

## Influência da aplicação de água residuária bovina nos atributos químicos do solo cultivado com cenoura

### Influence of dairy cattle wastewater application on the chemical attributes of soil cultivated with carrots

Marcos Filgueiras Jorge<sup>1</sup>, Leonardo Duarte Batista da Silva<sup>1</sup>, Fabiana da Costa Barros<sup>2</sup>, Ana Daniela Lopes<sup>3</sup>, Cristina Moll Huther<sup>2\*</sup>, Antonio Carlos Farias de Melo<sup>1</sup>, Daiane Cecchin<sup>2</sup>

#### RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar efeitos da disposição final da água residuária de bovinocultura de leite (ARB) tratada por uma unidade piloto de tratamento (UPT), sobre características químicas de planossolo cultivado com cenoura, nas profundidades de 0-0,20 e de 0,20-0,40 m. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos (0, 100, 200 e 300% da necessidade de nitrogênio) e quatro repetições. Foram quantificados os teores de  $N_{Total}$ ,  $P_{Disp}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ , COT, pH, CTC e SB, na profundidade de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, avaliados no início (I) e fim (F) do ciclo do cultivo. Os teores de  $P_{Disp}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  sofreram redução durante o ciclo, em ambas as profundidades. Entretanto  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e CTC apresentaram comportamento oposto, aumentaram com o final do ciclo. Não foi observada alteração para o pH,  $N_{Total}$  e SB. Com base nos resultados, a disposição final da ARB é uma alternativa complementar de tratamento, tendo em vista que a mesma não apresentou a curto prazo contaminação das profundidades avaliadas.

**Palavras-chave:** *Daucus carota*; Fertirrigação; Efluente no solo; Tratamento complementar;

#### ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the effects of the final disposal of dairy cattle wastewater (DCWW) treated by a pilot treatment unit (PTU) on chemical characteristics of planosol cultivated with carrots, at depths of 0-0.20 and of 0.20-0.40 m. The experimental design was completely randomized, with four treatments (0, 100, 200 and 300% of nitrogen requirement) and four replications. The contents of  $N_{Total}$ ,  $P_{Disp}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ , TOC, pH, CTC and SB were quantified at depths of 0-0.20 and 0.20-0.40 m, evaluated at the beginning (B) and end (E) of the crop cycle. The contents of  $P_{Disp}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  were reduced during the cycle, at both depths. However,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  and CTC showed opposite behavior, increasing towards the end of the cycle. No change was observed for pH,  $N_{Total}$  and SB. Based on the results, the final disposal of the DCWW is a complementary treatment alternative, considering that it did not present contamination of the depths evaluated in the short term.

**Keywords:** *Daucus carota*; Fertirrigation; Effluent at soil; Complementary treatment;

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

<sup>2</sup> Universidade Federal Fluminense

<sup>3</sup> Universidade Paranaense

\*E-mail: [cristinahuther@id.uff.br](mailto:cristinahuther@id.uff.br)

## INTRODUÇÃO

No ano de 2017 a produção leiteira do Brasil foi de aproximadamente 34,23 milhões de litros e a produtividade média do país foi de 1,6 L.vaca.ano<sup>-1</sup>, sendo que tal cenário se deve principalmente a aplicação de tecnologia e ao sistema de confinamento intensivo (MARTINS, 2018). No entanto, sistemas de manejo intensivo de animais por confinamento são conhecidos pelo potencial poluidor inerente aos resíduos gerados. Estima-se que são produzidos somente na produção leiteira, cerca de 317 milhões de toneladas de resíduos por ano. Dessa forma, um dos maiores desafios dessa intensa produção tem sido a correta gestão dos resíduos produzidos, pois envolve aspectos técnicos, sanitários e econômicos (ABD-ELWAHED, 2019; MACIEL et al., 2019).

A água residuária de bovinocultura (ARB), é o efluente da atividade leiteira resultantes de diversas atividades ou processos realizados periodicamente no âmbito da produção (OTENIO et al., 2017) sendo constituída principalmente por: fezes e urina dos animais, resíduos de leite, detergente e elevada quantidade de água proveniente da limpeza de currais.

No que tange às características qualitativas da ARB, apresenta alta concentração de material orgânico, sólidos totais e nutrientes (LIMA et al., 2019). Consequentemente, a disposição direta, sem prévio tratamento em cursos de água pode gerar disseminação de patógenos e contaminação por de elementos ou substâncias tóxicas, modificando dessa forma, a dinâmica ecossistêmica do local e o meio físico (SILVA et al., 2017).

Por conter alta carga nutritiva, a ARB torna-se uma importante ferramenta para a atividade agrícola, visto que possibilita a ciclagem de nutrientes ao solo, o que possibilita a redução de custos com fertilizantes minerais e de água potável. Além disso, vale ressaltar que a disposição final de águas residuárias no solo tem se mostrado como alternativa complementar aos sistemas de tratamento biológico, pois o mesmo favorece a depuração de contaminantes microbiológicos por meio da competição com a microbiota estabelecida no ambiente (JORGE et al., 2017)

Por outro lado, esta alternativa oferece riscos ambientais, caso não seja realizada de maneira adequada, pois pode acarretar a deterioração do meio físico, de forma a comprometer a qualidade dos solos pelo aporte excessivo de sais, contaminação por elementos tóxicos ou excesso de nutrientes, obstrução/selamento de poros por material particulado, pela proliferação de organismos patogênicos e vetores de distúrbios à saúde

pública, bem como pela contaminação e eutrofização de mananciais superficiais e subterrâneos (ABD-ELWAHED, 2019; MACIEL et al., 2019). Neste sentido, a avaliação sobre o impacto da disposição final de ARB em áreas agricultáveis, por meio dos parâmetros químicos de fertilidade dos solos, em profundidades distintas, pode subsidiar o efeito da aplicação desse efluente, via fertirrigação, no que diz respeito à capacidade de suporte dos elementos aplicados e sua mobilidade no perfil.

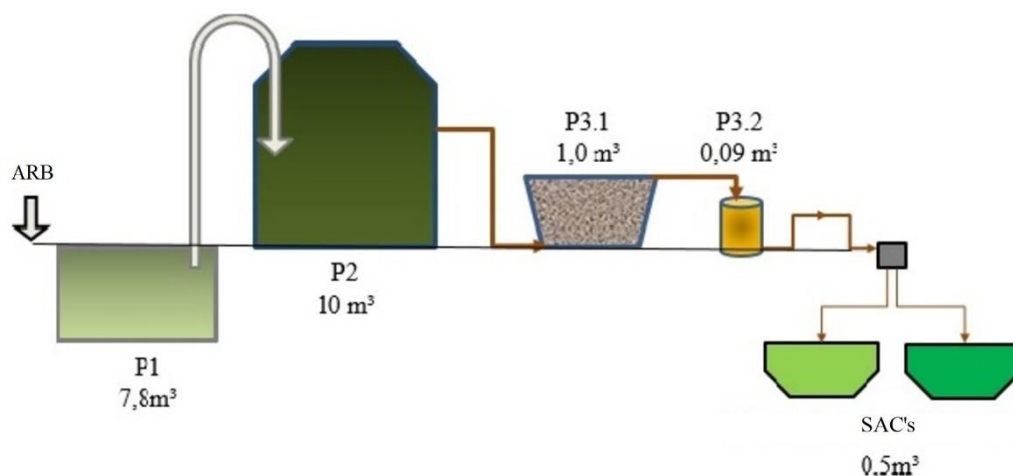
O objetivo do estudo foi avaliar efeitos da disposição final da água residuária de bovinocultura de leite (ARB) tratada por uma unidade piloto de tratamento (UPT), sobre características químicas de planossolo cultivado com cenoura, nas profundidades de 0-0,20 e de 0,20-0,40 m.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA) localizado no município de Seropédica, Rio de Janeiro (22° 45'S, 43° 41'W). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen é Aw, com verões úmidos e invernos secos (ROCHA et al., 2019). O solo foi classificado como um planossolo háplico distrófico (SANTOS et al., 2018).

Foram testadas diferentes doses de nitrogênio (N) provenientes de ARB, resultando em quatro tratamentos (0, 100, 200 e 300% de N). A ARB utilizada no presente estudo foi obtida através da mistura de dejetos in natura (fezes e urina de bovinos), coletado após a raspagem e lavagem do curral, a qual era conduzida por gravidade, por meio de tubulação de PVC de 150 mm à unidade piloto de tratamento (UPT) (Figura 1). Na unidade, a ARB foi submetida respectivamente às seguintes etapas: esterqueira, tanque séptico, filtro de fluxo ascendente, filtro de fluxo descendente e o sistema de alagado construído (SAC). Após as etapas de tratamento, a ARB tratada foi transportada para um reservatório de 0,5 m<sup>3</sup>, interligado por meio de tubulações ao canteiro cultivado.

**Figura 1** – Fluxograma da UPT instalada, composta por: P1 – esterqueira; P2 – tanque séptico; P3.1 – filtro de fluxo ascendente; P3.2 – filtro de fluxo descendente; e SAC's – leitos cultivados com taboa e com capim vetiver.



O monitoramento dos parâmetros do efluente foi realizado de maneira contínua desde o início da operação da UPT, em períodos fixos de quinze dias, por meio de pontos de coleta instalados após cada estrutura de tratamento. A caracterização foi realizada no Laboratório de Monitoramento Ambiental I – Água e Efluentes (LMAI) do Departamento de Engenharia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), de acordo com as recomendações contidas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (BAIRD et al., 2017), a qual está descrita na Tabela 1.

**Tabela 1** – Caracterização dos parâmetros físico-químicos e biológicos, em valores medianos da ARB tratada na UPT, utilizada na fertirrigação do cultivo da cenoura

Parâmetro	Mediana	Parâmetro	Mediana
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	238,92	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	112,74
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	622,89	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	83,09
DQO/DBO	2,67	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	80,06
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	23,20	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	2,30
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	0,60	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,13
Turbidez (FTU)	85,56	NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	69,03
Cor (PtCo)	2119	K (mg.L <sup>-1</sup> )	107,17
pH	7,00	Ca (mg.L <sup>-1</sup> )	37,41
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	2,36	Mg (mg.L <sup>-1</sup> )	28,25

RAS [(mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup> ]	0,51	Na (mg.L <sup>-1</sup> )	16,88
O & G (mg.L <sup>-1</sup> )	18,00	Salm (P/A. 100mL <sup>-1</sup> )	P
O.veg (mg.L <sup>-1</sup> )	8,63	C.Termo [(log).NMP.100mL <sup>-1</sup> ]	5,27
G.ani (mg.L <sup>-1</sup> )	10,70	E.coli [(log).NMP.100mL <sup>-1</sup> ]	5,02

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO – Demanda Química de Oxigênio; SST – Sólidos Suspensos Totais; OD – Oxigênio dissolvido; CE – Condutividade Elétrica; RAS – Razão de Adsorção de Sódio; O&G – Óleos e Graxas; O.veg – Óleo Vegetal; G.ani - Gordura Animal; P – presença.

O cálculo das lâminas necessárias à aplicação das diferentes doses de nitrogênio foi obtido por meio da Equação 1 proposta por (MATOS; MATOS, 2017).

$$TA_{AR} = \frac{\left[ N_{abs} - \left( T_{m1} MO \rho_s 10^7 0.005 \frac{n}{12} \right) \right]}{\left[ T_{m2} N_{org} + (N_{amoniacal} + N_{nittrato}) TR \right]} \quad (1)$$

Em que:

$TA_{AR}$  = taxa anual de aplicação (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>);

$N_{abs}$  = absorção de nitrogênio pela cultura para a obtenção da produtividade desejada (kg.ha<sup>-1</sup>);

$T_{m1}$  = taxa anual de mineralização da matéria orgânica anteriormente existente no solo (kg.kg<sup>-1</sup>);

MO = conteúdo de matéria orgânica do solo (kg.kg<sup>-1</sup>);

$\rho_s$  = massa específica do solo (t.m<sup>-3</sup>);

n = número de meses de cultivo da cultura;

$T_{m2}$  = taxa anual de mineralização do nitrogênio orgânico (kg.kg<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>);

$N_{org}$  = nitrogênio orgânico disponibilizado pelo resíduo aplicado (mg.L<sup>-1</sup>);

$N_{amoniacal}$  = nitrogênio amoniacal disponibilizado pelo resíduo aplicado (mg.L<sup>-1</sup>);

$N_{nittrato}$  = nitrogênio nítrico disponibilizado pelo resíduo aplicado (mg.L<sup>-1</sup>);

TR = taxa de recuperação do nitrogênio mineral pela cultura (kg.kg<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>).

Dessa forma, a dose de referência (100% N) adotada foi de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N. A concentração total dos nutrientes para cada tratamento está disposta na Tabela 2.

**Tabela 2** – Caracterização dos parâmetros físico-químicos e biológicos, em valores medianos da ARB tratada na UPT, utilizada na fertirrigação do cultivo da cenoura

Parâmetro (kg ha <sup>-1</sup> )	Doses de N			
	0%	100%	200%	300%
K	-	306,50	613,00	919,72
P	-	104,56	209,12	313,75
N <sub>Total</sub>	-	150,00	300,00	450,00
Ca	-	106,99	213,98	321,05
Mg	-	80,79	161,59	242,44
Na	-	48,27	96,54	144,85

A implantação do cultivo de cenoura (*Daucus carota* L.), cultivar ‘Brasília’ foi realizada por meio de sementes distribuídas em quatro linhas de semeadura espaçadas em 0,25 m, em dois canteiros a campo aberto com área de 32 m<sup>2</sup>. Ao longo do ciclo foram realizadas capinas manuais, de modo a evitar competição com ervas espontâneas, realizadas aos 15 e 30 dias após o semeio.

A irrigação e fertirrigação da cultura foi realizada por sistema de irrigação localizada, por meio de gotejadores autocompensantes. Sendo o mesmo constituído por: conjunto motobomba DANCOR CAM-W4C; filtro de disco de 150 mesh; manômetro; válvula de gaveta; tubulações de PVC AMANCO (linha de sucção e recalque de 1”, principal e de derivação de 32 mm); quatro mangueiras por canteiro, de polietileno de 16 mm de diâmetro AMANCO, interligadas no início e final dos canteiros; gotejadores NAANDAN JAIN com vazão de 2, 4, 8 e 12 L h<sup>-1</sup> e pressão de serviço de 98100 Pa que foram integrados no espaçamento de 0,25 m, formando uma faixa molhada. Foram implantadas duas tubulações de maneira independente, na qual uma era ligada diretamente no reservatório de acúmulo de ARB tratada pela UPT e a outra ao reservatório de água proveniente da rede de abastecimento. Assim, a ARB sendo tratada pela UPT fica de acordo com a Resolução nº 54 de 28/11/2005 / CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, impedindo dessa forma a contaminação de cultivos pela passagem pela unidade de tratamento.

De maneira a garantir a mesma lâmina para todas as parcelas, a instalação dos gotejadores foi realizada por associação, as composições aplicadas em cada tratamento podem ser visualizadas na Tabela 3.

**Tabela 3** – Composição da lâmina aplicada em cada tratamento

Tratamento (doses de N)	Composição da lâmina aplicada (L h <sup>-1</sup> )	
	ARB	Água de abastecimento
0%	0	12
100%	4	8
200%	8	4
300%	12	0

No manejo da irrigação foi adotado um turno de rega (TR) fixo e equivalente a meio dia. Portanto, eram realizados pulsos com 2 minutos de duração por vez, podendo ser vários pulsos por dia, evitando-se que houvesse perda por escoamento superficial nas laterais dos canteiros. Por meio dos dados climáticos, obtidos a partir da estação agrometeorológica Ecologia Agrícola do INMET, era calculada diariamente o estimado para evapotranspiração, pelo método de Penman-Monteith (FAO-56) determinando a evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) e associados aos valores dos coeficientes de cultivo (K<sub>c</sub>) disponíveis neste boletim, aplicados sempre no dia seguinte.

Foram coletadas quatro amostras de solo para cada parcela de tratamento, em duas profundidades: de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, e em dois períodos: no início (I) e após (F) o ciclo da cultura. Após o procedimento, o solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 2 mm de malha. Posteriormente, as amostras foram levadas para o Laboratório de Gênese e Classificação de Solo (LGCS), localizado na UFRRJ e submetidas às análises químicas, de acordo com a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017).

Os resultados foram submetidos à análise da variância ANOVA ( $p \leq 0,05$ ); e em sendo significativos os efeitos, estes foram testados por modelos de regressão polinomial. A escolha dos modelos foi baseada na significância estatística (teste F), no ajuste do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e no significado biológico do modelo.

Para comparar o efeito proporcionado pelo período de cultivo, os dados iniciais (I) e finais (F), foram submetidos a ANOVA ( $p \leq 0,05$ ), e comparados por meio do teste Tukey a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foi observada diferença estatística ao nível de 5% de significância, entre os parâmetros de pH, N e SB para ambas as profundidades. No entanto, os teores de P, K, Ca, Mg, Na e CTC variaram ao nível de 5% de significância, com exceção ao Ca, que apresentou diferença significativa apenas na profundidade de 0,20-0,40 m (Tabela 4 e 5).

**Tabela 4** – Teores médios dos atributos avaliados durante o período inicial e final, na profundidade de 0-0,20 m, submetidos a aplicação da ARB tratada pela UPT

Atributo		Tratamentos							
		0%		100%		200%		300%	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
pH	---	5,71 <sup>ns</sup>	6,01 <sup>ns</sup>	5,90 <sup>ns</sup>	6,05 <sup>ns</sup>	5,99 <sup>ns</sup>	6,15 <sup>ns</sup>	5,96 <sup>ns</sup>	5,89 <sup>ns</sup>
COT	(g kg <sup>-1</sup> )	8,81 <sup>ns</sup>	8,32 <sup>ns</sup>	8,68 <sup>ns</sup>	8,21 <sup>ns</sup>	9,57 <sup>ns</sup>	9,04 <sup>ns</sup>	10,39 <sup>ns</sup>	9,82 <sup>ns</sup>
N <sub>total</sub>	(g kg <sup>-1</sup> )	0,134 <sup>ns</sup>	0,120 <sup>ns</sup>	0,113 <sup>ns</sup>	0,176 <sup>ns</sup>	0,127 <sup>ns</sup>	0,131 <sup>ns</sup>	0,169 <sup>ns</sup>	0,113 <sup>ns</sup>
P	(mg kg <sup>-1</sup> )	61,27 <sup>a</sup>	20,32 <sup>b</sup>	68,21 <sup>a</sup>	23,70 <sup>b</sup>	88,19 <sup>a</sup>	23,83 <sup>b</sup>	62,11 <sup>a</sup>	14,77 <sup>b</sup>
K	(cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,019 <sup>a</sup>	0,010 <sup>b</sup>	0,020 <sup>ns</sup>	0,015 <sup>ns</sup>	0,020 <sup>ns</sup>	0,015 <sup>ns</sup>	0,022 <sup>a</sup>	0,013 <sup>b</sup>
Ca	(cmolc dm <sup>-3</sup> )	2,38 <sup>ns</sup>	2,97 <sup>ns</sup>	2,46 <sup>ns</sup>	2,60 <sup>ns</sup>	2,59 <sup>ns</sup>	3,14 <sup>ns</sup>	2,16 <sup>ns</sup>	2,74 <sup>ns</sup>
Mg	(cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,78 <sup>ns</sup>	1,62 <sup>ns</sup>	1,78 <sup>ns</sup>	1,90 <sup>ns</sup>	1,80 <sup>ns</sup>	1,60 <sup>ns</sup>	1,95 <sup>a</sup>	1,56 <sup>b</sup>
Na	(cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,017 <sup>a</sup>	0,006 <sup>b</sup>	0,018 <sup>a</sup>	0,008 <sup>b</sup>	0,018 <sup>a</sup>	0,010 <sup>b</sup>	0,018 <sup>a</sup>	0,007 <sup>b</sup>
CTC	(cmolc dm <sup>-3</sup> )	4,58 <sup>b</sup>	6,16 <sup>a</sup>	4,88 <sup>b</sup>	6,11 <sup>a</sup>	4,86 <sup>b</sup>	6,28 <sup>a</sup>	4,53 <sup>b</sup>	5,95 <sup>a</sup>
SB	(cmolc dm <sup>-3</sup> )	4,60 <sup>ns</sup>	4,28 <sup>ns</sup>	4,52 <sup>ns</sup>	4,43 <sup>ns</sup>	4,77 <sup>ns</sup>	4,14 <sup>ns</sup>	4,32 <sup>ns</sup>	4,32 <sup>ns</sup>

Nitrogênio total (N<sub>Total</sub>), fósforo disponível (P<sub>Disp</sub>), potássio trocável (K<sup>+</sup>), cálcio trocável (Ca<sup>2+</sup>), magnésio trocável (Mg<sup>2+</sup>), sódio trocável (Na<sup>+</sup>), pH em água, capacidade de trocaciônica (CTC), somatório de bases (SB) e carbono orgânico total (COT). ns – não diferem na dose de ARB (%) entre os períodos avaliados (I: inicial e F: final ou após), pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. a e b – diferem na dose de ARB (%) entre os períodos avaliados (I: inicial e F: final), pelo teste Tukey a 5% de probabilidade



**Tabela 5** – Teores médios dos atributos avaliados durante o período inicial e final, na profundidade de 0,20-0,40 m, submetidos a aplicação da ARB tratada pela UPT

Atributo	Tratamento								
	0%		100%		200%		300%		
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
pH	---	6,01 <sup>ns</sup>	5,98 <sup>ns</sup>	6,28 <sup>ns</sup>	6,29 <sup>ns</sup>	6,08 <sup>ns</sup>	6,22 <sup>ns</sup>	5,88 <sup>ns</sup>	5,95 <sup>ns</sup>
COT (g kg <sup>-1</sup> )		4,01 <sup>ns</sup>	3,79 <sup>ns</sup>	5,63 <sup>ns</sup>	5,32 <sup>ns</sup>	5,78 <sup>ns</sup>	5,46 <sup>ns</sup>	4,54 <sup>ns</sup>	4,29 <sup>ns</sup>
N <sub>total</sub> (g kg <sup>-1</sup> )		0,075 <sup>ns</sup>	0,057 <sup>ns</sup>	0,110 <sup>ns</sup>	0,127 <sup>ns</sup>	0,071 <sup>ns</sup>	0,078 <sup>ns</sup>	0,078 <sup>ns</sup>	0,075 <sup>ns</sup>
P (mg kg <sup>-1</sup> )		53,47 <sup>a</sup>	11,79 <sup>b</sup>	74,90 <sup>a</sup>	32,31 <sup>b</sup>	72,24 <sup>a</sup>	12,01 <sup>b</sup>	57,98 <sup>a</sup>	10,05 <sup>b</sup>
K (cmolc dm <sup>-3</sup> )		0,021 <sup>a</sup>	0,011 <sup>b</sup>	0,022 <sup>a</sup>	0,011 <sup>b</sup>	0,022 <sup>a</sup>	0,010 <sup>b</sup>	0,021 <sup>a</sup>	0,011 <sup>b</sup>
Ca (cmolc dm <sup>-3</sup> )		1,63 <sup>b</sup>	2,34 <sup>a</sup>	1,76 <sup>ns</sup>	1,94 <sup>ns</sup>	1,75 <sup>b</sup>	2,33 <sup>a</sup>	1,25 <sup>b</sup>	2,11 <sup>a</sup>
Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )		1,51 <sup>a</sup>	1,38 <sup>b</sup>	1,59 <sup>a</sup>	1,35 <sup>b</sup>	1,64 <sup>a</sup>	1,27 <sup>b</sup>	1,78 <sup>a</sup>	1,25 <sup>b</sup>
Na (cmolc dm <sup>-3</sup> )		0,017 <sup>a</sup>	0,005 <sup>b</sup>	0,018 <sup>a</sup>	0,006 <sup>b</sup>	0,017 <sup>a</sup>	0,007 <sup>b</sup>	0,017 <sup>a</sup>	0,007 <sup>b</sup>
CTC (cmolc dm <sup>-3</sup> )		3,48 <sup>b</sup>	5,29 <sup>a</sup>	3,89 <sup>ns</sup>	4,57 <sup>ns</sup>	3,73 <sup>b</sup>	5,00 <sup>a</sup>	3,68 <sup>b</sup>	5,26 <sup>a</sup>
SB (cmolc dm <sup>-3</sup> )		3,17 <sup>b</sup>	3,74 <sup>a</sup>	3,38 <sup>ns</sup>	3,31 <sup>ns</sup>	3,43 <sup>ns</sup>	3,61 <sup>ns</sup>	3,06 <sup>ns</sup>	3,37 <sup>ns</sup>

Nitrogênio total (N<sub>Total</sub>), fósforo disponível (P<sub>Disp</sub>), potássio trocável (K<sup>+</sup>), cálcio trocável (Ca<sup>2+</sup>), magnésio trocável (Mg<sup>2+</sup>), sódio trocável (Na<sup>+</sup>), pH em água, capacidade de troca iônica (CTC), somatório de bases (SB) e carbono orgânico total (COT). ns – não diferem na dose de ARB (%) entre os períodos avaliados (I: inicial e F: final), pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. a e b – diferem na dose de ARB (%) entre os períodos avaliados (I: inicial e F: final), pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com os dados obtidos, é possível observar que nas duas camadas de solo avaliadas, em todos os tratamentos testados, o pH médio não apresentou diferença significativa. O que corrobora com os resultados obtidos por Schlegel et al. (2017), ao avaliarem os efeitos no solo durante o período de dez anos sob a aplicação de diferentes doses de ARB, os autores também constataram que não houve diferença estatística nas faixas de pH.

Para o cultivo da cenoura é indicado um pH do solo entre a faixa entre 5,7 e 7,0 e neste trabalho, o pH avaliado nas camadas, se observou que o menor valor foi o inicial, de 5,71 na camada de 0-0,20 m para o tratamento de 0% de ARB aplicada, e o valor máximo observado foi de 6,29 na camada de 0,20-0,40 m referente ao final do ciclo sob aplicação de 100% de ARB. Destaca-se ainda que todos os valores obtidos (em ambas alturas) se encontram, de acordo com Freire et al. (2013) dentro da faixa de moderadamente ácido (5,4 – 6,5), que ocorrerá maior disponibilidade de nutrientes em solução para absorção pelas culturas, ao mesmo tempo que os efeitos causados por

toxidez pelo alumínio deverão ser reduzidos. Os valores encontrados no presente trabalho estão próximos aos observados por Hamacher et al. (2021) que estudou a efeito da aplicação de ARB no cultivo de citronela.

A elevação do pH do solo sob aplicação de águas residuárias está associado a adição de íons provenientes do resíduo, bem como pelo fornecimento da matéria orgânica, que no processo de decomposição irá sofrer descarboxilação e desaminação, cuja consequência será a liberação de OH<sup>-</sup> (ABD-ELWAHED, 2019).

Os teores de carbono orgânico total (COT) apresentaram comportamento análogo ao do pH, não apresentando diferença significativa para nenhuma das alturas analisadas o que pode ser reflexo do consumo do cultivo ao longo do ciclo. Nota-se ainda, que a variação média (I-F) nos tratamentos, esteve entre (5,41 e 5,56%) na camada de 0-0,20 m e entre (5,49 e 5,54%) na camada de 0,20-0,40 m. De acordo com o exposto no Manual de Adubação e Calagem Estado do Rio de Janeiro (FREIRE et al., 2013), teores de COT abaixo de 10 g.kg<sup>-1</sup>, são considerados baixos.

A matéria orgânica pode apresentar redução nos teores encontrados no solo, pois a aplicação de biofertilizantes promove a decomposição extra da mesma, por meio da rápida mineralização, influenciada pelo incremento da atividade microbiana. Tal efeito denomina-se “*priming*” (MACIEL et al., 2019)

Espera-se que com o aumento da profundidade, ainda ocorra redução dos níveis de COT, ao passo que em áreas submetidas a aplicação de águas residuárias, o aumento das lâminas proporcione acúmulo na superfície (CAOVILLA et al., 2010). No entanto, em função da condição da MO na ARB apresentar-se predominantemente dissolvida, a mesma deve apresentar facilidade em se deslocar pelo espaço poroso do solo, principalmente em solos arenosos, sem que ocorra o seu acúmulo na superfície dos canteiros.

Quanto aos teores de N<sub>Total</sub> é possível notar que nas duas camadas investigadas, com relação ao efeito proporcionado pelas lâminas de ARB aplicadas, o comportamento do nitrogênio no solo foi semelhante, de maneira que para os tratamentos de 0 e 300% da ARB aplicada, a concentração deste nutriente no solo diminuiu, enquanto para as doses de 100 e 200% de ARB ocorreu um acúmulo do mesmo.

De modo semelhante, Schlegel et al. (2017) não observaram diferença significativa nos teores de N<sub>Total</sub> no solo avaliado, sob diferentes doses de ARB. Observa-se ainda, que a redução proveniente do tratamento com 0% de ARB se deve pela

exportação realizada pelo cultivo. De modo semelhante, para o tratamento com maior aporte de  $N_{Total}$ , o de 300 %, também se constatou redução dos valores do nutriente. Tal fato pode ser explicado pela alta mobilidade do nutriente, propiciando que o excedente tenha sido perdido pelo movimento vertical da água (MENDES et al., 2015). De acordo com Silva (2017), a redução do teor de  $N_{Total}$  no solo irá ocorrer por absorção pelas culturas ou por lixiviação, principalmente na forma de nitrato.

Outra importante fonte de perdas de N que deve ser considerada na prática de reuso de dejetos líquidos em áreas agrícolas é relativa a volatilização da amônia, em que no entanto os autores confirmam que a partir da incorporação dos dejetos essa volatilização é significativamente reduzida, segundo Pinaffi e Santos (2019); neste sentido, no presente estudo, avaliou-se as perdas de volatilização por meio do coletor de amônia SALE desenvolvido por Araújo et al. (2009), desta maneira confirmou-se que do N aplicado as perdas em todas as parcelas foram insignificantes, em que estas não superaram 0,1%, devido a forma de aplicação da ARB na qual proporcionava a incorporação imediata do efluente ao solo do canteiro.

A partir dos resultados obtidos para os teores de fósforo disponíveis no solo, avaliados nas camadas de 0-0,20 (tabela 4) e 0,20-0,40 m (Tabela 5) é possível notar que nas duas profundidades ocorreu uma redução acentuada entre o início e final do ciclo de cultivo. Por meio da análise estatística dos dados, as diferenciações (I-F) foram significativas ao nível de 5%, e demonstrou que os valores iniciais diferiram ( $p < 0,05$ ) dos resultados finais, sendo que a máxima redução observada foi de 83,37% para o tratamento com 200% (I=88,19; F=23,83  $mg\ kg^{-1}$ ) da dose de ARB aplicada na camada de 0-0,20 m, e a menor variação foi de 56,86% referente ao tratamento com a dose de 100% (I=74,90; F=32,31  $mg.kg^{-1}$ ) da ARB também na camada de 0,20-0,40m No entanto, não foi ajustado modelo resposta da dose de ARB aplicada na concentração final de  $P_{Disp}$  ( $mg\ kg^{-1}$ ) no solo, nas duas camadas.

De maneira análoga a discussão acerca da variação dos teores de N no solo, pode-se considerar que redução nos teores de  $P_{Disp}$  tenha sido influenciada pela exportação pelo cultivo, tendo em vista que o mesmo é bastante exigente em fósforo (FREIRE et al., 2013). Neste sentido, a partir dos totais de fósforo extraído pelo cultivo da cenoura, onde apenas para dose de 0% de ARB em que foi extraído 51,74  $kg\ ha^{-1}$  de P, este foi superior ao fornecido, e portanto, tem coerência a redução dos teores no solo, enquanto que para as doses de 100, 200 e 300 % de N foram extraídos respectivamente 70,77; 69,74; e 71,86

(kg ha<sup>-1</sup> de P), enquanto as mesmas doses forneceram 104,56; 209,12; e 313,75 kg ha<sup>-1</sup> de P, seria esperado um acréscimo nos teores disponíveis no solo, e visto que em todas as parcelas ocorreu diminuição, sugere-se que tenha sido influenciado pela lixiviação. No entanto, para Maciel et al. (2019), a variação da concentração de fósforo no solo, pode ser correlacionada com o aporte proporcionado pela aplicação de águas residuárias, com tendência de acúmulo em superfície devido à baixa mobilidade deste. De acordo com Carneiro et al. (2019) solos com textura mais arenosa possuem baixos teores de oxihidróxido de Fe e de Al, sendo esses elementos capazes de interagir fortemente com o fósforo e torná-lo menos móvel. Somado a isso, a textura arenosa possui maior quantidade de macroporos, o que favorece a percolação de água.

No que tange aos teores de potássio, o mesmo apresentou comportamento semelhante ao de P<sub>Disp</sub> no solo, (apresentando diferença significativa a 5%) a concentração de K trocável reduziram do início para o final do ciclo de cultivo da cenoura. Assim como o fósforo, o cultivo da cenoura é exigente em potássio, o que pode estar relacionado à redução do nutriente após o período analisado (FREIRE et al., 2013). Na camada de 0–0,20 m, a menor redução observada, foi de 25% do teor inicial de K<sup>+</sup> nos tratamentos referentes a 100 e 200% da dose de N aplicada e a máxima redução foi de 47,37% para as parcelas sem aplicação de ARB (dose de 0% N). Já para a camada de 0,20–0,40 m, a máxima redução na concentração de K<sup>+</sup> no solo ocorreu para a dose de 200%, em que esta foi de 54,55%, seguida por 50% de redução na dose de 100%, e para as doses de 0 e 300% a redução na concentração deste nutriente no solo foi igual a 47,62%.

Analisando-se os dados apresentados na Tabela 4 e 5, observa-se que diferentemente dos elementos anteriormente discutidos, o Ca<sup>2+</sup> não foi observada diferença estatística a nível de 5% para a primeira profundidade, no entanto, o nutriente apresentou acúmulo na profundidade de 0,20–0,40 m, diferindo estatisticamente entre os períodos analisados, o que pode ser resultado da não exploração pelas raízes da cenoura desta camada.

Por outro lado, Bedbabis et al. (2014) ao avaliarem os teores de nutrientes no solo cultivado com oliveiras, após quatro anos de fertirrigação com água residuária, os autores constataram acúmulo nos teores de cálcio, que provavelmente ocorreu pela menor absorção do nutriente pelas raízes das plantas. O que corrobora com resultados obtidos

por Sandri e Rosa (2017), os quais relacionaram o acúmulo nos teores de Ca com a maior demanda ofertada pelo efluente tratado com a menor absorção pelas raízes das plantas.

Os teores de magnésio apresentaram diferença significativa na profundidade de 0–20 m apenas para o tratamento com 300% de N. Na camada de 0,20–0,40 m, todos os tratamentos apresentaram diferença significativa, com resposta linear crescente a aplicação de ARB, e redução dos teores na fase final do experimento. Resultados semelhantes foram observados por Lima et al. (2019). Da Ros et al. (2017) atribuiu o acúmulo de Mg em profundidade, devido à menor energia de ligação aos colóides do solo.

Para os teores de sódio, foi observado diferença significativa entre o período inicial e final, para todos os tratamentos e para ambas as profundidades analisadas. No entanto, observa-se que os teores do nutriente não apresentaram resposta às doses de ARB. Neste sentido, observa-se que nas parcelas referentes a 0% de ARB aplicadas, reduziram, respectivamente as camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, 64,71 e 70,59%; nas parcelas referentes a 100% de ARB aplicada essas reduções foram de 55,56 e 66,67%; por efeito dos tratamentos com 200% de ARB aplicada foram reduzidas em 44,44 e 58,82%; e nas parcelas com aplicação de 300% de ARB reduziram em 61,11 e 58,82%.

Foi observado acúmulo da capacidade de troca catiônica após o período do cultivo de cenoura, com diferença significativa, exceto para o tratamento de 100% na profundidade de 0–0,20 m. Tais resultados podem ser explicados pelo incremento de matéria orgânica, proveniente da ARB. Resultados semelhantes foram encontrados por Lima et al. (2019) e Filho et al. (2018).

No que tange ao somatório de bases (SB), não foi verificada diferença significativa entre ambas as profundidades. Condé et al. (2013) também não observaram diferença estatística significativa nos valores de SB após a aplicação de água residuária de suinocultura. No entanto, Lima et al. (2019) ao avaliarem o efeito de água residuária de suinocultura no solo, em cultivo de milho, encontraram aumento linear da SB.

## CONCLUSÕES

A aplicação de ARB quando tratada não prejudica a fertilidade do solo e ainda contribui na melhora de algumas propriedades químicas do solo.

Não houve influência da dose aplicada nos níveis de pH, COT e  $N_{\text{Total}}$ , em ambas as camadas de solo avaliadas, como também entre as fases estudadas inicial e final.

Ocorreu o aumento da CTC do solo, na camada de 0-0,20 m entre todas as doses aplicadas;

Houve redução dos teores de P disponível e K trocável entre das fases inicial e final em ambas as camadas de solo avaliadas, já Ca e Mg trocáveis aumentaram a disponibilidade na camada de 0,20-0,40 m do solo;

A dose de ARB equivalente a 100% de N pode ser recomendado para fertirrigação da cenoura em um planossolo, ao passo que, fornecer dose de N mais elevada não está atrelado ao aumento da fertilidade do solo, porém pode resultar no desbalanço dos demais elementos e na capacidade de troca catiônica.

## REFERÊNCIAS

BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; RICE, E. W. **Standart methods for the examination of water and wastewater**. 23<sup>a</sup>. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2017.

ABD-ELWAHED, M. S. Effect of long-term wastewater irrigation on the quality of alluvial soil for agricultural sustainability. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 64, p. 151-160, 2019.

ARAÚJO, E.S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L.H.B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 7, p. 769-776, 2009.

BEDBABIS, S.; BEN ROUINA, B.; BOUKHRIS, M.; FERRARA, G. Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. **Journal of Environmental Management**, v. 133, p. 45–50, 2014.

CAOVILLA, F.A.; SAMPAIO, S.C.; SMANHOTTO, A.; NÓBREGA, L.H. P.; DE QUEIROZ, M.M.F.; GOMES, B.M. Chemical characteristics of the soil cultivated with soybean and irrigated with swine wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 692–697, 2010.

CARNEIRO, K.A.A.; AZEVEDO, M.C. DE; FRAGA, V.S.; DIAS, B.O.; SOUZA, T.A.F. DE; CORRÊA, M.M.; ANTONINO, A.C.D.; SALCEDO, I.H. Perdas de fósforo por lixiviação em neossolo regolítico adubado com esterco bovino curtido em condições semiáridas. **Revista EDUCamazônia**, v.23, n.2, p.261- 285, 2019.

CONDÉ, M.S.; NETO, O.B.A.; HOMEM, B.G.C.; FERREIRA, I.M.; SILVA, M.D. Impacto da fertirrigação com água residuária da suinocultura em um latossolo vermelho-amarelo. **Vértices**, v.15, n. 2, p. 161-178, 2013.

DA ROS, C.O.; DA SILVA, V.R.; SILVESTRIN, T.B.; DA SILVA, R.F.; PESSOTTO, P.P. Disponibilidade de nutrientes e acidez do solo após aplicações sucessivas de água

residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, v.1, n.1, p.35-44. 2017.

MARTINS, P. C.; et al. **Anuário leite 2018**. 1ª ed. Pinheiros: Embrapa Gado de Leite, 2018.

FILHO, C.V.; CAVAZZANA, J. F.; HEINRICHS, R.; VENDRAMINI, J.M.B.; LIMA, G.C.; MOREIRA, A. The impact of organic biofertilizer application in dairy cattle manure on the chemical properties of the soil and the growth and nutritional status of Urochroa Grass. **Communications in soil science and plant analysis**, v.49, n.3, p. 358-370, 2018.

FREIRE, L.R.; BALEIRO, F.C.; ZONTA, E.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.; LIMA, E.; GUERRA, J.G.M.; FERREIRA, M.B.C.; LEAL, M.A.A.; CAMPOS, D.V.B.; POLIDORO, J.C. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. 1ª ed. Seropédica: Editora Universidade Rural, 2013.

HAMACHER, L.S.; HÜTHER, C.M.; SILVA, L.D.B.; CECCHIN, D.; CARMO, D.F.; OLIVEIRA, E.; SANTOS, C.M.P.P.; MACHADO, T.B.; PEREIRA, C.R.; SILVA, F.C. Soil fertility and essential oil production in citronella cultivation irrigated with dairy cattle wastewater (DCW). **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v.24, p.1-11. 2021.

JORGE, M.F.; PINHO, C.F.; NASCENTES, A.L.; ALVES, D.G.; ALMEIDA, G.V.; SILVA, J.B.; SILVA, L.D. Tomato fertigation with dairy cattle wastewater. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 230–234, 2017.

LIMA, C.J.G.D.S.; PEREIRA, L.D.S.; SANTOS, T.O.D.S.; PINTO, S.N.; RODRIGUES, A.C.; NUNES, L.A.P.L. Soil changes and yield of maize fertilized with swine wastewater. **Revista Caatinga**, v.32, n.1, 167-178, 2019.

MACIEL, A. M.; SILVA, J. B. G.; NASCIMENTO, A. M.; DE PAULA, V. R.; OTENIO, M. H. Aplicação de biofertilizante de bovinocultura leiteira em um planossolo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 151-171, 2019.

MATOS, A. T.; MATOS, M. P. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. 1ª ed. Editora UFV, 2017.

MENDES, W.D.C.; ALVES JUNIOR, J.; DA CUNHA, P.C.R.; DA SILVA, A.R.; EVANGELISTA, A.W.P.; CASAROLI, D. Lixiviação de nitrato em função de lâminas de irrigação em solos argiloso e arenoso. **Irriga**, v. 1, n. 2, p. 47–56, 2015.

OTENIO, M.H.; PAULA, V.R.; COSTA, L.R.; MAGALHAES, V.M.A. Reaproveitamento de água residuária em sistemas de produção de leite em confinamento: conteúdos elaborados conforme a metodologia e-Rural. **Embrapa Gado de Leite**, v.78, p. 1-5, 2017.

PINAFFI, C. D.; SANTOS, C. H. Volatilização de amônia em sistemas de tratamento de dejetos de suínos com macrófitas aquáticas. **Brazilian Journal of Biology**, v.79, n.3, p.423-431. 2019.



ROCHA, A.A.; ARAÚJO, E.D.S.; SANTOS, S.D.S.; GOULART, J.M.; ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ROUWS, J.R.C. Ammonia Volatilization from Soil-Applied Organic Fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, e0180151, 2019.

SANDRI, D.; ROSA, R. D. R. B. Atributos químicos do solo irrigado com efluente de esgoto tratado, fertirrigação convencional e água de poço. **Irriga**, v. 22, n. 1, p. 18–33, 2017.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA TJF. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018.

SCHLEGEL, A.J.; ASSEFA, Y.; BOND, H.D.; HAAG, L.A.; STONE, L.R. Changes in soil nutrients after 10 years of cattle manure and swine effluent application. **Soil and Tillage Research**, v. 172, p. 48–58, 2017.

SILVA, J.B.G.; MARTINEZ, M.A.; MATOS, A.T. DE; PIRES, C.S.; TERRAÇÃO, G. Mobilidade dos íons nitrato e amônio em área agrícola sob adubação com água residuária de bovinocultura de leite e torta de mamona. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 25, n. 3, p. 200–211, 2017.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Org.). **Manual de métodos de análise do solo**. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 264p.

*Recebido em: 05/09/2022*

*Aprovado em: 10/10/2022*

*Publicado em: 20/10/2022*