	57,02b
138	2,41b	0,32ab	31,71a	23,64b	19,79	0,76a	10,77a	35,87a	64,13b
Média	2,61	0,39	30,63	37,02	14,31	0,35	9,11	30,42	69,58
CV(%)	4,26	34,01	8,95	8,95	37,84	20,02	26,21	26,31	11,50

<sup>(\*)</sup>Médias seguidas por letras diferentes na coluna são significativamente diferentes pelo teste Tukey (p<0,05); <sup>(1)</sup>Soma de bases; <sup>(2)</sup>Capacidade de troca catiônica efetiva; <sup>(3)</sup>Matéria orgânica; <sup>(4)</sup>Fósforo remanescente; <sup>(5)</sup>Saturação por bases; <sup>(6)</sup>Saturação

por alumínio; <sup>(7)</sup>Índice de saturação por alumínio; <sup>(8)</sup>Argila dispersa em água; <sup>(9)</sup> Índice de dispersão; <sup>(10)</sup>Índice de floculação; <sup>(11)</sup> Coeficiente de variação..

Para o parâmetro P disponível, observou-se diferença entre as épocas de amostragem em ambas as camadas ( $p < 0,05$ ), onde o mesmo teve um comportamento crescente até a metade do experimento (82 dias) e após este período, até o final do experimento (138 dias), teve uma queda brusca, em ambas as camadas (Tabelas 5 e 6).

A diminuição do P disponível em ambas as camadas após os 82 dias de experimento, pode ser explicado pelo menor aporte deste nutriente fornecido pela água residuária de suinocultura (ARS) ao longo dos ciclos. Assim, a taxa de fornecimento de P ao solo via água residuária de suinocultura (ARS), estava sendo menor que o absorvido pela forrageira.

O aporte de P para o solo, em razão da aplicação via águas residuárias, é baixo (FONSECA et al., 2007); os incrementos de P disponível após a aplicação do efluente são observados nas camadas superficiais (QUIN & WOODS, 1978; QUEIROZ et al., 2004; MEDEIROS et al., 2005) e camadas subsuperficiais, mais pronunciadas em experimentos com mais de cinco anos de duração (AL-NAKSHABANDI et al., 1997; MOHAMMAD & MAZAHREH, 2003; WANG et al., 2003).

Avaliando as alterações de um Argissolo, com a aplicação de Água Residuária de Bovinocultura, ERTHAL et al. (2010) verificaram que a concentração de P disponível no solo aumentou apenas na camada superficial (0-0,10 m), para todos os tratamentos. Os autores atribuíram isso à baixa mobilidade do P no perfil do solo.

Aumentos na concentração de fósforo no solo em função do aumento da aplicação de taxas de ARS foram verificados por PRIOR (2008) e BERWANGER (2006). O comportamento também foi observado por QUEIROZ et al. (2004), ao notarem aumento no teor de P disponível em relação à condição inicial, com a aplicação dos dejetos, indicando um acúmulo desse macronutriente no solo. CERETTA et al. (2003) também verificaram que o teor de fósforo disponível no solo aumentou consideravelmente com a aplicação de ARS, ao longo do tempo.

O teor de P-rem, ou seja, o P aderido aos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio no solo, teve uma diminuição em ambas as camadas ( $p < 0,05$ ) com a aplicação da ARS (Tabelas 5 e 6). 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 (SCHERER & BALDISERA, 1994). Esse é um aspecto altamente positivo da aplicação de águas residuárias no solo, pois, na maioria das regiões de clima tropical, o fósforo aplicado na forma mineral solúvel pode ser fortemente fixado pelos referidos

óxidos e hidróxidos presentes, não permanecendo disponível para as plantas (CONDÉ et al., 2012).

Resultados de EGHBALL et al. (1996) e MOZZAFFARI & SIMS (1994) permitiram observar maior movimentação do P no perfil do solo que recebeu dejetos em comparação com o adubo mineral, atribuindo esse fato à movimentação do P na forma orgânica.

Os valores de K trocável do solo apresentaram diferença estatística ( $p < 0,05$ ) somente na camada de 0,20-0,40 m, observando-se aumento no teor do mesmo ao longo das aplicações (Tabelas 5 e 6).

Na camada inferior, o aumento de K trocável foi devido à alta mobilidade desse elemento no perfil do solo. Estes resultados indicam que parte do K adicionado, principalmente nas doses mais altas, foi redistribuída para o interior do perfil do solo concordando com resultados de trabalhos semelhantes realizados anteriormente (CERETTA et al., 2003; KLEPKER & ANGHINONI, 1995).

Os resultados de pesquisas envolvendo o K em águas residuárias são, às vezes, contraditórios (ERTHAL et al., 2010). JOHNS & MCCONCHIE (1994) não notaram alteração no teor deste íon no solo ao aplicarem efluente secundário de esgoto doméstico na fertirrigação de bananeiras, embora se deva ressaltar que o esgoto doméstico é fonte insuficiente de K para a cultura da bananeira; por outro lado, incrementos na concentração de K foram observados em solos com exploração florestal (CROMER et al., 1984; FALKINER & SMITH, 1997), cultivados com berinjela (AL-NAKSHABANDI et al., 1997), gramíneas (QUEIROZ et al., 2004) 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 dissorção e lixiviação de K no solo.

Já para os teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , verificou-se comportamento similar ao K trocável, ou seja, sendo crescente o nível destes nutrientes até os 82 dias, e depois verificando uma queda brusca até o final do experimento (138 dias).

A diminuição destes nutrientes no solo pode estar atribuída ao aumento da produção da forrageira *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk com a utilização da ARS como fonte de nutrientes (HOMEM, et al., 2012), mostrando que a taxa de utilização destes nutrientes pela planta, estava sendo maior que a reposição através da aplicação da ARS. Neste experimento obtemos um aumento de produção de matéria seca de forragem na ordem de 5% para T2, 36% para T3 e 17% para T4 em relação à produção de T1.

Resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho foram encontrados por QUEIROZ et al. (2004) que, utilizando água residuária de suinocultura (ARS) para quatro espécies de forrageira, verificaram que os teores de magnésio no solo foram influenciados pelo tempo de aplicação, sendo estatisticamente maiores no início do experimento do que no final, indicando que houve extração pelas plantas em quantidades maiores que as adicionadas pela ARS. Do mesmo modo, FONSECA (2001) constatou que a disposição de efluente tratado no solo adubado promoveu decréscimo de magnésio, independentemente do tipo de água de irrigação utilizada (potável ou efluente tratado).

De acordo com MENDONÇA & ROWELL (1994), pequenas variações dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo podem ocorrer em função da baixa concentração do elemento  $\text{Ca}^{2+}$  na água residuária ou pela maior retenção de  $\text{Ca}^{2+}$  pela matéria orgânica. Maior retenção do elemento  $\text{Ca}^{2+}$  no solo também foi observada por MELO et al. (2006), utilizando manipueira; esses autores verificaram que em solos argilosos ocorreu maior retenção dos cátions  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ; portanto, referidos elementos foram influenciados pela textura do solo.

Para o parâmetro matéria orgânica (MO) constatou-se que houve diferença estatística em ambas as camadas avaliadas ( $p < 0,05$ ). Observamos que na camada de 0-0,20 m houve um aumento considerável até os 82 dias de experimento, e posteriormente ocorrendo uma queda até o final do experimento, aos 138 dias. Já na camada de 0,20-0,40 m, houve um aumento no teor de MO aos 82 dias, mantendo-se até o final do experimento (Tabela 5 e 6). Essa diminuição no teor de MO do solo na camada superficial, pode estar correlacionado ao aumento da população microbiana do solo, causando um estímulo à decomposição da MO, ocorrendo no solo o chamado efeito "priming". De acordo com STEVENSON (1986), esse efeito consiste em um estímulo normalmente positivo, que ocasiona incremento na taxa de decomposição da MO do solo, 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 MO.

Decréscimos na concentração de MO no solo foram relatados em diversos outros estudos sendo atribuídos aos seguintes fatores: (i) predominância de N na forma mineral (FEIGIN et al., 1991); (ii) manutenção de condições ideais para a mineralização da matéria orgânica como umidade (MYERS et al., 1982); temperatura (ARTIOLA & PEPPER, 1992); aeração (STANFORD & SMITH, 1972); baixa relação C:N da água residuária (FONSECA et al., 2007) e (iii) incremento da ativi-

dade microbiana, estimulando a decomposição da matéria orgânica no solo (BARTON et al., 2005; FONSECA et al., 2005). A magnitude de diminuição da concentração de matéria orgânica no solo depende principalmente do tamanho e da atividade da microflora.

Por outro lado, aumentos nos teores de matéria orgânica no solo devido à aplicação de águas residuárias têm sido observados, sobretudo em estudos de longa duração, como relatados por QUIN & WOODS (1978), FRIEDEL et al. (2000) e RAMIREZ-FUENTES et al. (2002).

De acordo com as Tabelas 5 e 6, observa-se que a capacidade de troca catiônica (t), a saturação por bases (V) e a soma de bases (SB) tiveram comportamentos semelhantes aos dos nutrientes anteriormente citados. Observamos que para todos os parâmetros, as aplicações da ARS no solo promoveram diminuição nos respectivos teores no final do experimento (138 dias).

A diminuição da t a partir dos 82 dias, pode estar ligada à diminuição da (MO). Assim, como o solo é de textura arenosa, a t fica basicamente dependente da MO, ou seja, em solos arenosos se a MO diminui, também diminui a t. Já para a SB e para V, observamos que esta diminuição pode ser devido à diminuição dos nutrientes no solo, que influenciam diretamente nestes dois parâmetros.

Em parcelas que receberam água residuária de bovinocultura, ERTHAL et al. (2010) observaram que a V tiveram seus valores aumentados, notadamente na camada superficial. Aumentos na t e na V também foram observados com o uso de água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro nonilon (GARCIA, 2003) e com efluente de esgoto tratado (FONSECA et al., 2005).

Em geral, os aumentos na t e na V com a aplicação de águas residuárias são atribuídos à alta concentração de íons e aos colóides orgânicos presentes nos efluentes (ERTHAL et al., 2010).

A saturação por alumínio apresentou diferença estatística somente na camada de 0-0,20 m ( $p < 0,05$ ) (Tabela 6). Resultados discordantes com este experimento foram encontrados por CABRAL et al. (2011), que verificaram diminuição na saturação por alumínio, pela queda do teor de Al trocável com a aplicação de água residuária de suinocultura (ARS) em um Latossolo Vermelho distrófico, tendo uma concentração de Al trocável antes de se aplicar os tratamentos de ARS de  $7,0 \text{ mg L}^{-1}$  e, após sua aplicação, o valor de Al trocável foi de  $3,5 \text{ mg L}^{-1}$ .

Verifica-se que a concentração de  $\text{Na}^+$  e o índice de saturação por sódio (ISNa) aumentaram as sucessivas aplicações da ARS no solo em ambas as camadas ( $p < 0,05$ ) (Tabelas 5 e 6).

Em geral, as concentrações de  $\text{Na}^+$  e o ISNa são elevadas após a aplicação de águas residuárias, principalmente nas camadas superficiais (CROMER et al., 1984). Tem-se observado esses acréscimos em solos cultivados tanto com culturas florestais (FEIGIN et al., 1991; BOND, 1998) como em estudos de curta e longa duração (QUIN & WOODS, 1978; BALKS et al., 1998; FONSECA et al., 2005).

Altas concentrações de  $\text{Na}^+$  na solução do solo em comparação com as de  $\text{Ca}^{2+}$  e de  $\text{Mg}^{2+}$ , podem causar deterioração da estrutura do solo, pela dispersão dos colóides e subsequente entupimento dos macroporos, causando decréscimo na permeabilidade à água e aos gases. Nesse contexto, os acréscimos na concentração de  $\text{Na}^+$  e no índice de saturação por sódio (ISNa) têm sido apontados como causa (BOND, 1998) ou não (BALKS et al., 1998) de alterações na condutividade hidráulica do solo, dependendo da 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).

Para os parâmetros argila dispersa em água (ADA) e índice de dispersão (ID) avaliados no solo, verificamos que a ADA apresentou diferença em ambas as camadas ( $p < 0,05$ ), aumentando com as sucessivas aplicações da água residuária de suinocultura (ARS) (Tabelas 5 e 6). Esse aumento da ADA pode estar ligado ao efeito acumulativo do  $\text{Na}^+$  com a aplicação da ARS, pelo fato de que o  $\text{Na}^+$  é o principal causador deste fenômeno negativo ocasionado ao solo. Porém, a dispersão de agentes cimentantes em agregados é um fenômeno que pode ocorrer naturalmente ou por ação antrópica; assim, o aumento da dispersão neste experimento não pode estar ligado somente à aplicação do efluente, mas também a efeitos naturais, como precipitação (ALMEIDA NETO et al., 2009).

Resultados semelhantes foram encontrados por MONTES et al. (2004), trabalhando com aplicação de água residuária de origem doméstica em um Argissolo, verificaram que a dispersão das argilas aumentou com o tempo até 0,80 m de profundidade e que este aumento foi mais pronunciado na camada de 0 a 0,10 m. ERTHAL et al. (2010) também observaram que os valores de ADA na camada superficial (0 a 0,10 m), são maiores e com tendência de aumento com o tempo com a aplicação de efluentes de animais no solo.

O valor do ID só foi significativo na camada de 0,20-0,40 m ( $p < 0,05$ ). Apesar da ocorrência do aumento tanto da ADA quanto do ID, esses valores não comprometem a taxa de infiltração de água no

solo, pois de acordo com as diretrizes para interpretação para qualidade de água para irrigação proposta por AYERS & WESTCOT, (1991), o efluente utilizado neste experimento não apresenta nenhum risco quanto a promover a dispersão de argila e conseqüente diminuição da taxa de infiltração de água no solo.

Observando o comportamento dos parâmetros do solo avaliados neste experimento, é necessário que se faça uma adubação mineral de correção inicialmente antes da aplicação do efluente (principalmente fósforo e potássio); e que trabalhe com a ARS em adubação de cobertura de pastagens, como fonte principalmente de nitrogênio, devido à baixa concentração de nutrientes na ARS e a lenta disponibilização dos mesmos no solo.

Além disso, destaca-se a importância da realização de trabalhos que avaliem o impacto da aplicação de efluentes de animais em longo prazo, pelo fato de termos poucas informações do comportamento dos solos ao longo de sucessivas aplicações desses efluentes.

## Conclusões

As sucessivas aplicações da água residuária da suinocultura proporcionaram:

Diminuição dos nutrientes fósforo, cálcio e magnésio após os 82 dias, pelo incremento da produção da forrageira, mostrando que a ARS não estava repondo a quantidade de nutrientes extraídos pela planta.

Com a diminuição dos nutrientes, as sucessivas aplicações proporcionaram a redução nos valores de saturação por bases e de soma de bases. Causou também decréscimo da MO pelo estímulo ao crescimento da microbiota do solo, causando o efeito “priming”, o que também provocou redução da capacidade de troca catiônica;

Diminuição do P aderido aos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, pela liberação mais lenta do elemento no solo.

Aumento da porcentagem de argila dispersa em água, devido ao aumento da concentração de  $\text{Na}^+$  no solo.

## Agradecimentos

À FAPEMIG pela concessão da bolsa e ao IF SUDESTE MG, *Câmpus* Rio Pomba pelo apoio financeiro à pesquisa.

## Referências

ALMEIDA NETO, O. B.; MATOS, A. T.; ABRAHÃO, W. A. P.; COSTA, L. M.; DUARTE, A. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1571-1581, 2009.

AL-NAKSHABANDI, G. A.; SAQQAR, M. M.;



- SHATANAWI, M. R.; FAYYAD, M.; AL-HORANI, H. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.34, p.81-94, 1997.
- APHA – American Public Health Association. **Standart methods for the examination of water and wastewater**. 19<sup>th</sup>ed. New York: APHA, WWA, WPCR, 1995. 2617p.
- ARTIOLA, J. F.; PEPPER, I. L. Longterm influence of liquid sewage sludge on the organic carbon and nitrogen content of a furro-wirrigated desert soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.14, p.30-36, 1992.
- AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.
- 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**, Melbourne, v.36, p.821-830, 1998.
- BARROS, F. M.; MARTINEZ, M. A.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T.; SILVA, D. D. Características químicas do solo influenciado pela adição de água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, p.47-51, 2005.
- BARTON, L.; SCHIPPER, L. A.; BARKLE, G. F.; MCLEOD, M.; SPEIR, T. W.; TAYLOR, M. D.; MCGILL, A. C.; VAN SCHAIK, A. P.; FITZGERALD, N. B.; PANDEY, S. P. Land application of domestic effluent onto four soil types: Plant uptake and nutrient leachig. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.34, p.635-643, 2005.
- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; POLETTO, N.; GIROTTO, E. Dejeito líquido de suínos: II-Perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35. p.1305–1312, 2005.
- BERWANGER, A. L. **Alterações e transferências de fósforo do solo para o meio aquático com aplicação de dejeito líquido de suínos**. 2006. 102f. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- BOND, W. J. Effluent irrigation – An environmental challenge for soil science. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.36, p.543-555, 1998.
- CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.8, p.823–831, 2011.
- CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.729-735, 2003.
- CONDÉ, M. S.; HOMEM, B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B.; SANTIAGO, A. M. F. Influência da aplicação de águas residuárias de criatórios de animais no solo: atributos químicos e físicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, MG, v.2, n.1, p.99-106, Julho, 2012.
- CROMER, R. N.; TOMPKINS, D.; BARR, N. J.; HOPMANS, P. Irrigation of monterey pines with wastewater: Effect on soil chemistry and ground-water composition. **Journal of Environmental Quality**, v.13, p.539-542, 1984.
- DONAGEMMA, G. K.; HUIZ, H. A.; FONTES, M. P. F.; KERF, J. C.; SCHAEFER, C. E. G. R. Dispersão de latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, p.765-772, 2003.
- DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, p.302–310, 2008.
- EGHBALL, B.; BINFORD, G. D.; BALTENSPERGER, D. D. Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.25, p.1339-1343, 1996.
- 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: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 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**, Melbourne, 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.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, p.1039-1042, 2011.

FONSECA, A. D. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. 2001. 126f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

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.

FONSECA, A. F. ; HERPIN, U; PAULA, A. M.; VICTORIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, n.2, p.194-209, 2007.

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**, Berlin, v.31, p.414-421, 2000.

GARCIA, G. O. **Alterações químicas, físicas e mobilidade dos íons no solo decorrentes da aplicação de água residuária da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro conilon**. 2003. 101f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

GESSEL, P. D.; HANSEN, N. C.; MONCRIEF, J. F.; SCHMITT, M. A. Rate of fall-applied liquid swine manure: Effects on runoff transport of sediment and phosphorus. **Journal Environmental Quality**, Madison, v.33, p.1839-1844, 2004.

GRÄBER, I.; HANSE, J. F.; OLESEN, S. E.; PETERSEN, J.; OSTERGAARD, H. S.; KROGH, L. Accumulation of copper and zinc in danish agricultural soils in intensive pig production areas. **Danish Journal of Geography**, v.105, p.15–22, 2005.

HARUVY, N. Agricultural reuse of wastewater: nation-wide cost-benefit analysis. **Agriculture**,

**Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.66, p.133-119, 1997.

HARUVY, N. Wastewater reuse – regional and economic considerations. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v.23, p.57-66, 1998.

HOMEM, B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B.; CONDÉ, M. S.; SILVA, M. D.; FERREIRA, I. M.; TAVARES, V. B.; BITTENCOURT, F. Produção de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk fertirrigada com água residuária de suínos. In: SIMPOSIO DE CIÊNCIA, INOVAÇÃO & TECNOLOGIA – IF Sudeste MG - Campus Rio Pomba, 5., 2012, Rio Pomba. **Anais...** Rio Pomba: IF Sudeste MG, Campus Rio Pomba, 2012b. CD-ROM.

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.

KONZEN, E. A **Alternativas de manejo, tratamento e utilização de dejetos animais em sistemas integrados de produção**. Sete Lagoas, Embrapa Milho Sorgo, 2000. 32p.(Documentos,5).

LO MONACO, P. A.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, H. E. P.; FERREIRA, P. A.; MOTA, M. M. Características químicas do solo após a fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. **Irriga**, Botucatu, v.14, n.3, p.348-364, 2009.

MANCINO, C. F.; PEPPER, I. L. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: soil quality. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, p.650-654, 1992.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. São Paulo: Manole, 2003. 576p.

MATOS, A. T. **Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos do município de Viçosa-MG**. 1995. 110f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.603-612, 2005.

MELO, R. F.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; RUIZ, H. A.; OLIVEIRA, L. B. Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de

- solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, p.456-465, 2006.
- MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um Latossolo argiloso sobre cerrado e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.18, p.295-303, 1994.
- MOHAMMAD, M. J.; MAZAHREH, N. Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.34, p.1281-1294, 2003.
- MONTES, C. R.; FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; SANTOS, A. P. R.; GLOAGUEN, T.; FORTI, M. C.; PIVELLI, R. Agricultural use of stabilization pond effluent: a case study in the city of Lins (SP, Brazil). In: INTERNATIONAL MEETING OF INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCES SOCIETY, 12., 2004, São Pedro. **Resumos...** São Pedro: EMBRAPA, 2004. v.1. p.732-734.
- MYERS, R. J. K.; CAMPBELL, C. A.; WEIER, K. L. Quantitative relationship between net nitrogen mineralization and moisture content of soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.62, p.111-124, 1982.
- PRIOR, M. **Efeito da água residuária de suinocultura no solo na cultura do milho**. 2008. 120f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.
- QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. Características químicas de solo submetidos ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivados com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, 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**, Wellington, v.21, p.419-426, 1978.
- RAMIREZ-FUENTES, E.; LUCHOCONSTANTINO, C.; ESCAMILLA-SILVA, E.; DENDOOVEN, L. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. **Bioresource Technology**, Essex, v.85, p.179-187, 2002.
- RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (Silte + Argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n.2, abril/maio 2005.
- SANTOS, S. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C.; BATISTA, R. O. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas Características químicas do solo. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.14 n.1, 32-38, 2006.
- SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T. Aproveitamento dos dejetos de suínos como fertilizantes. In: DIA DE CAMPO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS, 1994, Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 1994, p.47 (Documentos, 32).
- SCHERER, E. E.; NESI, C. N. Sistemas de preparo do solo, doses e fontes de adubo nitrogenado na produtividade de milho. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.20, p.67-71, 2007.
- 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.
- SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.34, p.1375-1383, 2010.
- SPEIR, T. W.; SCHAİK, A. P. VAN; KETTLES, H. A.; VICENT, K. W.; Campbell, D. J. Soil and stream-water impacts of sewage effluent irrigation onto steeply sloping land. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.28, p.1105-1114, 1999.
- STANFORD, G.; SMITH, S. J. Nitrogen mineralization potentials of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.36, p.465-472, 1972.
- 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**, Barking, v.63, p.155-177, 1990.
- WANG, Z.; CHANG, A. C.; WU, L.; CROWLEY, D. Assessing the soil quality of longterm reclaimed wastewater-irrigated cropland. **Geoderma**, Amsterdam, v.114, p.261-278, 2003.