

## COMPORTAMENTO DE CÁTIONS EM SOLO CULTIVADO COM MILHO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA

Lusiani Zanuzo<sup>1</sup>; Silvio César Sampaio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Engenharia Agrícola pela UNIOESTE/CASCAVEL, Cascavel – PR, lusianizanuzo@yahoo.com.br.

<sup>2</sup>Pesquisador em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

UNIOESTE/CASCAVEL/CCET/PGEAGRI/RHESA, Cascavel – PR.

### 1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os cátions lixiviados em lisímetros de drenagem preenchidos com solo tipo Latossolo vermelho distroférico típico, cultivados com milho irrigado com água residuária de suinocultura (ARS). Os fatores estudados foram a adubação química em dois níveis (50% e 75% do N recomendado para a cultura do milho na semeadura) e ARS em quatro níveis (112,5, 225,0, 337,5 e 450 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) aplicados ao longo da cultura. A irrigação foi realizada intercalando água e ARS a cada 15 dias. Os cátions avaliados no solo e no percolado foram K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>. O delineamento experimental foi em esquema fatorial 4x2, com três repetições por tratamento e avaliações em quatro períodos do desenvolvimento da planta. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Os resultados apontam que as concentrações médias dos lixiviados foram maiores para os elementos químicos estudados na seguinte ordem: Na<sup>+</sup> > K<sup>+</sup> > Ca<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup>. As taxas da água residuária de suinocultura produziram, proporcionalmente, maiores concentrações médias nos lixiviados para Na<sup>+</sup>, apenas no último período avaliado. A adubação química influenciou nas maiores concentrações do K<sup>+</sup> lixiviado. De modo geral, ao longo do experimento, foram observadas maiores concentrações de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> no solo e de Na<sup>+</sup> no lixiviado.

**Palavras-chave:** efluente, reuso de água, lisímetro.

### ZANUZO, L.; SAMPAIO, S. C. CATIONS LEACHING IN CORN CULTIVATED SOIL IRRIGATED WITH SWINE WASTEWATER

### 2 ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the cation's leaching in drainage lysimeters filled with Red distroférico Latossolo cultivated with corn irrigated with swine wastewater. The factors and levels of treatments were: four levels of swine wastewater (112.5, 225.0, 337.5 and 450.0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), two levels of chemical fertilization (50% and 75% of N recommended) and three repetitions. The irrigation was made by applying alternating, water and swine wastewater, every 15 days. The evaluated cations in the soil and in percolated were K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>. The experimental design was made in a 4x2 factorial scheme with three repetitions per treatment and four periods of evaluation during the plant's growth season. The mean evaluation was compared by Tukey test at 5% significance. The leaching's concentrations were larger for the chemical elements in the following order: Na<sup>+</sup> > K<sup>+</sup> > Ca<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup>.

Mg<sup>2+</sup>. In general, swine wastewater levels produced proportional larger concentrations in the leaching of Na<sup>+</sup>, only on the last evaluated period. The chemical fertilization influenced the largest concentrations of the K<sup>+</sup> leaching. The largest concentrations of Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> occurred in the soil while Na<sup>+</sup> occurred in leaching.

**Keywords:** effluent, water reuse, lysimeter

### 3 INTRODUÇÃO

agricultura moderna fundamenta-se no uso de diversos tipos de insumos, como: inseticidas, herbicidas, fungicidas, fertilizantes e irrigação. Entretanto, para sua sustentabilidade, é essencial que a utilização desses insumos não comprometa a qualidade do meio ambiente (Matos et al., 2003).

A água residuária de suinocultura tem sido usada em áreas de culturas e pastagens como fonte de nutrientes, sendo importante na reciclagem dos mesmos dentro das próprias unidades de produção. O N e o P são dois importantes constituintes do dejetos sob o ponto de vista nutricional de plantas, mas assim como os adubos químicos, causam preocupação com relação ao risco de contaminação das águas e solos. Também cátions, presentes neste tipo de água, como K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, são fundamentais para o desenvolvimento de plantas, em menor escala.

Segundo Brega Filho & Mancuso (2002), a prática de reuso de água no meio agrícola, além de garantir a recarga do lençol freático, serve para fertirrigação de diversas culturas, bem como para fins de dessedentação de animais. A utilização de água proveniente de reuso é diferenciado para irrigação de plantas não comestíveis (silvicultura, pastagens, fibras e sementes) e comestíveis (nas formas cruas e cozidas), necessitando essas de um nível maior de qualidade, sendo livre da contaminação por agentes patogênicos e metais pesados. Porém, conforme Beekman (1996), grandes volumes de águas servidas podem ser utilizadas em categorias de reuso, como agricultura irrigada e recarga de aquíferos, devendo-se atentar para suas limitações sanitárias e ambientais de aplicação.

Nesse sentido, ao suprir as necessidades nutricionais de determinada cultura com a aplicação de fertirrigação usando água residuária como fonte de nutrientes, há a preocupação com a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas pela movimentação dos íons, tendo-se em conta que um fator maior de retardamento significa menor mobilidade do íon no solo e, conseqüentemente, menor probabilidade de contaminação de águas freáticas (Melo et al., 2006).

Segundo Van Raij (1981), quanto maior a valência do íon, maior sua predisposição em se fixar no solo, seguindo a seguinte ordem: Al<sup>+3</sup> > Ca<sup>+2</sup> > Mg<sup>2+</sup> > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> > K<sup>+</sup> > H<sup>+</sup> > Na<sup>+</sup>.

Melo et al. (2006) verificou que os íons avançam mais nas colunas de solos de textura arenosa em relação aos de textura média e argilosa cujos fatores de retardamento são, em geral, maiores. Esses aspectos alertam para os perigos de contaminação de lençol freático ao se aplicar água residuária em solos de baixa capacidade de adsorção, ou seja, baixo fator de retardamento, como é o caso do solo arenoso.

Uma das principais implicações dos aumentos nos teores K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Na<sup>+</sup> é a possibilidade da ocorrência de salinização do solo. Melo et al. (1997) explicaram que a aplicação, ao solo, de composto rico em Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> pode promover o aumento dos teores destes elementos na solução do solo, seguindo-se com o aumento da condutividade elétrica, o deslocamento de Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> adsorvidos no complexo de troca e a dispersão dos colóides.

Devido a dificuldade em encontrar uma aplicação adequada para a água residuária da suinocultura gerada nas propriedades, os agricultores aplicam os dejetos sem uma avaliação prévia dos possíveis impactos que poderão ser gerados, sendo este um dos problemas encontrados na Região Oeste do Paraná, onde se acaba contaminando os cursos d'água, devido a não existência de um destino adequado a esse resíduo. Dessa forma, com este estudo pode-se avaliar a possível poluição que o mesmo trará para o solo, lençol freático e também para o desenvolvimento da cultura, quando aplicado em quantidades acima do recomendado para a cultura. Tendo como objetivo avaliar o comportamento dos cátions ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) percolados, provenientes de lisímetros cultivados com milho irrigado com águas residuárias da suinocultura.

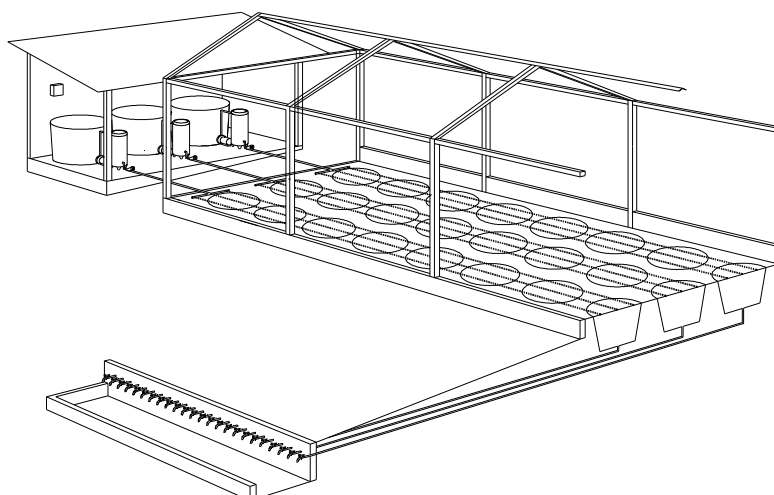
#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola – NEEA, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel - PR, situado no km 16 da BR 467, sentido Cascavel-Toledo, nas coordenadas 24°48' de latitude Sul e 53°26' de longitude Oeste, com altitude de 760 metros.

Na área escolhida para a realização do experimento, construiu-se uma estufa com dimensões de 16 x 6 m. Anexou-se a estufa um cabeçal de controle, contendo três sistemas independentes para promover a irrigação. Cada sistema foi constituído por um quadro de controle (automático), reservatório de 1m<sup>3</sup>, bomba centrífuga com potência de 1 CV, filtro de areia, filtro de tela, registros e manômetro. O método de irrigação utilizado foi o de gotejamento, por permitir maior controle da lâmina aplicada. As fitas gotejadoras foram dispostas ao longo das linhas da cultura implantada.

No interior da estufa construiu-se 24 lisímetros de drenagem. Utilizou-se caixas de fibra de vidro e capacidade de 1m<sup>3</sup>, diâmetro de 1,6 m e m 1,2 m de profundidade, espaçados de 0,4 na largura e 0,5 m no comprimento. Na parte inferior de cada lisímetro, um sistema de drenagem foi confeccionado com uma camada de 10 cm de brita e uma manta de Bidin. O percolado então drenado era conduzido até o local de coleta localizado na lateral da estufa. O solo foi colocado na mesma seqüência da retirada no momento da perfuração da área para a colocação dos lisímetros, para que as características permanecessem mais próximas às iniciais. Na Figura 1 é possível visualizar o a área experimental.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico, composto de 68% de argila, 13% de silte e 19% de areia, caracterizado como textura muito argilosa (EMBRAPA, 2006). Amostras para a caracterização química do solo foram coletadas nas camadas de 0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60m de profundidade, antes da instalação do experimento. Verificou-se, por meio da análise química, a não homogeneidade do solo na área do experimento, gerando a necessidade de um controle local, optou-se então, pela divisão da área em três blocos.



**Figura 1.** Esquema da área experimental. (1) Casa de máquinas (cabeçal de controle, reservatório, bomba centrífuga; filtro de areia, filtro de tela, registro de gaveta, manômetro); 2 - Fita gotejadora; 3 - Lisímetro e sistema de drenagem; 4 - Local de coleta de percolado; 5 Estufa revestida com polietileno com espessura de 100 micras.

Em função da não homogeneidade química do solo, foram usadas dosagens de 750 g nos lisímetros do bloco 1 e 1125 g nos lisímetros dos blocos 2 e 3, de adubação química da fórmula comercial 5-20-20, o que resultou em 4687,5 kg ha<sup>-1</sup> no bloco 1 e 7037,5 kg ha<sup>-1</sup> nos blocos 2 e 3. Seguindo recomendação de Fancelli & Dourado Neto (2000).

Também foi observado que a saturação de bases (V%) apresentava valores abaixo do recomendado, sendo, portanto necessário realizar calagem. De acordo com a metodologia de Gianello (1995), definiram-se as seguintes doses de calcário: 900 g por lisímetro (0,534 t ha<sup>-1</sup>) no bloco 1 e 5500 g por lisímetro (3,345 t ha<sup>-1</sup>) nos blocos 2 e 3.

O milho usado foi o híbrido OC 705 proveniente da COODETEC – Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola, sendo o mais recomendado para a região Oeste do Paraná, semeado em uma densidade de 45.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

A semeadura foi realizada manualmente em 19 de março de 2006, com duas sementes por cova e desbaste realizado cinco dias após a semeadura, deixando-se apenas uma planta por cova.

O tratamento químico aplicado foi de acordo com a necessidade de nitrogênio da cultura do milho (80 kg ha<sup>-1</sup>), sendo aplicados 30 kg N ha<sup>-1</sup> na semeadura. As doses de adubação química (AD) seguiram proporções de 50 e 75% da dose recomendada na semeadura, sendo AD1 - 15 N kg ha<sup>-1</sup> e AD2 - 22,5 N kg ha<sup>-1</sup>.

Outro fator estudado além das duas doses de adubação nitrogenada (AD1 e AD2) foi a aplicação de água residuária de suinocultura (ARS). Quatro taxas foram aplicadas (ARS1 - 112,5; ARS2 - 225,0; ARS3 - 337,5 e ARS4 - 450,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). As doses de ARS adotadas foram em função do teor de N de sua composição para fornecer 100, 200, 300 e 400 kg N ha<sup>-1</sup>. Na Tabela 1 apresentam-se os tratamentos (fatores e respectivos níveis) e cronograma das irrigações realizadas em todos os tratamentos.

A ARS foi coletada em propriedade rural, na localidade de Alto Bom Retiro - Cascavel, oriundos de uma granja de produção de suínos em terminação, os quais já se encontravam em lagoa de descarga por um período de 40 dias.

O início da aplicação da ARS foi aos 30 dias após a semeadura (DAS), entre o ciclo vegetativo e reprodutivo da cultura. A ARS foi aplicada manualmente com o auxílio de um regador, tomando-se cuidado com a uniformidade de aplicação.

**Tabela 1.** Cronograma das aplicações das lâminas d'água e de água residuária de suinocultura aplicadas aos tratamentos

ARS*					
Tratamentos	L lisímetros <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Tratamentos	L lisímetros <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
T1	3	112,5	T5	9	337,5
T2	3	112,5	T6	9	337,5
T3	6	225,0	T7	12	450,0
T4	6	225,0	T8	12	450,0

Irrigação			
Data	Lâmina (mm)	Data	Lâmina (mm)
30-04-06	66	25-06-06	64
14-05-06	93	09-07-06	65
28-05-06	95	23-07-06	65
11-06-06	100	-	-

\*Dias de aplicação de ARS: 23/04/06; 07 e 21/05/06; 04 e 18/06/06; 02 e 16/07/06.

As aplicações de ARS foram realizadas em intervalos de 15 dias, sendo intercaladas com a irrigação, ou seja, numa semana era aplicado ARS e na semana seguinte a irrigação com água, sendo depois da irrigação com água coletado o lixiviado para as análises.

A lâmina d'água aplicada na irrigação era equivalente com a média das precipitações ocorridas no período, seguindo trabalho de LONGO et al. (2001) realizado para o município de Cascavel.

Antes da primeira aplicação de ARS as características físico-químicas foram determinadas (Tabela 2) segunda metodologia de APHA (1995).

Para a análise do lixiviado, foram coletadas amostras do material percoladas dos lisímetros, nos dias em que foram realizadas as irrigações com água. Coletou-se todo o volume percolado que permitiu uma amostra composta para análise físico-química do lixiviado.

Depois de coletadas, as amostras foram acondicionadas em frascos plásticos, bem vedados, e levadas ao laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, para serem analisadas. As amostras para avaliação do Mg<sup>+2</sup> foram enviadas ao Laboratório de Análises (Solanalise), seguindo metodologia de Tedesco et al. (1995), sendo que após extração do elemento foi realizada a leitura em espectrofotômetro de absorção atômica. Na determinação dos elementos Ca<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>, foi utilizado um fotômetro de chama, marca Analyser, modelo 910. Após calibração do aparelho, seguindo orientações do fabricante, a partir da aspiração da solução aquosa pelo fotômetro de chama e a energia emitida por esses elementos, determinou-se as respectivas concentrações.

Durante o experimento foram realizados controles de plantas invasoras, de forma manual, e controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) com o inseticida Decis 25 CE (Deltametrin), na dosagem de 0,2 L ha<sup>-1</sup>, aos 30 dias após a semeadura. Para a aplicação foi utilizado um pulverizador costal manual.

O delineamento experimental utilizado em fatorial 4x2 em blocos casualizados, em, sendo água residuária de suinocultura em quatro níveis (ARS1- 112,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; ARS2- 225 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; ARS3- 337,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; ARS4- 450,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) e adubação química nitrogenada em dois

níveis (AD1- 15,0 kg N ha<sup>-1</sup>; AD2- 22,5 kg N ha<sup>-1</sup>), com três repetições por tratamento, totalizando oito tratamentos e 24 parcelas experimentais.

**Tabela 2.** Características físico-químicas da água residuária de suinocultura (ARS) usadas nos tratamentos aplicados. A metodologia de análise utilizada foi Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998).

Parâmetro	Concentrações ARS	Taxas de ARS e totais de químicos aplicados kg ha <sup>-1</sup>			
		ARS1	ARS2	ARS3	ARS4
Volume aplicado (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )		112.0	225.0	337.5	450.0
pH	7,70	-	-	-	-
NTK	1745 mg L <sup>-1</sup>	196,313	392,625	588,938	785,250
Amônia	1073 mg L <sup>-1</sup>	120,713	241,425	362,138	482,850
Nitrato	0,350 mg L <sup>-1</sup>	3,938	7,875	11,813	15,750
Nitrito	2,780 mg L <sup>-1</sup>	0,313	0,626	0,938	1,251
Fósforo total	171 mg L <sup>-1</sup>	19,238	38,475	57,713	76,950
Ca <sup>+2</sup>	34,50 mg L <sup>-1</sup>	3,881	7,763	11,644	15,525
K <sup>+</sup>	150 mg L <sup>-1</sup>	16,875	33,750	50,625	67,500
Mg <sup>+2</sup>	7,500 mg L <sup>-1</sup>	0,844	1,688	2,531	3,375
Na <sup>+</sup>	93 mg L <sup>-1</sup>	10,41	20,92	31,38	41,85
Cu	0,06 mg L <sup>-1</sup>	0,007	0,014	0,020	0,027
Zn	0,380 mg L <sup>-1</sup>	0,043	0,086	0,446	0,594
Condutividade	6770 uS cm <sup>-1</sup>	-	-	-	-
Totais de sais	-	487,440	974,880	1462,320	1949,760
DBO	2406 mg L <sup>-1</sup>	-	-	-	-
DQO	3048 mg L <sup>-1</sup>	-	-	-	-
Sólidos totais	5,950 mg L <sup>-1</sup>	-	-	-	-
Sólidos totais Fixos	3,100 mg L <sup>-1</sup>	-	-	-	-
Sólidos dissolvidos fixos	1,780 mg L <sup>-1</sup>	-	-	-	-
Sólidos dissolvidos voláteis	2,340 mg L <sup>-1</sup>	-	-	-	-
Turbidez	0,940 UT	-	-	-	-

As amostragens foram realizadas em quatro estádios vegetativos da cultura, correspondendo a P1 (84 DAS), P2 (98 DAS), P3 (112 DAS) e P4 (126 DAS), períodos distintos ao longo do ciclo até a maturação, para as concentrações de Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> lixiviados nos lisímetros.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios de concentração do Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> encontrados no solo antes e depois de todas as irrigações com água residuária da suinocultura (ARS).

Pode-se observar que o Ca<sup>+2</sup> do solo apresentou as maiores médias antes (1,9471 mg L<sup>-1</sup>) e depois (4,3896 mg L<sup>-1</sup>) da aplicação de ARS, sendo que a maior média foi

encontrada depois da última irrigação com ARS e, foi o parâmetro que apresentou maior média em relação aos demais parâmetros. O solo dos tratamentos 2, 3, 1 e 5 mostrou maior média de  $\text{Ca}^{2+}$  com relação aos outros elementos, já para depois da última irrigação com água residuária, os maiores valores do  $\text{Ca}^{2+}$  apresentaram maiores concentrações nos tratamentos 2, 8 e 1.

**Tabela 3.** Valores médios das concentrações de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no solo antes e após a fertirrigação com ARS

Tratamentos	SOLO							
	ANTES ( $\text{mg L}^{-1}$ )				DEPOIS ( $\text{mg L}^{-1}$ )			
	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
T1	0,0369	0,0405	2,3245	0,9721	0,0729	0,0755	5,3346	1,7447
T2	0,0549	0,0347	2,6947	1,0831	0,0895	0,0965	6,5106	2,8728
T3	0,0277	0,0466	2,6022	1,3076	0,0657	0,1018	3,9939	1,6404
T4	0,0403	0,0536	1,2497	0,5365	0,0813	0,0879	2,4603	1,1811
T5	0,0194	0,0369	2,1033	0,9132	0,0842	0,1522	4,5819	2,0450
T6	0,0314	0,0272	1,2137	0,6299	0,0774	0,1363	3,4011	1,5344
T7	0,0359	0,0308	1,9079	0,8863	0,0926	0,1168	3,1659	1,4873
T8	0,0302	0,0294	1,4811	0,6181	0,1022	0,1606	5,6685	2,0618
Média	0,0146	0,0374	1,9471	0,8683	0,0832	0,1611	4,3896	1,8209

A segunda maior média foi encontrada para o  $\text{Mg}^{2+}$ , sendo que a maior concentração na primeira aplicação, foi encontrada no tratamento 3 (T3) e a maior concentração foi no tratamento 2 (T2), após a última irrigação com água residuária. O  $\text{K}^+$  mostrou variação muito baixa antes e depois das irrigações. Já, o  $\text{Na}^+$  apresentou a menor concentração no solo, onde a maior foi encontrada no tratamento 8 (T8), depois da última aplicação de água residuária da suinocultura. As maiores concentrações foram determinadas na seguinte ordem  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$  antes e depois da última aplicação, devido às maiores valências do  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ .

Na Tabela 4, é apresentado o resumo das análises de variância com os valores de p-valor para o  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}$  lixiviado, em solo irrigado com água residuária de suinocultura, em oito tratamentos e três repetições. Observa-se, de modo geral, que o cálcio apresentou interação entre os fatores ARS e AD nos tempos 84, 98, 112, 126 DAS.

**Tabela 4.** Resumo das análises de variância para o  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+}$  e  $\text{K}^{+}$  lixiviado nos estádios 84, 98, 112, 126 DAS.

FV	GL	P1	P2	P3	P4
$\text{Ca}^{+2}$					
Bloco	2	0,5386	0,2743	0,1761	0,8100
ARS	3	0,0000*	0,0038*	0,0000*	0,0000*
AD	1	0,2580	0,2128	0,6260	0,0250
ARS*AD	3	0,0023*	0,0001*	0,0005*	0,0009*
resíduo	14	-	-	-	-
Total	23	-	-	-	-
CV (%)	-	9,59	13,23	12,56	10,98
$\text{Mg}^{+2}$					
Bloco	2	0,0255	0,0028	0,2484	0,1424
ARS	3	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
AD	1	0,0022*	0,0019*	0,0000*	0,7278
ARS*AD	3	0,0000*	0,0000*	0,0043*	0,0000*
Resíduo	14	-	-	-	-
Total	23	-	-	-	-
CV (%)	-	10,48	7,48	13,21	13,01
$\text{Na}^{+}$					
Bloco	2	0,2699	0,9035	0,5954	0,0513
ARS	3	0,1100	0,9529	0,6702	0,0000*
AD	1	0,1025	0,7015	0,7695	0,0079*
ARS*AD	3	0,4806	0,8936	0,4120	0,0045*
Resíduo	14	-	-	-	-
Total	23	-	-	-	-
CV (%)	-	25,49	32,02	38,13	13,04
$\text{K}^{+}$					
Bloco	2	0,0008	0,0072	0,0007	0,0095
ARS	3	0,6433	0,4693	0,6106	0,7196
AD	1	0,6567	0,4367	0,6221	0,2641
ARS*AD	3	0,6935	0,6939	0,6564	0,7794
Resíduo	14	-	-	-	-
Total	23	-	-	-	-
CV (%)	-	4,68	4,39	4,64	4,92

\* Significativo ao nível de 5% de significância.

Na Tabela 5, vê-se o resultado geral do teste de comparação de médias segundo o teste de Tukey para o  $\text{Ca}^{+2}$  lixiviado nos tempos 84, 98, 112, 126 DAS, no solo irrigado com quatro níveis de águas residuárias de suinocultura e dois níveis de adubação química 50% e 75%.



**Tabela 5.** Resultado geral do teste de comparação de médias segundo teste de Tukey para  $\text{Ca}^{+2}$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) lixiviado nos estádios 84, 98, 112, 126 DAS.

ARS ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ )	AD1 (50%)	AD2 (75%)
84 DAS		
100	1,46 aA	1,93 abB
200	2,06 bA	1,56 aB
300	2,63 cA	2,76 cA
400	2,70 cA	2,20 bB
98 DAS		
100	1,76 aA	2,16 abA
200	2,73 bA	1,76 aB
300	1,40 aA	2,73 bB
400	2,76 bA	2,63 bA
112 DAS		
100	2,23 abA	2,06 aA
200	2,73 bA	2,00 aB
300	1,56 aA	2,93 bB
400	3,76 cA	3,56 bA
126 DAS		
100	2,40 aA	1,43 aB
200	2,23 aA	1,96 aB
300	2,13 aA	2,80 bB
400	3,56 bA	3,03 bB

Para cada nível de ARS, letras maiúsculas iguais indicam que as médias dos níveis de AD não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para cada nível de AD, letras minúsculas iguais indicam que as médias do nível de ARS não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na Tabela 6, é apresentado o resultado geral do teste de comparação de médias segundo o teste de Tukey para o  $\text{Mg}^{+2}$  lixiviado no solo irrigado com águas residuárias de suinocultura e adubado com fertilizante químico nos estádios 84, 98, 112, 126 DAS.

**Tabela 6.** Resultado geral do teste de comparação de médias segundo teste de Tukey para  $Mg^{+2}$  ( $mg L^{-1}$ ) lixiviado nos estádios 84, 98, 112, 126 DAS.

ARS ( $m^3 ha^{-1}$ )	AD1 (50%)	AD2 (75%)
84 DAS		
100	0,66 aA	0,55 aA
200	1,15 bA	1,03 bA
300	2,39 cA	1,61 cB
400	0,68 aA	0,96 bB
98 DAS		
100	0,75 aA	0,58 aB
200	0,83 aA	0,96 bA
300	0,72 aA	1,46 cB
400	1,73 bA	1,53 cB
112 DAS		
100	1,59 aA	0,63 aB
200	2,41 bA	1,70 bB
300	1,66 aA	1,56 bA
400	0,82 cA	0,52 aA
126 DAS		
100	0,81 aA	0,55 aA
200	1,86 cA	1,21 bB
300	0,74 aA	1,86 bB
400	1,47 bA	1,36 cA

Para cada nível de ARS, letras maiúsculas iguais indicam que as médias dos níveis de AD não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para cada nível de AD, letras minúsculas iguais indicam que as médias do nível de ARS não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na Tabela 7, é mostrado o resultado geral do teste de comparação de médias segundo o teste de Tukey para o  $Na^+$  lixiviado no solo irrigado com águas residuárias de suinocultura e adubado com fertilizante químico nos estádios 84, 98, 112, 126 DAS.

**Tabela 7.** Resultado geral do teste de comparação de médias segundo teste de Tukey para Na<sup>+</sup> (mg L<sup>-1</sup>) lixiviado nos estádios 84, 98, 112, 126 DAS.

ARS (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	AD 1 (50%)	AD2 (75%)
84DAS		
100	25,33 aA	24,66 aA
200	26,00 aA	25,00 aA
300	36,33 aA	29,33 aA
400	40,33 aA	27,66 aA
98 DAS		
100	32,33 aA	32,66 aA
200	33,00 aA	26,66 aA
300	30,66 aA	32,66 aA
400	31,00 aA	28,66 aA
112 DAS		
100	28,00 aA	32,66 aA
200	41,66 aA	25,00 aA
300	35,00 aA	38,66 aA
400	27,33 aA	29,66 aA
126 DAS		
100	29,00 aA	25,66 aA
200	38,00 aA	34,66 aA
300	56,33 bA	53,00 bA
400	51,66 bA	35,00 aB

Para cada nível de ARS, letras maiúsculas iguais indicam que as médias dos níveis de AD não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para cada nível de AD, letras minúsculas iguais indicam que as médias do nível de ARS não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na Tabela 8, observa-se o resultado geral do teste de comparação de médias, segundo o teste de Tukey para o potássio lixiviado no solo irrigado com águas residuárias de suinocultura e adubado com fertilizante químico nos estádios 84, 98, 112, 126 DAS.

**Tabela 8.** Resultado geral do teste de comparação de médias segundo teste de Tukey para  $K^+$  ( $mg L^{-1}$ ) lixiviado nos estádios 84, 98, 112, 126 DAS.

ARS ( $m^3 ha^{-1}$ )	Médias	AD	Médias
84 DAS			
100	6,87 a	1 (50%)	6,84 a
200	6,69 a		
300	6,91 a	2 (75%)	6,78 a
400	6,77 a		
98 DAS			
100	6,88 a	1 (50%)	6,69 a
200	6,60 a		
300	6,77 a	2 (75%)	6,79 a
400	6,71 a		
112 DAS			
100	6,87 a	1 (50%)	6,84 a
200	6,68 a		
300	6,91 a	2 (75%)	6,78 a
400	6,77 a		
126 DAS			
100	6,63 a	1 (50%)	6,64 a
200	6,48 a		
300	6,64 a	2 (75%)	6,48 a
400	6,49 a		

Nota: Letras iguais correspondem a médias iguais ao nível de 5% de significância.

De modo geral, observando-se os valores absolutos apresentados nos resultados anteriores (Tabelas 5, 7, 9 e 11), nota-se que os valores de concentração dos cátions lixiviados obedeceram a seguinte ordem:  $Na^+ > K^+ > Ca^{+2} > Mg^{+2}$ , corroborando com a afirmação de Van Raij (1981) em que a valência dos íons é responsável pela respectiva fixação ao solo em virtude de sua carga negativa, dependendo do tipo de solo. Ferreira et al. (2006) apresentaram dados que confirmam esse fato, pois encontraram fatores de retardamento para latossolo vermelho amarelo na ordem  $K^+ > Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^+$ , justificando a maior lixiviação do  $Na^+$ .

A baixa mobilidade de  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$ , também se deve à pequena permanência de ânions na solução do solo, pois quase a totalidade de  $Ca^{+2}$  e do  $Mg^{+2}$  adicionada vai para as cargas negativas criadas pelo aumento do pH, e para as cargas anteriormente ocupadas pelo  $Al^{+3}$ , sendo que só uma pequena parte fica na solução do solo. Esses ânions na solução do solo, principalmente nitratos, cloretos e sulfatos, oriundos, principalmente, da mineralização da matéria orgânica, suas quantidades podem explicar, pelo menos em parte, a mobilidade do  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  em diferentes solos (Peason et al., 1962; Gonzalez-Erico et al., 1979). A afirmação dos autores supracitados justifica o observado no experimento, visto que houve uma aplicação de calcário para correção do solo antes da instalação do experimento. O valor de pH de 7,7 (Tabela 2) da água residuária também contribuiu para aumentar o pH do solo.

Já, ao observar os resultados para o  $Ca^{+2}$  lixiviado, percebe-se que respectivas concentrações foram proporcionais às taxas de ARS. Porém, a adubação química não influenciou tanto esses lixiviados, conforme se observa na Tabela 5 e na Figura 1. Resultados semelhantes foram obtidos por Freitas et al. (2004), em que os níveis de P,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ , Cu e Zn no solo aumentaram, proporcionalmente, com a adição de águas residuárias de

suinocultura, por se tratar de fonte rica nesses nutrientes, justificando a maior percolação no solo que recebeu maior quantidade de águas residuárias.

Também, é possível notar nos resultados, que o  $Mg^{+2}$  apresentou maior lixiviação em função da aplicação de água residuária, porém até a taxa de  $350\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ , diferente do  $Ca^{+2}$ . Observa-se que houve menores diferenças entre os tratamentos, devido à baixa concentração do mesmo na água residuária que foi aplicada no solo (Tabela 4). Comparando as Tabelas 3 e 7, pode-se observar, também, que as concentrações de  $Mg^{+2}$  no solo e no lixiviado foram muito semelhantes, porém diferenciou da primeira à última aplicação de águas residuárias no solo, demonstrando acúmulo deste cátion no decorrer do tempo com a aplicação. Lucena et al., (2006) também observou, durante a aplicação de esgoto municipal tratado, um aumento na concentração do  $Mg^{+2}$  no solo.

Quanto ao  $Na^+$ , foi o íon de maior concentração absoluta encontrada nos lixiviados, apresentando diferenças significativas nas médias apenas no tempo 4, demonstrando, assim, que esse íon foi acumulando ao longo do tempo na proporção das taxas de água residuária de suinocultura, (Tabelas 8 e 9), onde apresentaram interação entre os fatores água residuária e adubação química no tempo 4.

Já, o  $Na^+$  é muito solúvel e possui baixa adsorção no solo, justificando sua alta percolação, comprovada por Costa et al. (1999). Segundo os autores, a presença de diferentes espécies de cátions na solução do solo proporciona competição entre eles pelos sítios de adsorção, favorecendo a lixiviação daqueles com menor energia de adsorção, o que constitui um alerta, quanto ao perigo de contaminação dos mananciais de água subterrânea.

O  $K^+$  do solo é formado pelo  $K^+$  da solução, o  $K^+$  trocável, o  $K^+$  não trocável (fixado), o  $K^+$  estrutural, e o suprimento de  $K^+$  para as plantas que advém da solução e dos sítios de troca dos colóides do solo, que estão em equilíbrio com o  $K^+$  não trocável e com o  $K^+$  estrutural dos minerais (Sparks & Huang, 1985).

Finalmente, o  $K^+$  não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos em nenhum dos tempos avaliados apesar de estar em maior quantidade na água residuária (Tabela 11). A exigência total de  $K^+$  pelas plantas de milho, até a colheita das espiguetas é de  $190\text{ kg ha}^{-1}$  de  $K^+$ , sendo exportados através das espiguetas aproximadamente  $20\text{ kg ha}^{-1}$  de  $K^+$  (Vasconcelos, 2001). Como foi aplicado de  $16,8$  a  $67,5\text{ kg ha}^{-1}$  em função da ARS, o que demonstra um déficit desse elemento para cultura do milho. Deste modo, provavelmente todo o potássio aplicado foi absorvido pela cultura o que evitou efeitos dos tratamentos no  $K^+$  lixiviado.

Nesse sentido, Rosolem (2006) encontrou que altos índices pluviométricos e de cargas de dejetos aplicados no solo influenciaram na condição da adubação potássica, o  $K^+$  trocável e o  $K^+$  não trocável variaram intensamente, nos primeiros 8 cm de profundidade do solo, com o aumento da quantidade de chuva. O  $K^+$  que fica na solução do solo é passível de lixiviação às camadas mais profundas para profundidade de 4–8 cm (região de crescimento radicular), onde se verifica resposta linear dos teores de  $K^+$  trocável e não trocável com o aumento da lâmina de água da chuva, justificando a maior percolação deste íon no solo. No experimento, as lâminas aplicadas foram da ordem de 64 mm a 100 mm conforme (Tabela 1), com tendência para maiores lâminas, o que potencializa a lixiviação do  $K^+$ .

## 6 CONCLUSÃO

Pode-se concluir com base nos resultados obtidos e nas condições deste experimento que: o  $Ca^{2+}$  do solo apresentou as maiores médias antes e depois da irrigação com água

residuíria da suinocultura (ARS), sendo que a maior média foi encontrada depois da última irrigação com água residuíria e foi o parâmetro que apresentou maior média em relação aos demais parâmetros; as maiores concentrações dos cátions foram determinadas na seguinte ordem  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ ; as concentrações médias dos lixiviados foram maiores para os elementos químicos estudados na seguinte ordem:  $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ ; os tratamentos com maiores taxas de ARS produziram maiores concentrações significativas nos lixiviados para  $\text{Na}^+$ , apenas no final do experimento; o  $\text{K}^+$  não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos em nenhum dos tempos avaliados.

## 7 REFERÊNCIAS

- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 1998. Washington, DC, USA: American Public Health Association.
- BEEKMAN, G.B. Qualidade e conservação da água. In: Encontro nacional de assistência técnica e extensão rural. 1996. Brasília. **Conferência**. Brasília: Associação Brasileira das Entidades de Assistência Técnica e Extensão Rural, 1996.
- BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P.C.S. Conceito de reuso de água. In: **Reuso de água**; capítulo 2. Eds. Mancuso, P.C.S. & Santos, H.F. Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. São Paulo, 2002.
- COSTA, S.N. *et al.* Mobilidade de nitrato em coluna de solo sob condições de escoamento não permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 190-194, 1999.
- EMBRAPA. **Manual de Manejo e Utilização dos Dejetos de Suínos**. Concórdia: EMBRAPA/CNPASA, 1999, 188 p.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.
- FERREIRA, P. A.; GARCIA, G. DE O.; MATOS, A. T.; RUIZ, H. A.; JUNIOR, J. C. F.B. Transporte no solo de solutos presentes na água residuíria de café conilon, Maringá, PR. **Acta Sci. Agron.**, v.28, p.29-35, 2006.
- FREITAS, W. S.; OLIVEIRA, R. A.; PINTO, F. A.; CECON, P. R.; GALVÃO, J. C. C. Efeito da aplicação de águas residuírias de suinocultura sobre a produção do milho para silagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 2004., janeiro-abril. 2004.
- GIANELLO, C.; BISSANI, C.; TEDESCO, M.J. **Princípios de fertilidade do solo**. Departamento de solo da UFRGS, 1995. 276p.

GONZALEZ-ERICO E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMAN, G.C.; SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v.43, p.1155-1158, 1979.

LONGO, A.J.; SAMPAIO, S.C; CORREA, M.M.; VILAS BOAS, M.A. Precipitação provável e equação de chuvas intensas para o município de Cascavel – PR. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais**. Foz do Iguaçu: CONBEA, 2001. 1 CD.

LUCENA, A.M.A.; GUERRA, H.O.C.; CHAVES, L.H.G.; COSTA, F.X. Análise de um efluente de esgoto tratado e seu efeito em propriedades químicas de um neossolo quartzarênico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.19, n.4, p.409-414, outubro/dezembro, 2006.

MATOS, A. T.; BRASIL, M. S.; FONSECA, S. P. P. Aproveitamento de efluentes líquidos domésticos e agroindustriais na agricultura. In: Encontro de Preservação de Mananciais da Zona da Mata Mineira, Viçosa, 2, 2003, **Anais**, Viçosa: ABES, p.25-79, 2003.

MELO, R. F. de.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T. DE.; RUIZ, H. A.; OLIVEIRA, L. B. de. 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, n.2, p.456-465, 2006.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais (Compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, 1997. **Anais**. Rio de Janeiro: Embrapa; SBCS, 1997.

PEARSON, R.W.; ABRUNA, F.; VICENT-CHANDLER, J.E. Effect of lime and nitrogen applications on downward movement of calcium and magnesium in two humid tropical soil of Puerto Rico. **Soil Science**, v.93, p.77–82, 1962.

ROSOLEM, C.A.; SANTOS, F.P. DOS.; FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; K<sup>+</sup> no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 1033-1040, jun/2006.

SPARKS, D.L.; HUANG, P.M. Physical chemistry of soil potassium. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, p.201-276, 1985.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995, 174p.

VAN RAIJ, B. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 343p.

VASCONCELLO, C.A.; ALVES, V.M.C.; FILHO, I.A.P.; PITTA, G.V.E. Nutrição e Adubação do Milho Visando Obtenção do Minimilho. Circular Técnica 09. Embrapa Sorgo e Milho. Sete Lagoas, MG. 2001.