

RALINI FERREIRA DE MÉLO

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS,
DISTRIBUIÇÃO E MOBILIDADE DOS ÍONS EM TRÊS SOLOS
TRATADOS COM MANIPUEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do Título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL

2004

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M528a
2004

Mélo, Ralini Ferreira de, 1976-

Avaliação das alterações físicas e químicas, distribuição e mobilidade dos íons em três solos tratados com manipueira / Ralini Ferreira de Mélo. – Viçosa : UFV, 2004.
59p. : il.

Orientador: Paulo Afonso Ferreira

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa

1. Solos - Movimento de íons. 2. Águas residuais no solo.
3. Águas residuais de irrigação. 4. Deslocamento miscível.
5. Adubos e fertilizantes - Uso. 6. Resíduos como
fertilizante. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 631.43

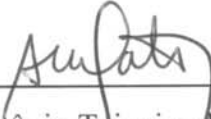
CDD 20.ed. 631.43

RALINI FERREIRA DE MÉLO

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS,
DISTRIBUIÇÃO E MOBILIDADE DOS ÍONS EM TRÊS SOLOS
TRATADOS COM MANIPUEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do Título de *Magister Scientiae*.

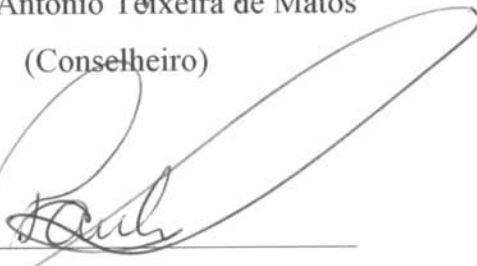
APROVADA: 30 de janeiro de 2004.



Prof. Antônio Teixeira de Matos
(Conselheiro)



Prof. Hugo Alberto Ruiz
(Conselheiro)



Prof. Paulo José Hamakawa



Prof. Rubens Alves de Oliveira



Prof. Paulo Afonso Ferreira
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e acolhida nos momentos mais difíceis.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos e pelo financiamento do projeto de pesquisa.

A meus pais, Reginaldo Marques de Mélo e Ana Rita Ferreira de Mélo, aos meus irmãos, Ricardo e Renata, a minha avó Joanita Maria Ferreira, as minhas tias Maria Verônica de Mélo (*in memoriam*) e Zuleide Maria Ferreira, ao meu tio Gilberto Berto Ferreira, à todos da família Ferreira e Marques de Mélo, pela força e compreensão nos momentos de ausência.

Ao professor Paulo Afonso Ferreira, pela confiança e valiosa orientação durante a realização do curso.

Ao professor Hugo Alberto Ruiz, por toda ajuda prestada nas diversas fases de elaboração da tese, pelos ensinamentos, conselhos e por sua enorme paciência.

Ao Prof. Antônio Teixeira de Matos, pelos ensinamentos, conselhos, valiosas sugestões e esclarecimentos.

A Lindomário Barros de Oliveira, pela paciência, amor e apoio em todas as horas.

Aos laboratoristas Cláudio, Carlinhos, Lucimar e Simão, pelo apoio e colaboração na realização das análises laboratoriais.

Aos funcionários e amigos do DEA/UFV, Sr. Antônio, Chicão, Edna, Fátima, José Galinari, José Mauro, Jurandir, Juvercino, Luis Balbino, Marcos e D. Maria pela agradável companhia e apoio em todas as horas.

Aos verdadeiros amigos do curso de pós-graduação pela horas de convivência.

A todos que não foram nominalmente citados, mas que contribuíram para que meu objetivo fosse alcançado.

BIOGRAFIA

Ralini Ferreira de Mélo, filha de Reginaldo Marques de Mélo e Ana Rita Ferreira de Mélo, nasceu em Palmares, PE, em 21 de outubro de 1976.

No segundo semestre de 1996 iniciou curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Federal Rural de Pernambuco, graduando-se em 2 de abril de 2002. Nesta mesma Instituição, durante o primeiro semestre de 2000, iniciou curso de Licenciatura em Ciências Agrícolas, vindo a concluí-lo em 8 de novembro de 2002.

Em 4 de abril de 2002, ingressou no Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, concentrando seus estudos na Área de Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se a defesa de tese em janeiro de 2004.

CONTEÚDO

	pág.
AGRADECIMENTOS.....	i
BIOGRAFIA.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
LITERATURA CITADA.....	3
AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS E PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÍONS EM TRÊS SOLOS TRATADOS COM MANIPUEIRA.....	4
RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	6
INTRODUÇÃO.....	8
MATERIAL E MÉTODOS.....	10
ENSAIO 1: Alteração de características químicas e físicas do solo em resposta à incubação com manipueira.....	13
ENSAIO 2: Distribuição de potássio, sódio, cálcio, magnésio e fósforo em colunas de solo em resposta à aplicação de manipueira..	14
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
ENSAIO 1: Alteração nas características químicas e físicas do solo em resposta à incubação com manipueira.....	16
ENSAIO 2: Distribuição de potássio, sódio, cálcio, magnésio e fósforo em colunas de solo em resposta à aplicação de manipueira..	22
CONCLUSÕES.....	29
LITERATURA CITADA.....	31
DESLOCAMENTO MISCÍVEL USANDO ÁGUA RESIDUÁRIA DO	

PROCESSAMENTO DE MANDIOCA EM COLUNAS DE PERCOLAÇÃO PREENCHIDAS COM MATERIAL DE TRÊS SOLOS.....	34
RESUMO.....	34
ABSTRACT.....	35
INTRODUÇÃO.....	36
MATERIAL E MÉTODOS.....	37
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
CONCLUSÕES.....	50
LITERATURA CITADA.....	51
CONCLUSÕES GERAIS.....	53
APÊNDICE.....	55

LISTA DE FIGURAS

	pág.
AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS E PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÍONS EM TRÊS SOLOS TRATADOS COM MANIPUEIRA.....	3
Figura 1 – Vista geral do experimento 1 – ensaio 2 (colunas).....	15
Figura 2 – Misturador utilizado para homogeneizar as colunas.....	15
Figura 3 – Teores de potássio, sódio, cálcio e magnésio trocáveis em um Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), em um Latossolo Amarelo distrófico (LAd) e em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) em função das doses de manipueira.....	18
Figura 4 - Teores de fósforo disponível, carbono orgânico (C org), pH e alumínio trocável, em um Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), em um Latossolo Amarelo distrófico (LAd) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) em função das doses de manipueira.....	20
Figura 5 - Condutividade elétrica (CE), Grau de Flocculação e Equivalente de Umidade (EQUM) em um Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), em um Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) e em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) em função das doses de manipueira.....	21
Figura 6 – Distribuição do potássio trocável ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em colunas de solos considerando as doses de manipueira.....	24
Figura 7 - Distribuição do sódio trocável ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em colunas de solos considerando as doses de manipueira.....	25
Figura 8 - Distribuição do cálcio trocável ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em colunas de solos considerando as doses de manipueira.....	26
Figura 9 - Distribuição do magnésio trocável ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em colunas de solos considerando as doses de manipueira.....	27

Figura 10 – Distribuição do fósforo disponível (mg dm^{-3}) em colunas de solos considerando as doses de manipueira.....	28
DESLOCAMENTO MISCÍVEL USANDO ÁGUA RESIDUÁRIA DO PROCESSAMENTO DE MANDIOCA EM COLUNAS DE PERCOLAÇÃO PREENCHIDAS COM MATERIAL DE TRÊS SOLOS.....	34
Figura 1 – Vista geral do experimento II – deslocamento miscível.....	40
Figura 2 - Curvas de efluente para o sódio, potássio, cálcio e magnésio trocáveis, ajustadas às curvas experimentais utilizando-se o programa computacional Disp-1.1, para o solo de textura arenosa (RQo).....	45
Figura 3 - Curvas de efluente para o sódio, potássio, cálcio e magnésio trocáveis, ajustadas às curvas experimentais utilizando-se o programa computacional Disp-1.1, para o solo de textura média (LAd).....	47
Figura 4- Curvas de efluente para o sódio, potássio, cálcio e magnésio trocáveis às curvas experimentais utilizando-se o programa computacional Disp-1.1, para o solo de textura argilosa (LVAd).....	48
Figura 5- Perfis de concentração residente (mg L^{-1}) do íon potássio, em função da profundidade do solo e tempos 1, 2 horas (esquerda) e 7,5 horas (direita), para o solo de textura média (LAd).....	49
Figura 6 - Perfil de concentração residente (CR), $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$, para o potássio em função da profundidade de 120 cm para o tempo de teste de 7,5 horas para o solo de textura média (LAd).....	50

LISTA DE TABELAS

	pág.
AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS E PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÍONS EM TRÊS SOLOS TRATADOS COM MANIPUEIRA.....	4
Tabela 1 – Caracterização da água residuária de indústria de fecularia....	11
Tabela 2 – Classificação e localização dos solos no estado de Minas Gerais.....	11
Tabela 3 – caracterização dos solos utilizados.....	12
Tabela 4 – Volumes de manipueira e de água utilizados no preparo das soluções de trabalho equivalentes às diferentes doses de potássio aplicadas.....	14
DESLOCAMENTO MISCÍVEL USANDO ÁGUA RESIDUÁRIA DO PROCESSAMENTO DE MANDIOCA EM COLUNAS DE PERCOLAÇÃO PREENCHIDAS COM MATERIAL DE TRÊS SOLOS.....	34
Tabela 1 – Classificação e localização dos solos no estado de Minas Gerais.....	38
Tabela 2 – Caracterização física e química dos materiais dos três solos...	39
Tabela 3 – Características físicas, fluxo e velocidade de avanço nas colunas de solos quando submetidas à percolação com água residuária bruta, em laboratório.....	43
Tabela 4 – Coeficientes dispersivo-difusivos e fator de retardamento dos íons potássio, cálcio, magnésio e sódio para os três solos estudados.....	44
APÊNDICE.....	55
Tabela 1A – Médias dos teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio trocáveis e de fósforo disponível considerando as doses de manipueira para os três solos estudados.....	55
Tabela 2A – Médias dos teores de alumínio trocável, pH, CE, carbono orgânico, argila dispersa, grau de floculação e equivalente de umidade considerando as doses de manipueira para os	

três solos estudados.....	56
Tabela 3 A – Análise de variância do teor de sódio, potássio, carbono orgânico (C Org) e grau de floculação (GF) para os três solos estudados.....	57
Tabela 4 A – Análise de variância do teor de cálcio e magnésio para os solos RQo e LVAd.....	57
Tabela 5 A – Análise de variância do teor de cálcio e magnésio para o solo LAd.....	58
Tabela 6 A – Análise de variância do teor de fósforo, condutividade elétrica (CE) e pH para os solos RQo e LAd.....	58
Tabela 7 A – Análise de variância do teor de fósforo, condutividade elétrica (CE) e pH para o solo LVAd.....	58
Tabela 8 A – Análise de variância do teor de alumínio para os solos LAd e LVAd.....	58
Tabela 9 A – Análise de variância do teor de alumínio para o solo RQo.....	59
TABELA 10 A – Análise de variância de equivalente de umidade para cada um dos três solos estudados, individualmente.....	59

RESUMO

MÉLO, Ralini Ferreira, M.S., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2004. **Avaliação das alterações físicas e químicas, distribuição e mobilidade dos íons em três solos tratados com manipueira.** Orientador: Paulo Afonso Ferreira. Conselheiros: Antônio Teixeira de Matos e Hugo Alberto Ruiz.

O presente trabalho foi constituído por dois experimentos, sendo o primeiro composto por dois ensaios. No primeiro experimento, objetivou-se avaliar as alterações das características químicas e físicas do solo em resposta à incubação com manipueira, bem como a distribuição de potássio, sódio, cálcio, magnésio e fósforo em colunas de solo, após a aplicação de doses crescentes deste resíduo, em amostras dos solos Neossolo Quartzarênico órtico espódico (RQo), Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (LVAd) de Minas Gerais. Este ensaio constou da incubação dos solos, por 21 dias, em recipientes contendo um quilo de solo cada, utilizando-se cinco doses de manipueira. A dose inicial de manipueira foi calculada de forma acrescentar 50 kg ha⁻¹ de potássio, que é uma quantidade próxima àquela indicada para a cultura de milho em solo de fertilidade média. Foram utilizados as doses de manipueira: 0 m³ ha⁻¹, 85 m³ ha⁻¹, 170 m³ ha⁻¹, 340 m³ ha⁻¹ e 510 m³ ha⁻¹. No segundo ensaio, utilizaram-se colunas de PVC de 7,5 cm de diâmetro e 66,5 cm de altura, seccionadas a cada 7,5 cm. Em cada coluna, 510 m³ ha⁻¹ de água e, ou, manipueira, conforme as doses calculadas. Após aplicação, determinou-se a concentração dos íons em cada anel de solo estudado. No segundo experimento, objetivou-se determinar os fatores de retardamento e os coeficientes de dispersão-difusão dos íons potássio, sódio, cálcio e magnésio, presentes em maiores concentrações na água residuária utilizada na fertirrigação. Para isto realizou-se um experimento em laboratório, utilizando-se colunas de percolação preenchidas com os materiais dos três solos. No ensaio 1, observou-se um aumento linear no sódio e magnésio trocáveis e pH para os solos RQo, LAd e LVAd, no cálcio trocável para RQo e LVAd, no fósforo disponível dos solos RQo e LVAd; Houve diminuição no carbono orgânico solo LVAd no alumínio

trocável do solo LVAd e aumento na CE dos solos LAd e LVAd. Ao ajustar o modelo exponencial, observou-se também um aumento no potássio dos solos RQo e LAd e, no fósforo do solo LAd. Observou-se aumento no potássio para o solo LVAd e no carbono orgânico para o solo RQo, bem como um decréscimo no alumínio para o solo RQo com ajuste do modelo quadrático. Houve aumento na condutividade elétrica para o solo RQo e diminuição no alumínio trocável com ajuste do modelo hiperbólico 2. Não houve ajustes de modelos par o cálcio e carbono orgânico para o solo LAd e também para o grau de floculação e equivalente de umidade para os três solos. No ensaio 2, observou-se que as maiores concentrações de bases trocáveis ocorreram nos primeiros anéis de solo, onde ocorre maior contato entre os constituintes da manipueira e o complexo de troca, favorecendo a adsorção de íons pelo solo. Com relação à movimentação dos íons, o solo RQo apresentou uma maior migração dos cátions trocáveis, sendo que no solo LVAd ocorreu o contrário. Com o aumento nas doses aplicadas, observou-se uma maior lixiviação do K, Na, Ca e Mg, seguindo a ordem: solo RQo > LAd > LVAd. No experimento II, os valores dos fatores de retardamento foram mais altos para o sódio no solo RQo, cálcio e magnésio no solo LAd, e potássio no solo LVAd. Os baixos valores dos fatores de retardamento e dos coeficientes dispersivo-difusivos dos íons sódio, potássio, cálcio e magnésio presentes na manipueira, semelhante ao que se observa em testes usando soluções desses íons com água destilada como solvente, evidenciam a influência do material orgânico presente na manipueira, tanto do ponto de vista de uma redução na porosidade do solo quanto de uma possível complexação dos íons magnésio e cálcio com a matéria orgânica no perfil.

ABSTRACT

MÉLO, Ralini Ferreira, M.S., Universidade Federal de Viçosa, January 2004. **Evaluation of the physical and chemical changes, distribution and mobility of ions in three soils treated with cassava wastewater.** Adviser: Paulo Afonso Ferreira. Committee members: Antônio Teixeira de Matos and Hugo Alberto Ruiz.

Two experiments were carried out, being the first one composed by two assays. In the first experiment, the first assay aimed at evaluating the changes of the chemical and physical characteristics of the soil in response to the incubation with cassava wastewater, as well as the partitioning of potassium, sodium, calcium, magnesium and phosphorus in soil columns, after application of increasing doses of this residue in samples of the following soils: Spodic Orthic Quartzarenic Neosol (RQo), Typic Dystrophic Yellow Latosol (LAd), and Typic Dystrophic Yellowish Red Latosol (LVAd) in Minas Gerais State. This assay consisted of incubation of the soils (21 days) in containers containing 1kg soil each one, by using five cassava wastewater doses. The initial cassava wastewater dose was calculated in such a way to adding 50 kg ha⁻¹ of potassium, what is an amount close to that indicated to maize cropping in a medium-fertility soil. The following cassava wastewater doses were added: 0 m³ ha⁻¹, 85 m³ ha⁻¹, 170 m³ ha⁻¹, 340 m³ ha⁻¹ and 510 m³ ha⁻¹. In the second assay, a number of PVC columns with 7.5cm diameter and 66.5 cm height were used, which were sectioned at each 7.5 cm. Each column were applied 510 m³ ha⁻¹ water and/or cassava wastewater, according to the calculated doses. After application, the concentration of the ions in each tube ring were determined. The second experiment aimed at determining the retardation factors and the dispersion-diffusion coefficients of potassium, sodium, calcium and magnesium ions found at higher concentrations in the wastewater used in fertirrigation. So, an experiment was conducted under laboratory conditions, by using percolation columns filled with the materials from those three soils. In the first assay, a lineal increase was observed in the exchangeable sodium, magnesium and pH of the soils RQo, LAd and LVAd, in

the exchangeable calcium of RQo and LVAd, in the available phosphorus of RQo and LVAd. A reduction occurred in both the organic carbon and the exchangeable aluminum of the LVA soil, but an increase in CE of the soils LAd and LVAd. Upon adjusting the exponential model, an increase was observed in potassium of the soils RQo and LAd, in phosphorus of the LAd soil and in the organic carbon of the RQo soil, as well as a decrease in aluminum of the RQo soil when adjusting the quadratic model. The electrical conductivity increased for the RQo soil, whereas the exchangeable aluminum decreased upon the adjustment of the hyperbolic model 2. No adjustments to the models were performed for calcium and organic carbon of the LAd soil neither for the flocculation level and the moisture equivalent in those three soils. In assay 2, the highest concentrations of exchangeable bases occurred in the first soil tubes, a region where there is a higher contact between the cassava wastewater constituents and the change complex, therefore favoring the adsorption of ions by the soil. In relation to the ion movements, the RQo soil showed a higher migration of the exchangeable cations, whereas the opposite occurred in the LVAd soil. With the increased doses, a higher leaching of K, Na, Ca and Mg was observed, following the order: RQo soil > Lad > LVAd. In experiment II, the values of the retardation factors were higher for sodium in the RQo soil, calcium and magnesium in the LAd soil, and potassium in the LVAd soil. The low values of the retardation factors and the dispersive-diffusive coefficients of the sodium, potassium, calcium and magnesium ions found in the cassava wastewater, likely to that observed in tests using solutions of these ions with the distilled water as solvent, emphasize the influence of the organic material found in the wastewater from the cassava processing under the viewpoint of a reduction in the soil porosity as well as a possible complexity of the magnesium and calcium ions with the organic matter in the profile.

INTRODUÇÃO GERAL

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma euforbiácea originária do continente americano que nos trópicos se insere entre as culturas mais importantes como fonte calórica para aproximadamente 600 milhões de pessoas na América Latina, África, Ásia e Oceania (FAO, 1994). A grande expansão desta cultura decorre de sua capacidade de adaptação a diferentes condições de clima e solo, à facilidade de cultivo, aos altos rendimentos e às mais variadas formas de preparo (Conceição, 1981).

A raiz de mandioca tem sido utilizada diretamente em preparos culinários e, industrialmente, na fabricação de farinha de mandioca e polvilho. A extensão de cultivo é variada, compreendendo desde pequenas áreas até as explorações extensivas, como aquelas comuns no Sul do país (Cereda, 1994).

Quando processada industrialmente, os resíduos gerados podem causar sérios problemas ambientais. Mesmo as pequenas fábricas como aquelas denominadas casas de farinha e as indústrias de polvilho de pequeno porte podem gerar significativas quantidades de resíduos, em razão da tendência de se reunirem em determinados locais ou municípios. Exemplos disto são as casas de farinha do município de Jupi, Pernambuco, as indústrias de polvilho azedo localizadas nos municípios de Conceição dos Ouros, Divinópolis e Pouso Alegre, em Minas Gerais, e Paranaíba, no Paraná, onde se encontram cerca de 150 indústrias de farinha de diferentes portes (Cereda, 1994 e Vilas Boas, et al., 2001).

Na fabricação da farinha de mesa e polvilho, a retirada da água de constituição da raiz se faz necessária objetivando, principalmente, a economia de combustível na secagem. Este processo é levado a efeito pela prensagem, originando um efluente líquido conhecido como manipueira, produzida à razão de, aproximadamente, 300 litros por tonelada de raízes processadas (Fioretto et al., 1997).

Manipueira é um vocábulo de origem indígena incorporado à língua portuguesa, que corresponde ao líquido de aspecto leitoso e cor amarelo-clara que emana das raízes carnosas da mandioca, previamente moídas, por ocasião da prensagem no tipiti, com vista à obtenção da fécula ou farinha de mandioca.

Portanto, a manipueira é um subproduto ou resíduo do processamento da mandioca que, fisicamente, se apresenta na forma de uma suspensão aquosa e, quimicamente, como uma miscelânea de compostos: goma (5 a 7%), glicose e outros açúcares, proteínas, cianetos e derivados cianogênicos, substâncias orgânicas diversas e diferentes sais minerais que podem ser úteis ou não como macro e micronutrientes vegetais (Magalhães, 1998). A manipueira é altamente concentrada e prejudicial ao meio ambiente, principalmente quando lançada nos corpos de água, não apenas por sua alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), mas, também, pela concentração elevada de cianeto (Branco, 1967).

Em razão da grande quantidade de manipueira gerada diariamente nas indústrias e à dificuldade em se obter tratamentos que eliminem a carga orgânica e os componentes tóxicos, a sua utilização na forma de fertirrigação surge como alternativa promissora para a disposição desse efluente (Fioretto, 1987).

Este trabalho teve por objetivos a avaliação das alterações químicas e físicas provocadas pela aplicação de manipueira em três diferentes materiais de solos, seguidas de aplicações de lâminas de água pura, e as caracterizações do movimento e da distribuição de íons em colunas de solos pelo uso de dados medidos e simulados, empregando técnicas de deslocamento de fluídos miscíveis e computacionais.

LITERATURA CITADA

- BRANCO, S. M. A dinâmica de populações microbiológicas na estabilidade aeróbica de resíduos orgânicos de feculárias de mandioca. **Revista da Saúde Pública**. São Paulo, v. 1, n. 2, p. 140-162. 1967.
- CEREDA, M. P. Resíduos da industrialização da mandioca no Brasil. São Paulo: Paulicéia. 1994. 174 p.
- CONCEIÇÃO, A. J. **A Mandioca**. 3. ed. São Paulo: Nobel,. 1981. 176p.
- FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Production Yearbook**. V. 48. 1994.
- FIORETTO, R.A. Manipueira na fertirrigação: efeito sobre a germinação e produção de algodão (*Gossypium hirsutum* var *hirsutum*, L) e milho (*Zea mays*). **Semina**, Londrina, v. 88, n. 1, p. 17-20, 1987.
- FIORETTO, R.A., SANTOS, J. R., BICUDO, S. J. Manipueira na fertirrigação: efeito sobre a produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.). **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas (BA), v.16, n.2, p.149-156, dez. 1997.
- MAGALHÃES, C. P. **Estudos sobre as bases bioquímicas da toxicidade da manipueira a insetos, nematóides e fungos**. Fortaleza: UFC. 1998. 117 f. (Dissertação Mestrado em Bioquímica – Bioquímica). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- VILAS BOAS, E. V. B.; LIMA, L. C. O.; BRESSAN, M. C.; BARCELOS, M. F. P.; PEREIRA, R. G. F. A. **Manejo de Resíduos da Agroindústria**. Lavras: UFLA/FAEPE., 2001. p. 81-95.

AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS E PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÍONS EM TRÊS SOLOS TRATADOS COM MANIPUEIRA

Resumo: Este trabalho objetivou avaliar a influência da aplicação de manipueira nas propriedades físicas e químicas, bem como determinar a movimentação de íons em amostras dos solos Neossolo Quartzarênico órtico espódico (RQo), Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (LVAd) do estado de Minas Gerais. Foram realizados dois ensaios em laboratório. No ensaio 1, avaliou-se as alterações nas propriedades químicas e físicas, resultantes da aplicação de manipueira nas amostras dos solos. Para tanto, incubaram-se por 21 dias amostras de 1 kg de solo. Os tratamentos constituíram-se de cinco doses: 0 m³ ha⁻¹ de manipueira, 85 m³ ha⁻¹, 170 m³ ha⁻¹, 340 m³ ha⁻¹ e 510 m³ ha⁻¹ de manipueira. A dose inicial (85 m³ ha⁻¹) foi calculada de forma a acrescentar 50 kg ha⁻¹ de potássio, quantidade próxima daquela indicada para a cultura de milho em solo de fertilidade média. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, em esquema fatorial 3 x 5, sendo três solos e cinco taxas de aplicação de água residuária. No ensaio 2, avaliou-se a distribuição dos íons K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e do fósforo no solo, em resposta à aplicação de manipueira sendo utilizadas colunas preenchidas com materiais de solos. A unidade experimental constituiu-se de oito segmentos de tubo de PVC de 7,5 cm de diâmetro interno e 7,5 cm de comprimento, acrescidos de um anel superior de 6,5 cm, preenchidos com materiais de solo até atingir 60 cm de espessura. As doses de manipueira foram iguais àquelas usadas no primeiro ensaio e os tratamentos foram dispostos em delineamento em blocos casualizados. Os materiais de solos, em ambos os ensaios, foram colocados para secar ao ar, passados em peneira de 2 mm e, posteriormente, analisados. No ensaio 1, observou-se um aumento linear no sódio e magnésio trocáveis e pH para os solos RQo, LAd e LVAd, no cálcio trocável para RQo e LVAd, no fósforo disponível dos solos RQo e LVAd; Houve diminuição no carbono orgânico solo LVAd no alumínio trocável do solo LVAd e aumento na CE dos solos LAd e LVAd. Ao ajustar o modelo exponencial, observou-se também um aumento no potássio dos solos RQo e LAd e, no fósforo

do solo LAd. Observou-se aumento no potássio para o solo LVAd e no carbono orgânico para o solo RQo, bem como um decréscimo no alumínio para o solo RQo com ajuste do modelo quadrático. Houve aumento na condutividade elétrica para o solo RQo e diminuição no alumínio trocável com ajuste do modelo hiperbólico 2. Não houve ajustes de modelos par o cálcio e carbono orgânico para o solo LAd e também para o grau de flocculação e equivalente de umidade para os três solos. No ensaio 2, observou-se que as maiores concentrações de bases trocáveis ocorreram nos primeiros anéis de solo, onde ocorre maior contato entre os constituintes da manípueira e o complexo de troca, favorecendo a adsorção de íons pelo solo. Com relação à movimentação dos íons, o solo RQo apresentou uma maior migração dos cátions trocáveis, sendo que no solo LVAd ocorreu o contrário. Com o aumento nas doses aplicadas, observou-se uma maior lixiviação do K, Na, Ca e Mg, seguindo a ordem: solo RQO > LAd > LVAd, com exceção do fósforo que ficou retido no primeiro anel (7,5 cm) da coluna do solo LVAd, chegando a atingir o terceiro anel (22,5 cm) no solo RQo.

Palavras-chave: águas residuárias, fertirrigação, manípueira.

EVALUATING THE PHYSICAL AND CHEMICAL CHANGES AND THE ION DISTRIBUTION PROFILES IN THREE SOILS TREATED WITH CASSAVA WASTEWATER

Abstract: This study aimed at evaluating the influence of the cassava wastewater application on the physical and chemical properties, as well as to determine the ions movement in samples of the soils Spodic Orthic Quartzarenic Neosol (RQo), Typic Dystrophic Yellow Latosol (LAd), and Typic Dystrophic Yellowish Red Latosol (LVAd) in Minas Gerais State. Two assays were conducted under laboratory conditions. In assay 1, the changes in the chemical and physical properties resulting from the application of cassava wastewater on the soil samples were determined. So, a number of 1kg soil samples were incubated for 21 days. The treatments consisted of five doses of cassava wastewater: 0 m³ ha⁻¹, 85 m³ ha⁻¹, 170 m³ ha⁻¹, 340 m³ ha⁻¹ and 510 m³ ha⁻¹. The initial dose (85 m³ ha⁻¹) was calculated in such a way to increase 50 kg ha⁻¹ potassium, what is an amount close to that indicated for maize cropping in a medium-fertility soil. The treatments arranged on an entirely randomized design with three replicates, on a factorial scheme of 3 x 5, being three soils and five application rates of the cassava wastewater. In assay 2, the partitioning of the K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ ions and phosphorus in the soil were evaluated in response to cassava wastewater application, by using columns filled with soil materials. The experimental unit consisted of eight PVC tube segments with 7.5 cm internal diameter and 7.5 cm length, added with a superior 6.5cm tube ring, filled with soil materials until reaching a 60cm thickness. The cassava wastewater doses were equal to those used in the first assay, and the treatments were arranged on a randomized block design. In both assays, the soil materials were air-dried, passed through a 2-mm sieved, then analyzed. In assay 1, a lineal increase was observed in the exchangeable sodium, magnesium and pH of the soils RQo, LAd and LVAd, and in the exchangeable calcium of the soils RQo and LVAd, in the available phosphorus of the soils RQo and LVAd and in the organic carbon of the LVAd soil, as well as a decrease in the exchangeable aluminum of the LVAd soil and an increase in CE of the soils LAd and LVAd. In assay 2, the highest concentrations

of the exchangeable bases occurred in the first soil tubes, a region where there is a higher contact between the cassava wastewater constituents and the charge complex, therefore favoring the adsorption of ions by the soil. In relation to the ion movements, the RQo soil showed a higher migration of the exchangeable cations, whereas the opposite occurred in the LVAd soil. At the increased doses, a higher leaching of K, Na, Ca and Mg was observed, following the order: RQO soil > LAd > LVAd.

Keywords : wastewaters, fertirrigation, cassava wastewater

INTRODUÇÃO

A disposição no ambiente de resíduos gerados em atividades agro-industriais tem resultado em diversos problemas, como poluição de rios e do lençol freático, mortandade de peixes, abortos em vacas e gastrites em humanos. Tais problemas, juntamente com a conscientização da população em relação à importância da prevenção da poluição ambiental, levaram as autoridades a elaborar medidas efetivas para minimizá-la, medidas estas que incluem o tratamento desses resíduos e, ou, sua utilização como fertilizantes.

Alguns desses resíduos agroindustriais, tais como os dos laticínios, usinas de açúcar e álcool, fecularias e casas de farinha, apesar do seu alto potencial poluente, podem ser utilizados como fertilizante, pois apresentam grandes quantidades de nutrientes.

A manipueira é o resíduo líquido gerado nas indústrias de processamento da mandioca. Quando da fabricação da farinha de mesa e de fécula se faz necessária a retirada da água de constituição das raízes, operação realizada por compressão. Essa extração é realizada com a finalidade de economizar combustível na secagem (Normanha, 1982; Ponte, 1999). Este processo gera, em média, 300 L de água residuária por tonelada de raízes processadas para produção de farinha (Fioretto et al, 1997) e mais de 600 L na produção de fécula (Cereda, 1990 citada por Leonel e Cereda, 1996).

Este efluente, de coloração amarelada, tem alto poder corrosivo devido ao fato de seu pH está geralmente abaixo de 4,0, sendo altamente poluidor, por apresentar elevadas demandas bioquímica e química de oxigênio (DBO e DQO). A matéria orgânica finamente particulada presente na manipueira, pode ser facilmente biodegradada no solo. A manipueira contém apreciáveis quantidades de nutrientes, tornando-se um bom fertilizante denominado de “organo-mineral líquido” (Kiehl, 1985).

As alternativas de valorização do aproveitamento de resíduos em diversas atividades têm sido muito incentivadas, contribuindo para a redução da poluição e, muitas vezes, agregando valor aos produtos destas atividades. A experiência relatada por agricultores mostra que os resíduos de mandioca, em especial a

manipueira, podem apresentar efeitos herbicida, nematicida e inseticida (Cereda, 1994; Fioretto, 1994; Ponte, 1999; Silva et al., 2002).

Um trabalho pioneiro foi executado por Ponte et al. (1979), que evidenciaram o potencial da manipueira no controle de nematóides das galhas (*Meloidogyne* spp.) em plantas de quiabo (*Hibiscus esculentus* L.). Sena e Ponte (1982) repetiram o experimento com a cultura da cenoura (*Daucus carota* L.) em canteiros, verificando ser a manipueira eficiente nematicida, obtendo produção de cenoura 100% superior à obtida nos canteiros não tratados. Freire (2001) utilizou a manipueira no controle do oídio da serigueleira e verificou que pulverizações quinzenais foram suficientes para o controle do fungo.

Ponte e Franco (1983 citados por Cereda 1994) estudaram o efeito da manipueira sobre a população de rizóbio (*Rhizobium* spp.) e constataram um decréscimo populacional inversamente proporcional à quantidade de manipueira aplicada ao solo. Franco e Ponte (1988 citados por Cereda, 1994) estudaram doses e interferência da manipueira na fertilidade do solo, vindo a constatar que, fundamentalmente, esse resíduo propiciou melhoria na fertilidade do solo, conseqüente do aumento da disponibilidade de potássio.

Em estudo sobre a viabilidade da aplicação da manipueira na cultura da mandioca, e sua influência na fertilidade do solo além do efeito herbicida em plantas invasoras, os resultados obtidos indicaram aumento no teor de matéria orgânica e elevação da disponibilidade de fósforo e potássio no solo quando aplicadas 80 m³ ha⁻¹ e 160 m³ ha⁻¹ de manipueira, obtendo-se uma redução entre 40 e 80% das plantas invasoras testadas (Fioretto, 1994).

A agricultura moderna exige o uso de corretivos e fertilizantes em quantidades adequadas, de forma a atender a critérios racionais, que permitam conciliar o resultado econômico positivo com a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente e com a elevação constante da produtividade das culturas (Raij, 1991). Quando esses insumos são aplicados acima da capacidade suporte do solo, podem liberar íons e compostos tóxicos ou não, que poderão poluir o solo e águas subterrâneas. Os íons disponibilizados na solução do solo podem ser adsorvidos ao solo, absorvidos pelas plantas ou lixiviados das camadas superficiais do solo (Costa et al., 1999).

Os aspectos abordados justificam a necessidade de mais pesquisas sobre o uso e manejo da manipueira como fertilizante, para que as aplicações sejam feitas de acordo com recomendações técnicas, levando-se em conta sua constituição, as características do solo e da cultura, com uma visão global das implicações no ecossistema.

Objetivou-se com este trabalho, avaliar as alterações das características químicas e físicas do solo em resposta à incubação com manipueira e a distribuição de potássio, sódio, cálcio, magnésio e fósforo em colunas de solo após aplicação de doses crescentes deste resíduo, utilizando amostras de diferentes solos coletados no estado de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras de água residuária por ocasião do processamento de mandioca para fabricação de polvilho, no mês de abril de 2003, em uma agroindústria no município de Consolação, sul de Minas Gerais. A manipueira foi caracterizada no Laboratório de Qualidade da Água, do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, onde foram determinados os sólidos sedimentáveis, utilizando cone de Imhoff, os sólidos totais, após secagem em estufa a 110°C, os sólidos fixos totais, por combustão em mufla a 550°C e os sólidos voláteis totais, por diferença entre os totais e os fixos. A determinação da concentração de sólidos em suspensão foi obtida após a filtração da amostra em filtro de acetato de celulose de 0,45 µm. A concentração de sólidos dissolvidos totais foi determinada por diferença em relação aos sólidos totais. Adicionalmente foram determinados: pH, condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio (pelo método de Winkler), demanda química de oxigênio (pelo método do refluxo aberto), nitrogênio total e o fósforo (por colorimetria), N amoniacal e cianeto por titulometria (APHA, 1995); o potássio e o sódio por fotometria de emissão de chama e o cálcio e o magnésio por espectrofotometria de absorção atômica (Rump e Krist, 1992) (Tabela 1).

Tabela 1 – Caracterização da água residuária de indústria de fecularia

Características	Valores
Sólidos sedimentáveis (mL L ⁻¹)	50
Sólidos totais (g L ⁻¹)	11,9
Sólidos fixos totais (g L ⁻¹)	1,0
Sólidos voláteis totais (g L ⁻¹)	10,9
Sólidos suspensos totais (g L ⁻¹)	2,6
Sólidos dissolvidos totais (g L ⁻¹)	9,3
pH	3,7
Condutividade elétrica (mS cm ⁻¹)	2,1
Demanda bioquímica de oxigênio (mg L ⁻¹)	8.844
Demanda química de oxigênio (mg L ⁻¹)	16.020
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	229
N amoniacal (mg L ⁻¹)	5
Potássio (mg L ⁻¹)	583
Sódio (mg L ⁻¹)	292
Cálcio (mg L ⁻¹)	39
Magnésio (mg L ⁻¹)	66
Fósforo (mg L ⁻¹)	311
Cianeto (mg L ⁻¹)	0,80

Nos ensaios, foram utilizados três solos de Minas Gerais coletados da camada de 0-20 cm (Tabela 2). Os materiais foram secos ao ar e passados em peneira de malha de 2 mm e, posteriormente, foram caracterizados física e quimicamente nos Laboratórios de Água e Solo do Departamento de Engenharia Agrícola e Física do Solo do Departamento de Solos da UFV. A caracterização física incluiu: análise granulométrica; densidade do solo pelo método da proveta; densidade das partículas pelo método do balão volumétrico; porosidade total; macro e microporosidade; condutividade hidráulica em meio saturado, utilizando permeâmetro de carga constante e retenção de água a -10 e -1.500 kPa (Ruiz, 2003) (Tabela 3).

Tabela 2 – Classificação e localização dos solos no estado de Minas Gerais

Classificação	Localidade	Coordenadas geográficas
Neossolo Quartzarênico órtico espódico A moderado (RQo)	Itutinga	21°18'19''S 44°36'46''W
Latossolo Amarelo distrófico típico textura média A moderado (LAd)	Rosário	21°17'05''S 44°50'18''W
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico textura muito argilosa A moderado álico mesoférrico (LVAd)	Viçosa	20°45'76''S 42°52'49''W

Tabela 3 - Caracterização dos solos utilizados

Característica	RQo	LAd	LVAd
Areia grossa (g kg ⁻¹)	660	350	190
Areia fina (g kg ⁻¹)	250	390	70
Silte (g kg ⁻¹)	20	90	40
Argila (g kg ⁻¹)	70	170	70
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	1,47	1,26	1,03
Densidade das partículas (kg dm ⁻³)	2,57	2,53	2,52
Porosidade total (dm ³ dm ⁻³)	0,43	0,50	0,60
Macroporosidade (dm ³ dm ⁻³)	0,22	0,16	0,20
Microporosidade (dm ³ dm ⁻³)	0,21	0,34	0,40
Condutividade hidráulica (cm h ⁻¹)	68,1	7,2	37,8
Retenção de água (kg kg ⁻¹)			
-10 kPa	0,06	0,17	0,32
-1.500 kPa	0,02	0,08	0,18
pH em água (1:2,5)	5,07	5,37	4,84
Potássio (cmol _c kg ⁻¹)	0,07	0,11	0,07
Sódio (cmol _c kg ⁻¹)	0,05	0,10	0,09
Cálcio (cmol _c kg ⁻¹)	0,57	1,21	0,67
Magnésio (cmol _c kg ⁻¹)	0,14	0,33	0,24
Alumínio (cmol _c kg ⁻¹)	6,2	3,6	3,1
H +Al (cmol _c kg ⁻¹)	2,79	2,87	11,22
Fósforo (mg kg ⁻¹)	6,80	2,10	2,50
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	7,4	6,3	13,1

As análises químicas incluíram as determinações de: pH em água; potássio e sódio trocáveis por fotometria de emissão de chama após extração com extrator Mehlich-1; cálcio e magnésio trocáveis por espectrofotometria de absorção

atômica após extração com solução de cloreto de potássio 1 mol L⁻¹; alumínio trocável por titulação após extração com solução de cloreto de potássio 1 mol L⁻¹; H + Al por titulação após extração com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹; fósforo disponível por colorimetria após extração com extrator Mehlich-1 e carbono orgânico pelo método de Walkley-Black modificado (EMBRAPA, 1999) (Tabela 3).

Os materiais previamente descritos foram utilizados em dois ensaios conduzidos separadamente em laboratório.

Ensaio 1: Alteração de características químicas e físicas do solo em resposta à incubação com manipueira

Para determinar as alterações químicas e físicas nos materiais dos três solos ocasionadas pela aplicação da água residuária, foi efetuado um ensaio em que amostras de 1 kg de solo foram incubadas com cinco taxas de aplicação de manipueira. Considerando que o potássio é o nutriente de maior concentração na manipueira, a dose inicial foi calculada de forma a acrescentar 50 kg ha⁻¹ de potássio, quantidade próxima daquela indicada para a cultura de milho em solo de fertilidade média (Vieira e Ramos, 1999). As doses subseqüentes corresponderam a duas, quatro e seis vezes esse valor. Os tratamentos, que incluíram a testemunha sem aplicação da manipueira, receberam acréscimo de água em quantidade suficiente para igualar o volume da suspensão (Tabela 4).

Os tratamentos foram dispostos num delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, em esquema fatorial 3 x 5, sendo três solos (Tabela 2) e cinco taxas de aplicação de água residuária (Tabela 4). O volume de manipueira incorporado a cada unidade experimental foi de 0, 85, 170, 340 e 510 m³ ha⁻¹. As unidades experimentais foram cobertas com plástico, para evitar a evaporação de água. Após 21 dias de incubação, os solos foram colocados para secar ao ar e passados novamente por peneira de malha de 2 mm. Nesses materiais determinou-se os teores de potássio, sódio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, o fósforo disponível, o pH e o carbono orgânico, utilizando-se os métodos descritos anteriormente. Determinou-se também, a condutividade

elétrica do extrato 1:5 (Rhoades, 1982), o equivalente de umidade e a argila dispersa em água, calculando-se o grau de floculação (Ruiz, 2003).

Tabela 4 – Volumes de manipueira e de água utilizados no preparo das soluções de trabalho equivalentes às diferentes doses de potássio aplicadas

Dose de Potássio ¹	Manipueira	Água
kg ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	
0	0	510
50	85	425
100	170	340
200	340	170
300	510	0

¹ Fonte: Vieira e Ramos, 1999.

Ensaio 2: Distribuição de potássio, sódio, cálcio, magnésio e fósforo em colunas de solo em resposta à aplicação de manipueira

Para determinar a distribuição dos cátions básicos trocáveis e fósforo disponível no solo, em resposta à aplicação de manipueira, foi realizado um ensaio utilizando colunas preenchidas com os três materiais de solos em estudo. A unidade experimental foi construída usando oito segmentos de tubo de PVC de 7,5 cm de diâmetro interno e 7,5 cm de comprimento, acrescidos de um anel superior de 6,5 cm. Os segmentos foram conectados entre si com anéis de borracha, colocados sob pressão e untados com graxa com a finalidade de evitar vazamentos. Na extremidade inferior da coluna foi colocada uma camada de 0,5 cm de areia grossa (0,5-1,0mm) (Figura 1).

As colunas foram preenchidas, até altura de 60 cm, com uso de um funil com bico prolongado para permitir acomodação do solo de forma uniforme, em incrementos de 3 cm. Cada incremento adicionado foi misturado ao anterior empregando um misturador construído com um disco de madeira de aproximadamente 7 cm de diâmetro, onde foram cravados diversos pregos. Esse



Figura 1 – Vista geral do experimento I – ensaio 2 (colunas).

disco foi fixado a uma haste cilíndrica para permitir, assim, o movimento rotacional visando a homogeneização do solo na coluna, tendo-se cuidado-se para que cada material de solo apresentasse a mesma densidade nas diferentes unidades experimentais (Figura 2).

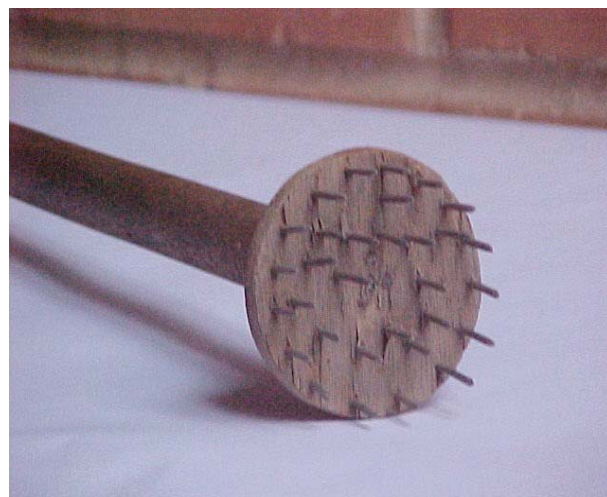


Figura 2 – Misturador utilizado para homogeneizar as colunas.

Os tratamentos foram dispostos num delineamento em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 3 x 5, sendo três solos (Tabelas 2 e 3) e cinco taxas de aplicação de água residuária (Tabela 4). O volume incorporado a cada unidade experimental foi de 0, 115, 230, 460 e, 690 mL. Nos tratamentos em que houve a aplicação de manipueira, a aplicação de água residuária antecedeu a aplicação de água.

Neste ensaio todas as unidades experimentais receberam volume de água e, ou manipueira de forma a permitir o umedecimento total da coluna, após seu preenchimento com solo seco ao ar. Esse volume, determinado por ensaios preliminares, foi calculado de forma a evitar a percolação de líquido na finalização da aplicação.

No tratamento testemunha, a coluna recebeu o volume integral de água. No tratamento de 85 m³ ha⁻¹, aplicou-se 1/5 do volume total de manipueira e, seguidamente, 4/5 de água. Nos dois tratamentos subseqüentes, doses de 170 e 340 m³ ha⁻¹, aplicaram-se manipueira e água nas proporções adequadas e nessa seqüência. Já para a dose de 510 m³ ha⁻¹, aplicou-se exclusivamente manipueira.

Ao final do ensaio, após ter cessado a percolação rápida através da coluna (período de 26 horas após aplicação das lâminas) estas foram desmontadas. Os materiais foram separados por anel, secos ao ar e peneirados em peneira de malha de 2 mm. Nesses materiais determinaram-se os teores de potássio, sódio, cálcio e magnésio trocáveis e fósforo disponível utilizando os métodos descritos anteriormente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio 1: Alteração nas características químicas e físicas do solo em resposta à incubação com manipueira

A manipueira utilizada no ensaio de incubação contém cátions mono e bivalentes, verificando-se concentrações, em ordem decrescente, na seqüência K > Na > Mg > Ca (Tabela 1). As doses aplicadas, que tomaram como referência o K, de forma a acrescentar 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ deste elemento, levaram, em geral, a incrementos na disponibilidade dos quatro cátions (Figura 3). Diferenças

nas respostas podem ser atribuídas às características químicas e texturais dos três solos em estudo (Tabela 3).

Na comparação do LAd com o LVAd, pode-se inferir, também, que o primeiro é mais caulínico e o segundo mais oxídico, como sugerido pela diferença na condutividade hidráulica em meio saturado (Tabela 3), já que os materiais mais oxídicos tendem a apresentar estrutura microgranular que favorece a movimentação de água. Essa diferença mineralógica é também, claramente mostrada pela resposta na disponibilidade de fósforo às doses crescentes de manipueira (Figura 4). O solo LVAd, mais argiloso e oxídico, apresenta teor de fósforo disponível sensivelmente inferior aos dois restantes, indicando sua maior capacidade tampão, estimada pelo valor inverso da declividade da reta ajustada para os dados experimentais. No outro extremo, o RQo, com o maior teor de areia entre os três materiais estudados, é o que exibe a maior disponibilidade do elemento e, conseqüentemente, a menor capacidade tampão.

A resposta das amostras de solo ao acréscimo de matéria orgânica originária da manipueira não ficou tão evidente quanto àquelas observadas nos teores de potássio, sódio, cálcio e magnésio trocáveis e de fósforo disponível (Figuras 3 e 4). Isso seria justificado considerando que, na manipueira, os sólidos voláteis totais podem ser considerados, quase exclusivamente, compostos por material orgânico. Assim, verifica-se que, no resíduo estudado, a relação carbono orgânico: potássio é de aproximadamente 11:1, o carbono orgânico é de $6,4 \text{ g L}^{-1}$ (10,9/1,7) (Tabela 1). Considerando que, na amostra de solo, essa relação é próxima de 365:1, 1020:1 e 7.000:1 para o RQo, o LAd e o LVAd, respectivamente (Tabela 3), verifica-se que a incorporação de matéria orgânica com a aplicação da manipueira é, proporcionalmente, de menor importância.

Considerando, ainda, que os sólidos orgânicos solúveis devem apresentar valor próximo daquele da diferença entre os sólidos voláteis totais e os sólidos suspensos totais, verifica-se que aproximadamente $8,3 \text{ g L}^{-1}$ de sólidos orgânicos estariam dissolvidos na manipueira, o que representa 76% da matéria orgânica estimada (Tabela 1). Essa proporção de material orgânico solúvel sugeriria a presença de matéria orgânica mais lábil e, em conseqüência, mais susceptível de mineralização durante a incubação.

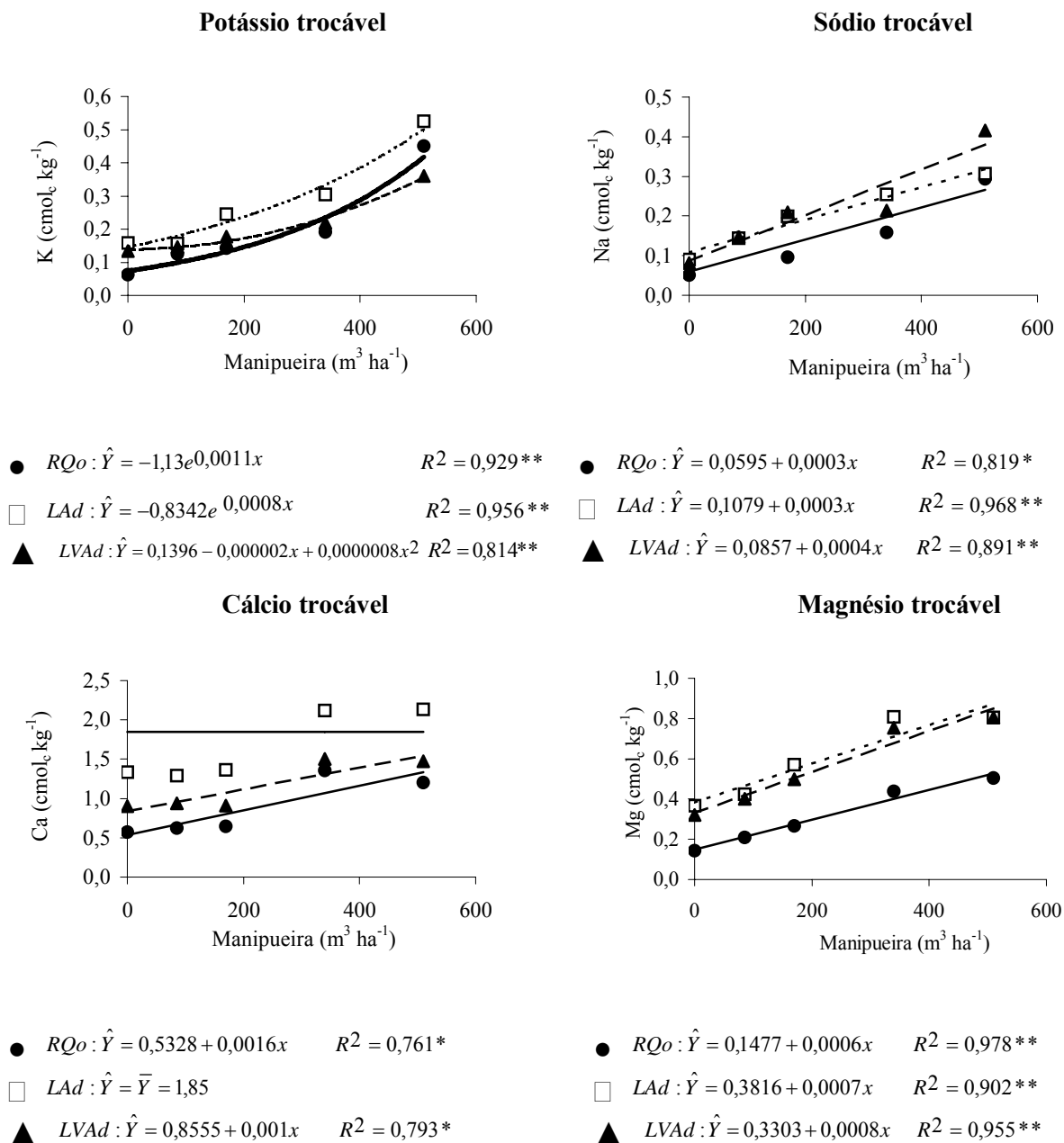


Figura 3 – Teores de potássio, sódio, cálcio e magnésio trocáveis em um Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), em um Latossolo Amarelo distrófico (LAd) e em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) em função das doses de manipueira.

Essa suposição é confirmada pela elevação do pH do solo em resposta à incorporação e incubação com a manipueira (Figura 4). Se a manipueira apresentou pH de 3,7 (Tabela 1) e os solos valores iniciais oscilando entre 4,84 e

5,37 (Tabela 3), os valores determinados na finalização do ensaio, sempre superiores aos originais, somente seriam atingidos como consequência da mineralização da matéria orgânica e da liberação dos cátions dos metais alcalinos e alcalino-terrosos associados aos ácidos orgânicos.

Com relação ao carbono orgânico, houve ajuste do modelo quadrático para o solo RQo com as doses crescentes de manipueira. É interessante notar um decréscimo na concentração de carbono orgânico neste solo, até aproximadamente $275 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, aumentando em seguida. Não houve ajuste de modelo para o solo LAd, com aumento linear para o solo LVAd.

A elevação do pH leva, também, à precipitação do alumínio trocável, como hidróxido de alumínio, como mostrado pelas curvas correspondentes na Figura 5. Resultados semelhantes, decorrentes da aplicação de água residuária, são citados por Mazza (1985), Andrioli (1986) e Cardoso (1988), quando adicionaram vinhaça aos solos. Garcia (2003) que trabalhou com água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro conilon, observou comportamento semelhante, quando aplicou esta água nos solos Aluvial Eutrófico, Argissolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo.

A incubação com manipueira aumentou a condutividade elétrica, como mostrado na Figura 5. Essa constatação e os valores determinados sugerem cuidados especiais na incorporação desse resíduo, visando evitar riscos de salinização do solo. Considerando que as determinações foram realizadas no extrato 1:5 verifica-se que, quando relacionados ao extrato da pasta de saturação, esses valores poderiam incrementar-se em aproximadamente dez vezes (Richards, 1954).

O grau de floculação não foi alterado após os tratamentos (Figura 5). Essa resposta indica que a argila dispersa em água manteve-se em teores semelhantes.

Na aplicação dos tratamentos verificam-se dois efeitos contrastantes, aparentemente equilibrados: o favorecimento à dispersão provocado pela diminuição do alumínio e o incremento do sódio trocáveis e a tendência à floculação em resposta ao incremento de cálcio, magnésio e potássio trocáveis e ao aumento da pressão osmótica pelos íons em solução, como evidenciado pelos valores de condutividade elétrica (Figura 5).

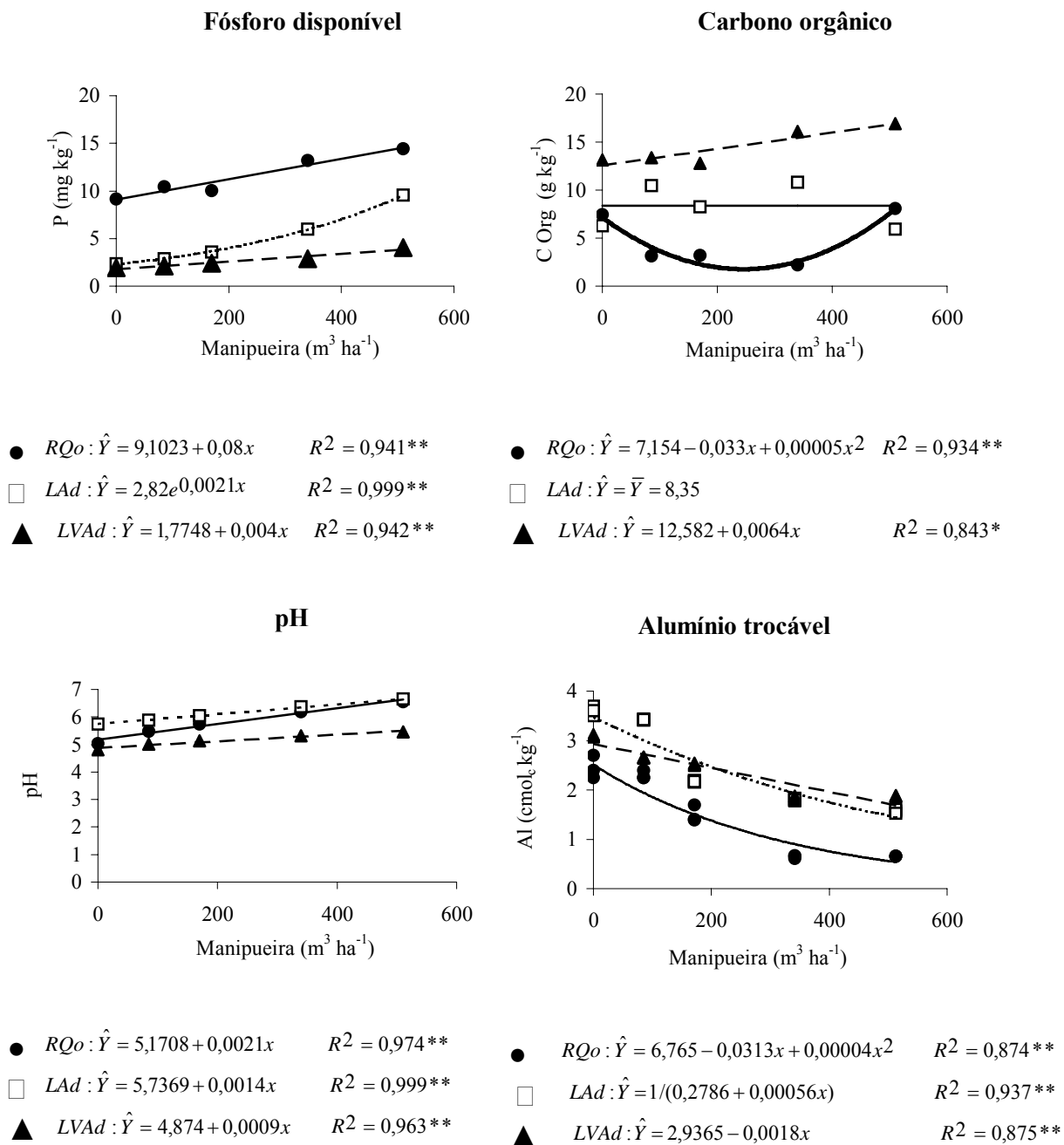


Figura 4 – Teores de fósforo disponível, carbono orgânico (C Org), pH e alumínio trocável e em um Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), em um Latossolo Amarelo distrófico (LAd) e em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) em função das doses de manipueira.

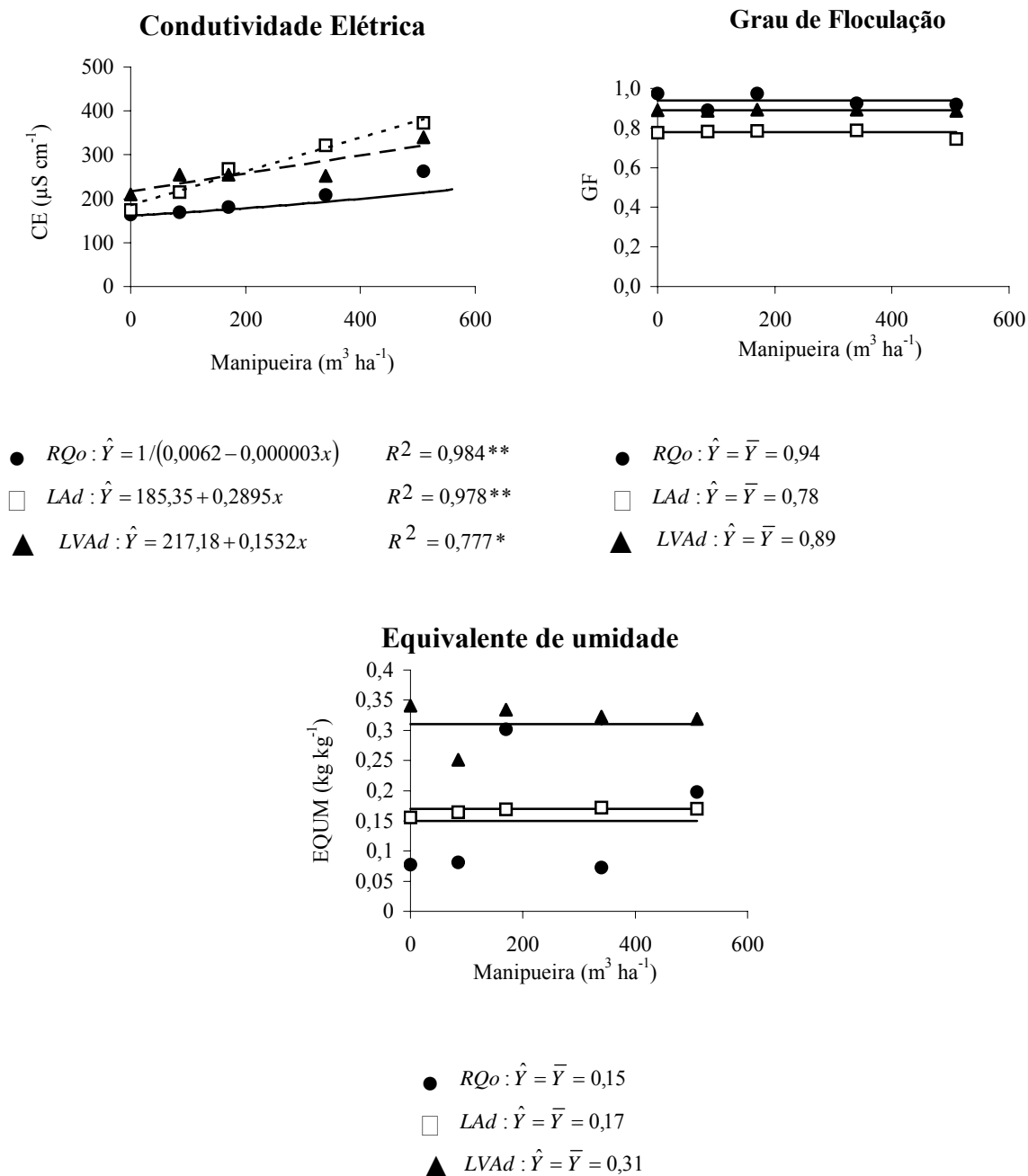


Figura 5 – Condutividade elétrica (CE), grau de floculação (GF) e equivalente de umidade (EQU) em um Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), em um Latossolo Amarelo distrófico (LAd) e em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) em função das doses de manipueira.

Tampouco o equivalente de umidade mostrou diferenças em resposta aos tratamentos (Figura 5). Isso mostra que os resíduos em suspensão não foram incorporados em quantidades suficientes para evidenciar modificações na

superfície específica das amostras, considerando que o equivalente de umidade determina o teor de água em equilíbrio, após centrifugação a 1000 g, por trinta minutos.

Ensaio 2: Efeito de doses crescentes de manureira no perfil de concentração de íons em colunas de solo

As distribuições de potássio, sódio, cálcio e magnésio trocáveis decorrentes de diferentes doses de manureira aplicadas aos solos encontram-se nas Figuras de 6 a 10. Observa-se os perfis de concentração dos íons dependem da classe de solo, do íon em questão e das doses aplicadas.

A Figura 6 mostra os perfis de concentração do potássio trocável para os três solos e as doses de manureira. Por se tratar de um íon de alta mobilidade no solo e por ser o solo RQo de baixa adsorção, os perfis apresentam-se de forma bem linear. Vale ressaltar o fato de apenas na dose de $510 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ o íon ter atingido o último anel da coluna.

Os perfis para o solo LAd, que possui capacidade de adsorção intermediária, apresentam-se semelhantes ao RQo até a dose de $170 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e, para as doses mais altas, maiores concentrações nos anéis superiores. Por outro lado, o solo LVAd, por apresentar alta capacidade de retenção, os perfis se apresentam bem distintos em relação aos anteriores já a partir da dose de $85 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Vale ressaltar o fato de todo o potássio aplicado aos solos ter ficado retido nos primeiros três anéis nas colunas.

O comportamento do sódio trocável foi semelhante ao do potássio, merecendo destaque apenas o fato do íon ter atingido o quarto anel no solo LVAd, mostrando menor energia de adsorção em relação ao potássio (Figura 7).

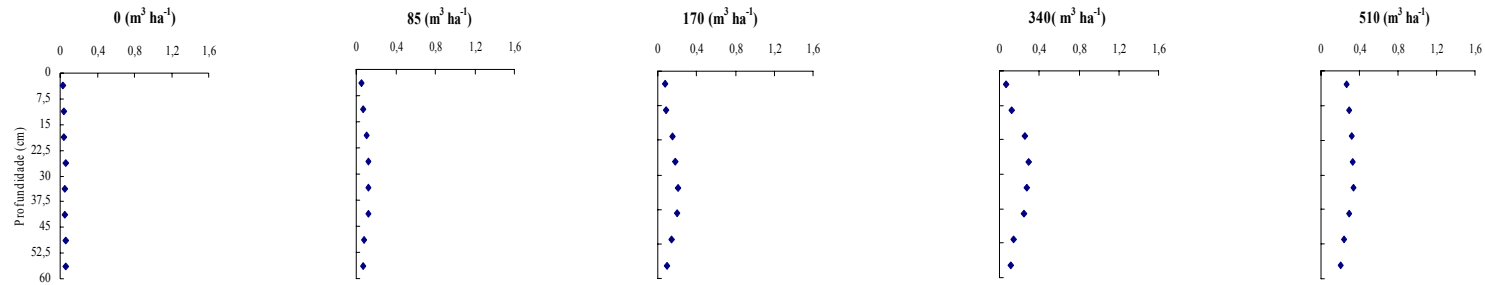
Os perfis de concentração de cálcio trocável para o solo RQo, apresentam-se também de forma linear. Por outro lado no solo LAd, os perfis de concentração apresentam-se em forma de pulso com concentrações crescentes até o quarto anel e decrescente a seguir. No solo LVAd o cálcio ficou retido, em geral, até o terceiro anel (Figura 8). Comportamento semelhante foi observado para o magnésio (Figura 9). À medida que crescem as doses de manureira há um aumento nos teores desses cátions com uma maior lixiviação para ambos,

tornando-se praticamente uniforme. O aumento na lixiviação pode ser atribuído ao elevado teor de potássio introduzido pela adição de doses crescentes de manipueira. Assim, o potássio atuaria deslocando para a solução do solo parte dos íons cálcio e magnésio, adsorvido nas micelas do solo, tornando-os mais suscetíveis à lixiviação. A elevação nos teores desses elementos, em geral proporcional às quantidades adicionadas, foi observada por alguns pesquisadores para aplicação de vinhaça (Nunes et al., 1982; Sengik et al., 1988; Cardoso, 1988).

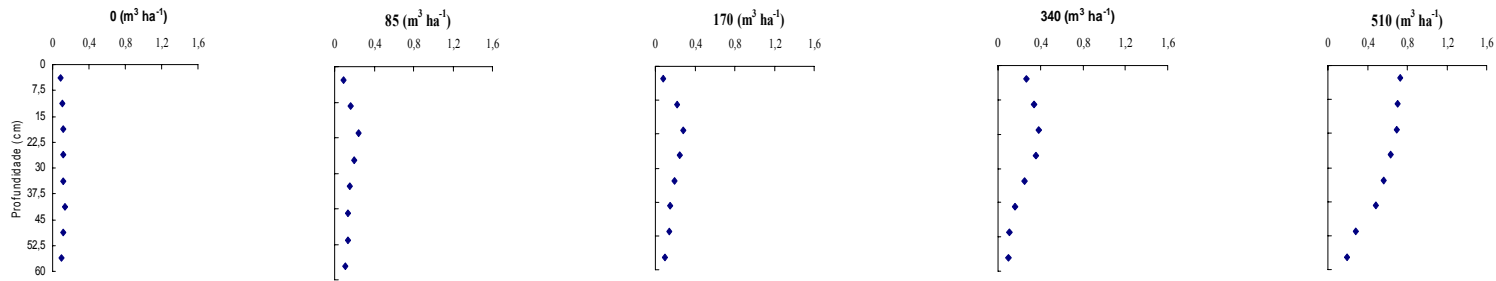
Com a aplicação continuada de grandes volumes de manipueira devido ao elevado teor de potássio existente nesta água residuária, poderia ocasionar deficiências do cálcio e magnésio, bem como a lixiviação, especialmente em solos pobres deixando-os indisponíveis as raízes (Reeve e Sumner, 1972; Quaggio et al., 1982) (Figuras 8 e 9).

Os perfis do fósforo disponível retrata a alta retenção no solo LVAd, mais oxidico do que os demais solos, onde todo o fósforo aplicado não passou do primeiro anel para todas as doses, atingindo o segundo anel no solo LAd e o terceiro anel no RQo. Esse comportamento era esperado em razão da maior interação com os componentes minerais e orgânicos do solo, principalmente com os óxidos e hidróxidos de ferro dificultando sua movimentação nas colunas (Figura 10). Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Resende (1979) que trabalhou com vinhaça e observou, em condições de campo, que os efeitos da aplicação da mesma na concentração de fósforo num Neossolo Flúvico (solo aluvial) se restringia à camada superficial, não ultrapassando a profundidade de 15 cm.

Neossolo Quartzarênico órtico espódico



Latossolo Amarelo distrófico típico



Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico

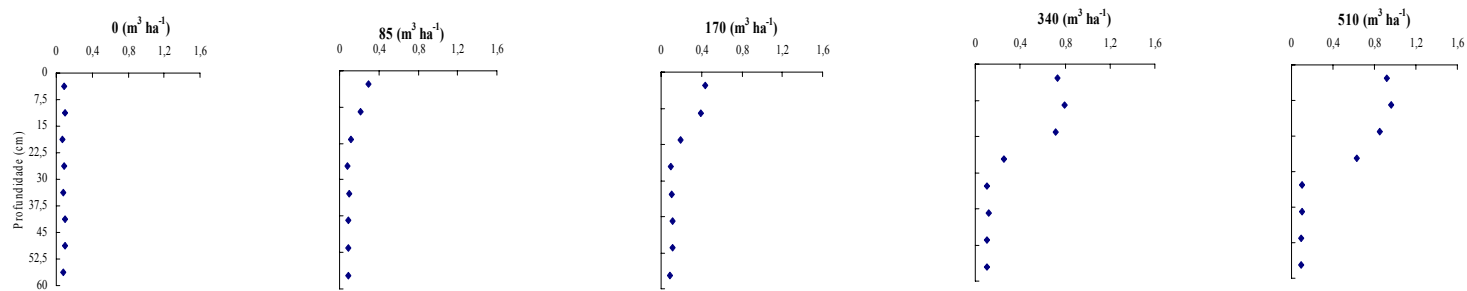
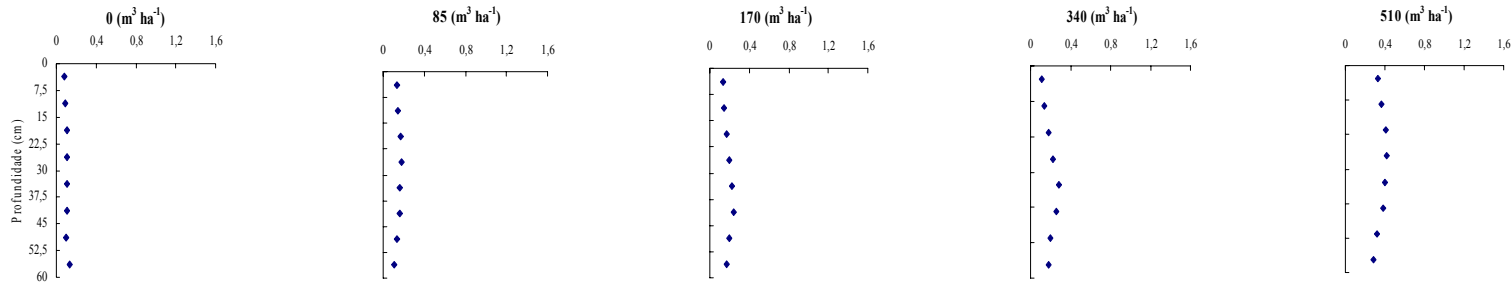
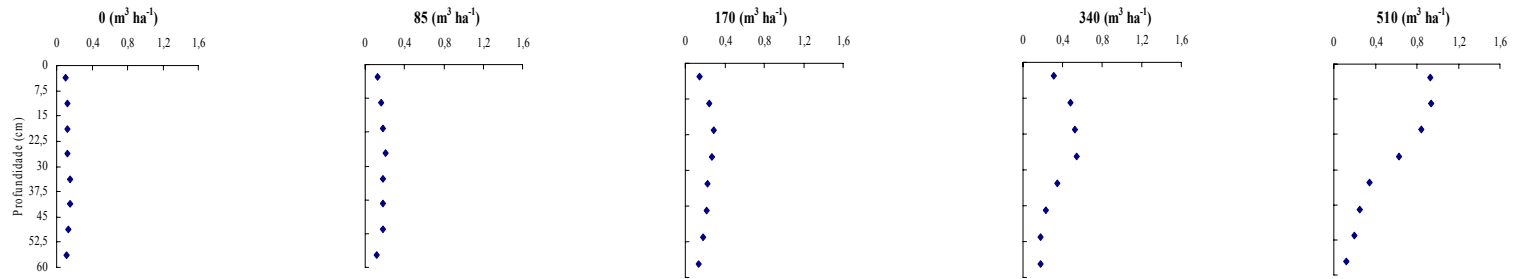


Figura 6 - Distribuição do potássio trocável (cmol_c dm⁻³) em colunas de solos considerando as doses de manipueira.

Neossolo Quartzarênico órtico espódico



Latossolo Amarelo distrófico típico



Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico

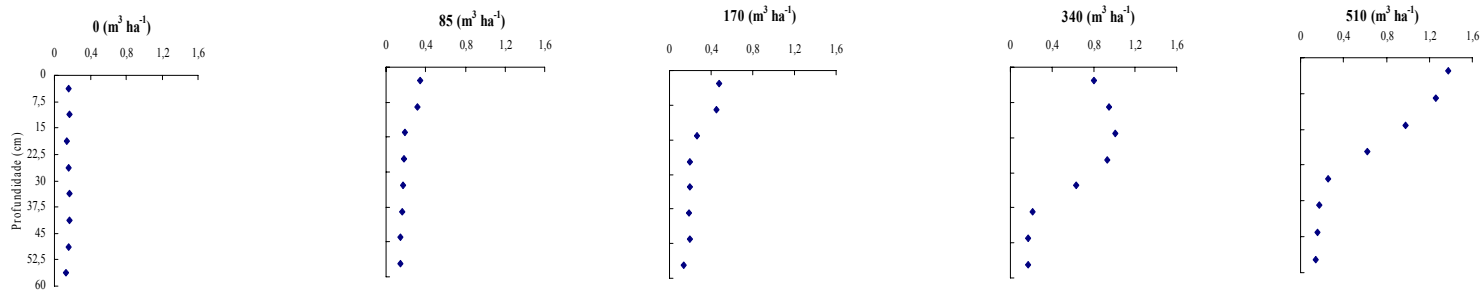
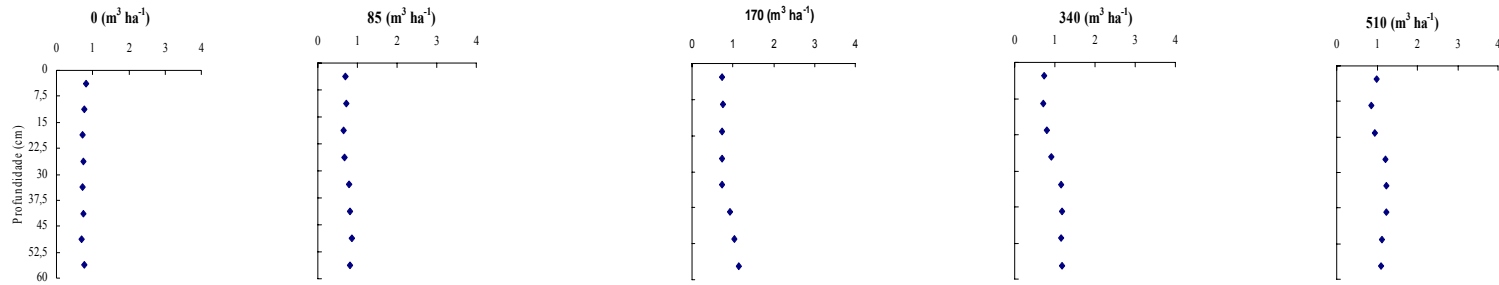
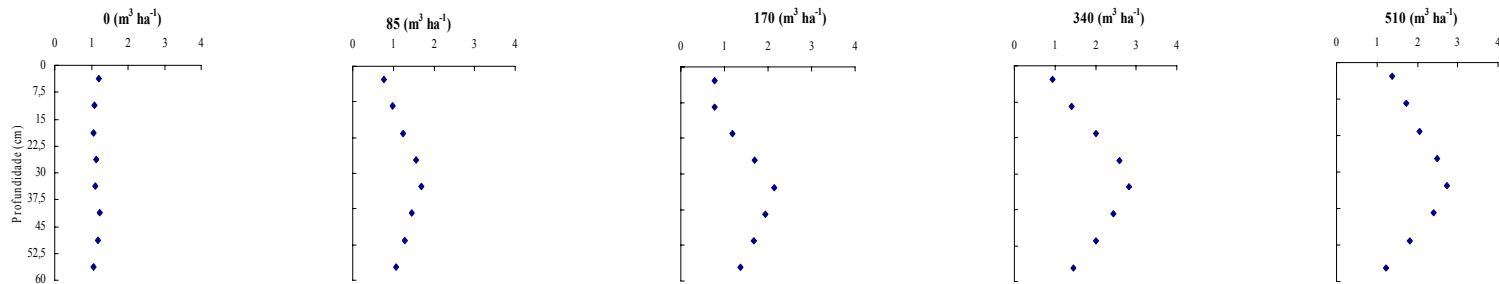


Figura 7 - Distribuição do sódio trocável ($cmol_c dm^{-3}$) em colunas de solos considerando as doses de manureira.

Neossolo Quartzarênico órtico espódico



Latossolo Amarelo distrófico típico



Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico

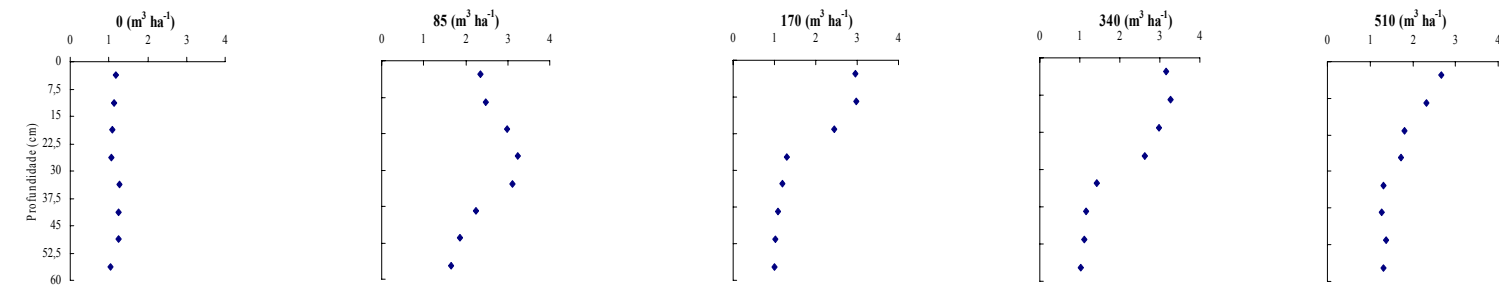
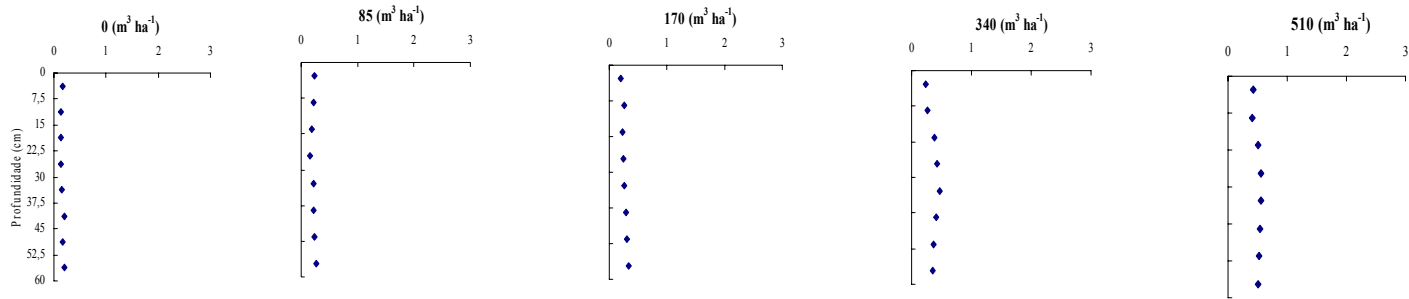
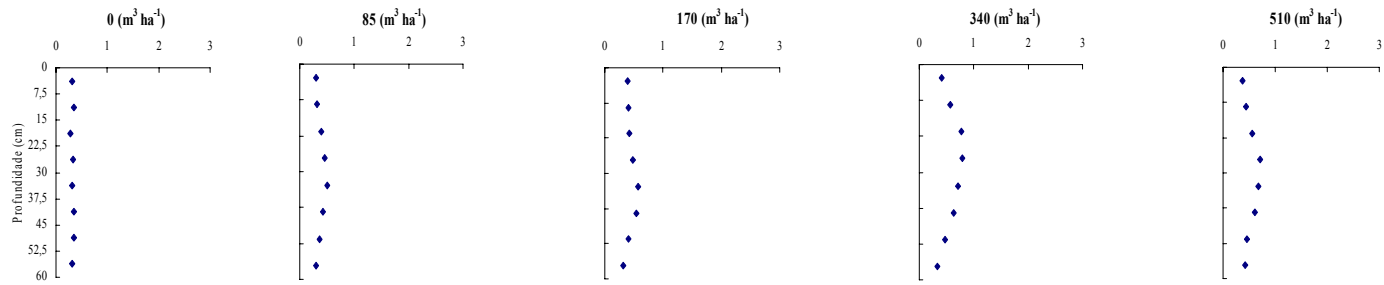


Figura 8 - Distribuição do cálcio trocável ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em colunas de solos considerando as doses de manureira.

Neossolo Quartzarênico órtico espódico



Latossolo Amarelo distrófico típico



Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico

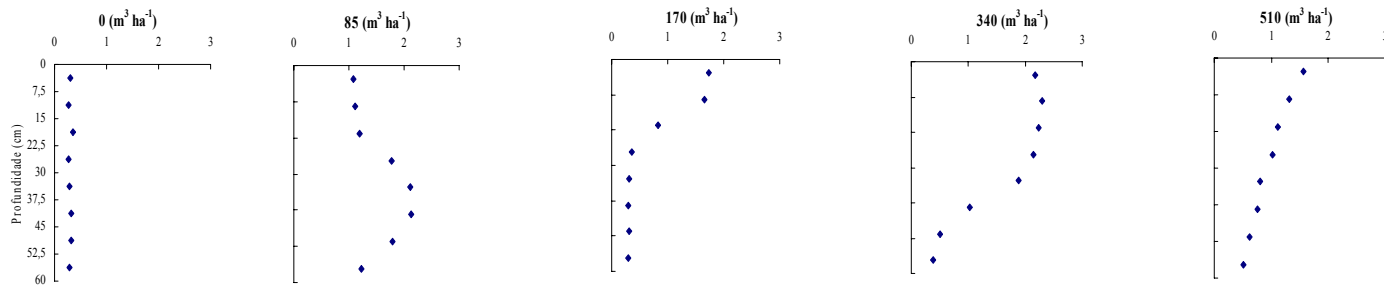
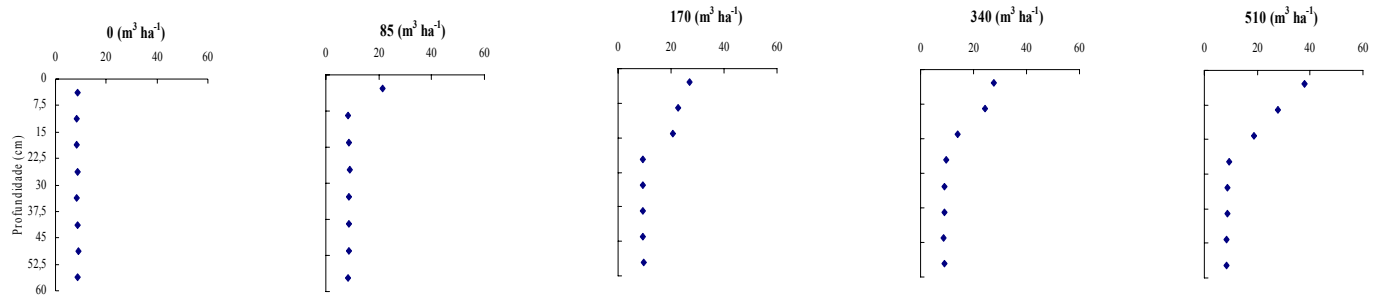
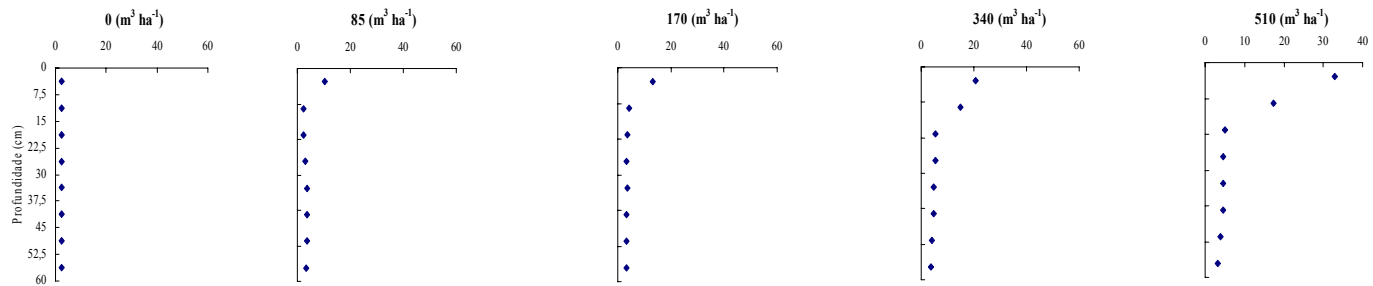


Figura 9 - Distribuição do magnésio trocável ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em colunas de solos considerando as doses de manureira.

Neossolo Quartzarênico órtico espódico



Latossolo Amarelo distrófico típico



Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico

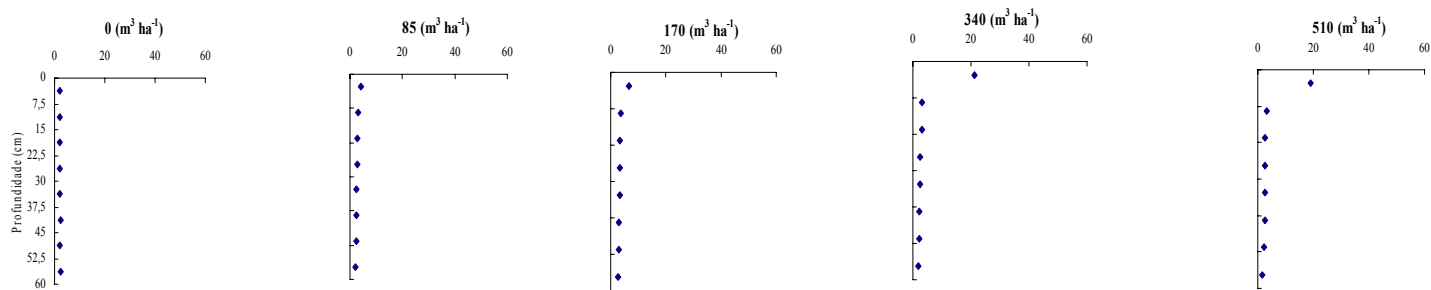


Figura 10 - Distribuição do fósforo disponível (mg dm⁻³) em colunas de solos considerando as doses de manipueira.

CONCLUSÕES

1. O potássio trocável aumentou exponencialmente com as doses crescentes de manureira aplicadas aos solos RQo e LAd, com aumento e ajuste do modelo quadrático para o solo LVAd.
2. O sódio e magnésio trocáveis aumentaram linearmente com as doses crescentes de manureira aplicadas aos três solos.
3. O cálcio trocável aumentou linearmente com as doses crescentes de manureira aplicadas aos solos RQo e LVAd, não houve efeito para o solo LAd.
4. O fósforo disponível aumentou linearmente com as doses crescentes de manureira aplicadas aos solos RQo e LVAd, com aumento exponencial para o solo LAd.
5. Para o carbono orgânico, solo RQo houve efeito quadrático com as doses crescentes de manureira. A concentração decresceu até aproximadamente $275 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, aumentando em seguida. Sem ajuste de modelo para o solo LAd e aumento linear para o solo LVAd.
6. O alumínio trocável aumentou linearmente com as doses crescentes de manureira aplicadas ao solo LVAd
7. A condutividade elétrica aumentou linearmente com as doses crescentes de manureira aplicadas aos solos LAd e LVAd, com aumento e ajuste do modelo hiperbólico 2 para o solo RQo.
8. Para o grau de floculação e o equivalente de umidade, não houve efeito para os três solos com as doses crescentes de manureira.
9. Os maiores acréscimos de bases trocáveis ocorreram nos primeiros anéis, região de maior contato entre os constituintes da manureira e o complexo de troca, favorecendo a adsorção de íons pelo solo.
10. Com o aumento das doses aplicadas observou-se uma maior lixiviação do potássio, sódio, cálcio e magnésio na seguinte ordem: solo RQo > LAd > LVAd, com exceção do fósforo que ficou retido nos primeiros 15 cm das colunas para os três solos.

11. Para o fósforo o aumento das doses aplicadas, resultou em uma movimentação até o terceiro anel solo RQO (22,5 cm), segundo anel solo LAd (15 cm) e no solo LVAd o fósforo ficou retido no primeiro anel (7,5 cm).

LITERATURA CITADA

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19 ed. Washington: 1995. 874p.
- ANDRIOLI, I. **Efeitos da vinhaça em algumas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho Escuro textura média**. 1986. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Piracicaba.
- CARDOSO, A.N. **Influência da aplicação de vinhaça em propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, fase cerrado**. 1988. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Piracicaba.
- CEREDA, M. P. **Resíduos da industrialização da mandioca no Brasil**. São Paulo: Paulicéia. 1994. 174 p.
- COSTA, S.N.; MARTINEZ, M.A.; MATOS, A.T.; RAMOS, V.B.N. 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.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- FIORETTO, R.A., SANTOS, J. R., BICUDO, S. J. Manipueira na fertirrigação: efeito sobre a produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.). **Revista Brasileira de Mandioca**. Cruz das Almas, v.16, n.2, p 149-156. dez. 1997.
- FIORETTO, R.A. Uso da manipueira em fertirrigação. In: CEREDA, M. P. (ed.). **Resíduos da industrialização da mandioca no Brasil**. São Paulo: Paulicéia, 1994, p. 51-80.

- FRANCO, A.; PONTE, J. J. Subsídios à utilização da manipueira como nematicida: dosagem e interferência na fertilidade do solo. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v.12, p 35-45. 1988.
- FREIRE, F. C. O. **Uso da manipueira no controle do oídio da serigueleira: resultados e preliminares**. Fortaleza: EMBRAPA, 2001. 3p. (Comunicado Técnico, 70)
- GARCIA, G. O. **Alterações químicas, físicas e mobilidade de íons no solo decorrentes da aplicação de água residuária da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro conilon**. 2003. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**: São Paulo: CERES, 1985. 492p.
- LEONEL, M.; CEREDA, M.P. Variabilidade de uso da manipueira como substrato de processo biológico. I: Caracterização do substrato armazenado a temperatura ambiente. **Revista Brasileira de Mandioca**. Cruz das Almas. BA. V.15. n1/2, p 7-14. Nov. 1996.
- MAZZA, J.A. **Variações em algumas propriedades de solos com cana-de-açúcar (*saccharum spp.*) tratados com doses maciças de vinhaça**. 1985. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Piracicaba.
- NORMANHA, E. S. **Derivados da mandioca: terminologia e conceitos**. Campinas: Fundação Cargill, 1982. 56p.
- NUNES, M. R.; LEAL, J. R.; VELLOSO, A. C. Efeito da vinhaça na lixiviação de nutrientes do solo III. Potássio, Cálcio e Magnésio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n. 3, p. 371-374, 1982.
- PONTE, J. J.; TORRES, J.; FRANCO, A. Investigações sobre uma possível ação nematicida da manipueira. **Fitopatologia Brasileira**, v. 4, p.431-434, 1979.
- PONTE, J. J. **Cartilha da manipueira: Uso do composto como insumo agrícola**. Fortaleza: Secretaria de Ciência e Tecnologia, 1999. 53p.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo. Piracicaba: Ceres/Potafos. 1991. 343 p.

- RESENDE, J.O. **Conseqüências da aplicação de vinhaça sobre algumas propriedades físicas e químicas de um solo aluvial (Estudo de Um Caso)**. 1979. 112 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba:
- RHOADES, I. D. Soluble Salts. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis: part 2. chemical and microbiological properties**. 2. ed. Madison : American Society of Agronomy / Soil Science Society of American, 1982. cap. 10. p. 167-179.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: Department of Agriculture, 1954. 160p. (USDA Agricultural Handbook, 60)
- RUIZ, H. A. **Métodos de Análises Físicas do Solo**. Viçosa –MG: UFV, 2003. 22 P. (Apostila)
- RUMP, H. H.; KRIST, H. **Laboratory manual for the examination of water, wastewater, and soil**. Weinheim: VCH, 1992. 190 p.
- SENA, E. E.; PONTE, J. J. A manipueira no controle da meloidoginose da cenoura. **Publicação da Sociedade Brasileira Nematologia**, Piracicaba, v. 6. p. 95-98. 1982.
- SENGIK, E.; RIBEIRO, A. C.; CONDÉ, A. R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de dois solos de Viçosa (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, p. 11-15, 1988.
- SILVA, F. F.; FREITAS, P. S. L.; BERTONHA, A. Variação da carga orgânica do efluente de fecularia de mandioca. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2002, Bahia. **Resumos...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002.
- VIEIRA, R. F.; RAMOS, M. M. Fertirrigação. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa: Imprensa Universitária. 1999. 359 p.

DESLOCAMENTO MISCÍVEL USANDO ÁGUA RESIDUÁRIA DO PROCESSAMENTO DE MANDIOCA EM COLUNAS DE PERCOLAÇÃO PREENCHIDAS COM MATERIAL DE TRÊS SOLOS

Resumo: Objetivando determinar os fatores de retardamento e os coeficientes de dispersão-difusão dos íons potássio, sódio, cálcio e magnésio presentes em maior concentração na água residuária de fecularias (manipueira), quando utilizada na fertirrigação, realizou-se um experimento em laboratório utilizando colunas de percolação. As colunas foram preenchidas com materiais de três classes de solos do estado de Minas Gerais, isto é, Neossolo Quartzarênico órtico espódico (RQo), Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd) e Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico (LVAd). Relativamente aos teores de argila, os solos classificam-se na ordem: RQo < LAd < LVAd. As amostras dos solos foram retiradas da camada de 0–20 cm. Os valores dos fatores de retardamento foram mais altos para o sódio no solo RQo, cálcio e magnésio no solo LAd e potássio no solo LVAd. Os baixos valores dos fatores de retardamento e coeficientes dispersivo-difusivos dos íons sódio, potássio, cálcio e magnésio presentes na manipueira, semelhante ao que se observa em testes usando soluções desses íons com água destilada como solvente, evidenciam a influência do material orgânico presente na água residuária do processamento de mandioca, tanto do ponto de vista de uma redução na porosidade do solo quanto de uma possível complexação dos íons magnésio e cálcio com a matéria orgânica no perfil.

Palavras-chave: Água residuária, fatores de retardamento, coeficiente de dispersão - difusão

MISCIBLE DISPLACEMENT USING THE CASSAVA PROCESSING WASTEWATER IN PERCOLATION COLUMNS FILLED WITH MATERIAL FROM THREE SOILS

Abstract: Aiming at the determination of the retardation factors and the dispersion-diffusion coefficients of potassium, sodium, calcium and magnesium ions found at higher concentration in cassava wastewater upon its use in fertirrigation, an experiment was carried out under laboratory conditions, by using percolation columns. The columns were filled with materials from three soil classes in Minas Gerais State: Spodic Orthic Quartzarenic Neosol (RQo), Typic Dystrophic Yellow Latosol (LAd), and Typic Dystrophic Yellowish Red Latosol (LVAd). In relation to clay contents, the soils are classified as RQo <LAd <LVAd. The soil samples were removed from 0-20 cm layer. The values of the retardation factors were higher for sodium in the RQo soil, calcium and magnesium in the LAd soil, and potassium in the LVAd soil. The low values of the retardation factors and the diffusive-dispersive coefficients of the ions sodium, potassium, calcium and magnesium found in the cassava wastewater, similar to that observed in the tests using solutions of these ions with distilled water as solvent, emphasize the influence of the organic material found in the cassava wastewater processing, either under the viewpoint of a reduction in the soil porosity and a possible complexation of the ions magnesium and calcium with the organic matter in the profile.

Keywords: Wastewater, retardation factor, dispersive-diffusive coefficient.

INTRODUÇÃO

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

As preocupações com os impactos ambientais crescem à medida que os resíduos agroindustriais vêm sendo utilizados na agricultura, como forma de compatibilizar sua destinação final com as necessidades de fertilizantes das culturas (Matos, 1995). Dentre as diversas águas residuárias que têm sido aplicadas ao solo, merece destaque a manipueira, oriunda das indústrias de fecularias e casas de farinha de mandioca.

A manipueira como uma água residuária, se por um lado apresenta atributos favoráveis do ponto de vista do uso agrícola como fonte de nutrientes para as plantas, por outro, pode constituir danos ao solo e às plantas caso seja utilizada sem levar em consideração critérios técnicos para sua aplicação. Um excesso de íons no solo, notadamente de monovalentes, pode influenciar negativamente nas características físicas e químicas, podendo provocar a dispersão de argilas e o desbalanceamento nutricional nas plantas ou, até mesmo, direta toxicidade.

Uma preocupação refere-se à lixiviação dos íons pelas águas de chuva e irrigação podendo vir a contaminar tanto corpos de águas superficiais quanto subterrâneas (Matos et al., 1996; Ponte, 1999; Vilas Boas et al., 2001).

No Brasil, essa preocupação reveste-se de especial importância, pois a utilização de resíduos industriais na agricultura tem sido feita, em muitos casos, de modo indiscriminado. A recomendação para o descarte de resíduos no meio ambiente deve ser precedida de estudos detalhados dos efeitos decorrentes da adsorção de íons pela fração coloidal do solo e da mobilidade desses íons no perfil (Alcântara e Camargo, 2001).

A mobilidade dos íons no solo pode ser avaliada por meio de tecnologias inerentes ao deslocamento de fluidos miscíveis e aos recursos computacionais. Modelos físico-matemáticos resultantes de soluções da equação diferencial de transporte de solutos no solo, quando ajustados a dados experimentais oriundos

de ensaios de lixiviação ou de eluição em colunas de solo em laboratório e no campo por meio de programas computacionais, constituem ferramenta poderosa por possibilitarem a caracterização da mobilidade desses solutos no solo com base na dispersão, difusão e retardamento desses solutos relativamente ao avanço das frentes de molhamento no perfil (Ferreira, 2003).

O presente trabalho teve por objetivos determinar os fatores de retardamento, coeficientes dispersivos-difusivos e as concentrações residentes dos íons cálcio, magnésio, sódio e potássio usando a água residuária do processamento de mandioca nas colunas de percolação preenchidas com material de três solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e caracterização física e química da água residuária

Foram coletadas amostras de água residuária por ocasião do processamento da mandioca para fabricação do polvilho, em abril de 2003, no município de Consolação, região sul do estado de Minas Gerais. A caracterização física e química da água residuária foi realizada no Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. As análises químicas consistiram na quantificação de: cálcio e magnésio, por espectrofotometria de absorção atômica e potássio e sódio, por fotometria de chama (Rump e Krist, 1992). As análises físicas foram constituídas pela quantificação das concentrações de: sólidos sedimentáveis (SP), determinados em cone de Imhoff e de sólidos totais (ST), após secagem em estufa a 110°C, por 24 horas (APHA, 1995).

As amostras de Neossolo Quartzarênico órtico espódico (RQo), Latossolo Amarelo Distrófico típico (LAd) e Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico (LVAd), foram coletadas nas camadas superficiais (0-20 cm). Esses materiais foram secados ao ar e, após, passados em peneira de malha de 2 mm e analisados química e fisicamente no Laboratório de Água e Solo do Departamento de Engenharia Agrícola e Física do Solo do Departamento de Solos, da UFV, seguindo os métodos descritos pela EMBRAPA (1997 e 1999) e Ruiz (2003).

Tabela 1- Classificação e localização dos solos no estado de Minas Gerais

Identificação	Classe textural	Localidade	Coordenadas
RQo	Areia	Itutinga - Usina Hidrelétrica de Furnas	21°18'19"S 44°36'46"W
LAd	Franco-arenosa	Distante a 5 km do município de Rosário	21°17'05"S 44°50'18"W
LVAd	Muito argilosa	Viçosa	20°45'76"S 42°52'49"W

A caracterização física incluiu a análise granulométrica, a densidade do solo pelo método da proveta, a densidade das partículas pelo método do balão volumétrico, a porosidade total, a macro e a microporosidade, a condutividade hidráulica em meio saturado, utilizando permeâmetro de carga constante e a retenção de água a -10 e -1.500 kPa (Ruiz, 2003) (Tabela 2).

As análises químicas incluíram as determinações de pH em água, de potássio e de sódio trocáveis por fotometria de emissão de chama após extração com extrator Mehlich-1, de cálcio e de magnésio trocáveis por espectrofotometria de absorção atômica após extração com solução de cloreto de potássio 1 mol L^{-1} , de alumínio trocável por titulação após extração com solução de cloreto de potássio 1 mol L^{-1} , de $\text{H} + \text{Al}$ por titulação após extração com solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, de fósforo disponível por colorimetria após extração com extrator Melihch-1 e de carbono orgânico pelo método de Walkley-Black modificado (EMBRAPA, 1997 e 1999) (Tabela 2).

As concentrações dos íons de potássio, sódio, magnésio e cálcio solúveis na manipueira foram $464,12$, $312,20$, $43,98$ e $19,64 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. As concentrações dos sólidos na manipueira foram de: sedimentáveis (SP) 50 mL L^{-1} e totais (ST) de $11,9 \text{ mg L}^{-1}$.

Tabela 2 - Caracterização física e química dos materiais dos três solos

Característica	RQo	LAd	LVAd
Areia grossa (g kg ⁻¹)	660	350	190
Areia fina (g kg ⁻¹)	250	390	70
Silte (g kg ⁻¹)	20	90	40
Argila (g kg ⁻¹)	70	170	700
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	1,47	1,26	1,03
Densidade das partículas (kg dm ⁻³)	2,57	2,53	2,52
Porosidade total (dm ³ dm ⁻³)	0,43	0,50	0,60
Macroporosidade (dm ³ dm ⁻³)	0,22	0,16	0,20
microporosidade (dm ³ dm ⁻³)	0,21	0,34	0,40
Condutividade hidráulica (cm h ⁻¹)	68,1	7,2	37,8
Retenção de água (kg kg ⁻¹)			
- 10 kPa	0,06	0,17	0,32
- 1.500 kPa	0,02	0,08	0,18
pH em água (1:2,5)	5,07	5,37	4,84
Potássio (cmol _c kg ⁻¹)	0,07	0,11	0,07
Sódio (cmol _c kg ⁻¹)	0,05	0,10	0,09
Cálcio (cmol _c kg ⁻¹)	0,57	1,21	0,67
Magnésio (cmol _c kg ⁻¹)	0,14	0,33	0,24
Alumínio (cmol _c kg ⁻¹)	6,2	3,6	3,1
H + Al (cmol _c kg ⁻¹)	2,79	2,87	11,22
Fósforo (mg kg ⁻¹)	6,80	2,10	2,50
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	7,4	6,3	13,1

Com o material de cada solo foram construídas três colunas de percolação, sendo 30 cm de espessura, usando segmentos de tubo de PVC de 7,5 cm de diâmetro interno e 40 cm de comprimento (Figura 1). Na extremidade inferior da coluna foi colocada uma camada de 0,5 cm de areia (granulação 0,5-1,0 mm). Objetivando obter um perfil homogêneo as colunas foram preenchidas em incrementos de 3 cm. Cada incremento adicionado era misturado ao anterior empregando um misturador construído com um pequeno disco de madeira de

aproximadamente 7 cm de diâmetro, onde foram cravados vários pregos e, posteriormente, fixado a uma haste cilíndrica permitindo, assim, o movimento rotacional, com as mãos, ao misturar uma camada com a subsequente.



Figura 1 – Vista geral do experimento II – deslocamento miscível.

Procurando obter colunas de mesma densidade para cada material de solo, este era previamente pesado e acomodado nas colunas por meio de toques leves com um martelo de borracha até atingir 30 cm de comprimento.

A superfície do solo foi protegida com discos de lã de vidro para prevenir distúrbios durante a conexão ao frasco de Mariotte, contendo a manipueira.

O volume de poros das colunas de solo foi calculado empregando a relação

$$V_0 = \alpha V = \pi r^2 h \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_p}\right) \quad (1)$$

em que

V_0 - volume de poros (cm^3);

V - volume da coluna de solo (cm^3);

α - porosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

r : raio interno da coluna (cm);

h : espessura da coluna de solo (cm);

ρ_s : massa específica do solo (g cm^{-3}); e

ρ_p : massa específica das partículas do solo (g cm^{-3}).

Foram utilizados dois frascos de Mariotte sendo um contendo água destilada e o outro a manipueira. Inicialmente, interligou-se à coluna o frasco com água destilada até passar, aproximadamente, um volume de poros, mantendo-se uma lâmina de 4 cm acima da superfície. A seguir, desconectou-se o frasco contendo a água destilada e, após a completa infiltração da lâmina de água, interligou-se ao frasco de Mariotte contendo a manipueira mantendo-se, também, a lâmina de 4 cm sobre a superfície.

Foram aplicados três volumes de poros da manipueira recolhendo-se, continuamente, 21 alíquotas do efluente de 0,15 volume de poros, as quais foram acondicionadas em recipientes plásticos, com tampa, e congeladas para análises posteriores. Determinaram-se as concentrações de sódio e potássio, por fotometria de emissão de chama e cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica (EMBRAPA, 1999). Conhecendo as concentrações do potássio, cálcio, magnésio e sódio no efluente (C), calcularam-se as concentrações relativas (C/Co) para cada íon, sendo Co a concentração dos íons na manipueira.

O fluxo foi calculado empregando

$$q = \frac{V_e}{A t} = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

em que

q – fluxo (cm min⁻¹);

Ve – Volume de efluente (cm³);

A – área da seção transversal da coluna (cm²);

t – intervalo de tempo para coletar o volume Ve (h); e

Q - vazão (cm³ h⁻¹).

A velocidade média de percolação da manipueira, vp (cm h⁻¹), foi calculada para cada solo, pela relação

$$v_p = \frac{q}{\alpha} \quad (3)$$

Em que α é a porosidade ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Com as relações entre concentração relativa e número de volume de poros, obtiveram-se as curvas experimentais de efluente e concentração residente para cada íon e solo.

Os fatores de retardamento e os coeficientes dispersivos-difusivos foram calculados utilizando-se o programa computacional Disp-1.1, desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV (Borges e Ferreira, 2003), com o qual pode-se ajustar soluções matemáticas da equação diferencial de transporte de massa de solutos no solo equação (4) à curva experimental de efluente

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} \quad (4)$$

em que

- R – fator de retardamento, adimensional;
- C – concentração do soluto, g L^{-1} ;
- t – tempo, h;
- x – distância à superfície do solo, cm;
- D – coeficiente dispersivo-difusivo, $\text{cm}^2 \text{ h}^{-1}$; e
- v – velocidade média de escoamento, cm h^{-1} .

Ao ajustar modelos teóricos aos dados experimentais, o programa computacional imprime os valores do coeficiente de retardamento, coeficiente dispersivo-difusivo e número de Peclet que resultam no menor R_s , isto é, soma dos mínimos quadrados dos resíduos, equação (5)

$$R_s = \sum_{i=1}^n \left[\frac{C}{C_o}(L, p) - \frac{C}{C_{oe}}(L, p) \right]^2 \quad (5)$$

em que

- n - número de observações ou alíquotas;
- C/Co: concentrações relativas, experimentais;
- C/Coe: concentrações relativas, estimada;
- L: espessura da coluna de solo, cm; e
- p: número de volume de poros.

Os dados relativos à coluna e ao escoamento como comprimento da coluna, fluxo, concentração do soluto, porosidade total, número de volume de poros e concentração relativa, constituem parâmetros de entrada no programa, enquanto o coeficiente dispersivo-difusivo (D), fator de retardamento (R) número de Peclet (P) e as curvas de efluente e eluição e de concentração residente constituem os de saída.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características volume de poros, fluxo e velocidade média de avanço da solução nas colunas preenchidas com os três solos, encontram-se apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Características físicas, fluxo e velocidade de avanço nas colunas de solos quando submetidas à percolação com água residuária bruta, em laboratório

Propriedades físicas	Classes de solo		
	RQo	LAd	LVAd
Volume de poros (cm ³)	570	663	782
Fluxo (cm h ⁻¹)	10,14	9,26	1,79
Velocidade de avanço (cm h ⁻¹)	23,58	18,52	3,03

Analisando-se os dados apresentados na Tabela 3, verifica-se coerência das características densidade do solo, porosidade e volume de poros (Tabela 2) com a classificação textural dos solos, isto é, valores menores para o solo RQo e maiores para o LVAd. Os resultados mostrados na Tabela 3 relativos ao fluxo e à velocidade de avanço em meio saturado, estão, também, coerentes com as propriedades acima mencionadas além de sugerirem macroporosidades decrescentes dos solos RQo, LAd e LVAd, em razão dos valores decrescentes, nesta ordem, do fluxo e da velocidade de avanço da solução. A acentuada redução verificada no fluxo e na velocidade de avanço nas colunas de percolação

preenchidas com o solo LVAd, pode ter sido também conseqüente de obstruções de poros por materiais orgânicos em suspensão na manipueira.

Na Tabela 4 e nas Figuras 2 a 4 estão apresentados os resultados obtidos do programa Disp-1.1. Quando a velocidade de avanço é maior, para passar um mesmo número de volume de poros, o tempo de contato entre os solutos e os colóides do solo diminui podendo resultar em menores valores do fator de retardamento (R), considerando-se uma mesma mineralogia e superfície específica das partículas do solo.

O fator de retardamento de um soluto no solo pode ser considerado uma defasagem entre a velocidade de avanço do soluto e aquela da solução percolante e, portanto, nutrientes que apresentam menor fator de retardamento são os mais móveis no solo.

O deslocamento das curvas de efluentes para a direita representa a existência de interação solo-soluto, ou seja, retardamento do soluto, em relação ao avanço da solução. Quanto maior for esse deslocamento, maior será o fator de retardamento.

Na Tabela 4 estão apresentados os valores dos coeficientes dispersivo-difusivo e do fator de retardamento para os íons potássio, cálcio, magnésio e sódio, nos ensaios de deslocamento miscível, com os três solos.

Tabela 4 - Coeficientes dispersivo-difusivos e fatores de retardamento dos íons potássio, cálcio, magnésio e sódio para os três solos estudados

Solos	Coeficiente dispersivo-difusivo (cm ² h ⁻¹)				Fator de retardamento			
	Potássio	Cálcio	Magnésio	Sódio	Potássio	Cálcio	Magnésio	Sódio
RQo	124,8	98,2	99,3	62,7	1,74	1,28	1,69	1,83
LAd	30,7	34,6	34,7	42,1	1,52	2,00	2,00	1,58
LVAd	6,1	3,5	8,6	6,7	2,39	1,18	2,37	2,36

O fator de retardamento, por ser uma característica que retrata a capacidade do solo em reter os solutos à medida que o fluxo de massa avança, depende das

interações entre as fases líquida e sólida que ocorrem durante a percolação. Os menores valores de R foram encontrados para os íons: magnésio no solo Neossolo Quartzarênico órtico espódico (RQo), Na e K para o solo Latossolo Amarelo distrófico (LAd) e Ca para o solo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (LVAd), respectivamente.

Os dados obtidos demonstram que nas colunas de solo LVAd os valores de R foram, em geral, maiores, refletindo a maior capacidade de adsorção deste solo. Nas colunas dos outros dois solos os maiores fatores de retardamento foram para o íon sódio, no solo RQo, e para os íons cálcio e magnésio, no solo LAd.

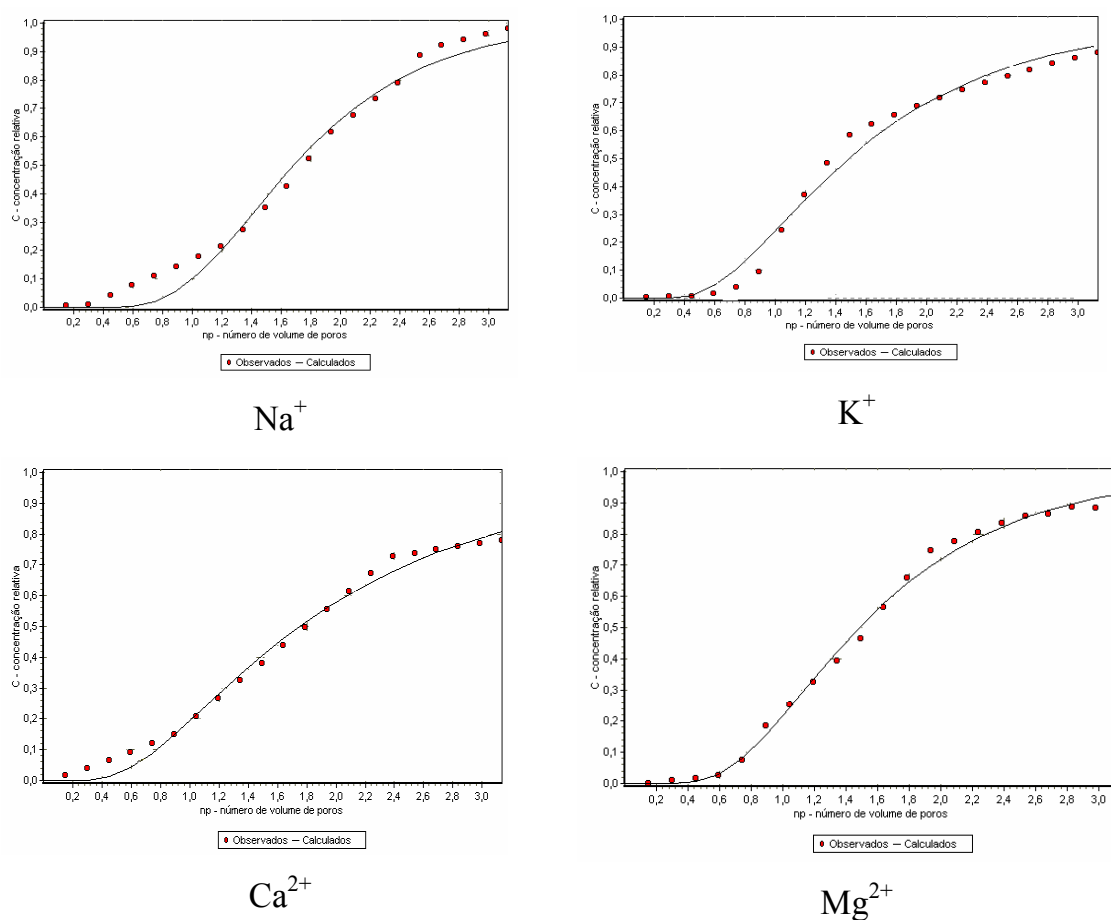


Figura 2 – Curvas de efluente para o sódio, potássio, cálcio e magnésio trocáveis, ajustadas às curvas experimentais utilizando-se o programa computacional Disp-1.1, para o solo de textura arenosa (RQo).

O solo LVAd, de textura muito argilosa, possui alta capacidade de adsorção de íons e, portanto, os maiores valores de R para os íons potássio, magnésio e sódio que são os cátions presentes em maiores concentrações na manipueira.

Merece destaque a ocorrência do valor do fator de retardamento para o cálcio, no LAd ser quase o dobro (Tabela 4) quando comparado com os valores dos outros dois solos.

Os valores de R menores para o solo RQo estão coerentes com a menor CTC e maior velocidade de avanço, proporcionando menor tempo de interação íon-colóide. Porém, para os íons sódio e potássio os valores de R foram relativamente baixos, podendo esses resultados serem devidos à maior presença destes íons na manipueira e, ou ao material sólido presente na água residuária ocasionando obstruções de poros do solo, resultando numa maior interação íon-colóide.

Estes resultados estão também evidenciados pelo maior deslocamento das curvas de efluente para a direita nas Figuras 2, 3 e 4, para estes íons. Estes resultados assemelham-se aos encontrados por Rao et al. (1980) e sugerem que a magnitude do desvio para direita representa a adsorção na superfície dos colóides, a qual está relacionada com a reatividade do íon com o meio poroso.

É importante lembrar que ao suprir as necessidades nutricionais de determinada cultura com a aplicação de fertirrigação usando água residuária como fonte de nutrientes, deve-se preocupar com a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas pela movimentação dos íons, tendo-se em conta que um maior fator de retardamento significa menor mobilidade do íon no solo e, conseqüentemente, menor probabilidade de contaminação de águas freáticas. Nesse sentido, ensaios de deslocamento miscível podem ser úteis ao manejo da fertilização, no sentido de minimizar as perdas de nutrientes por percolação profunda, ao serem aplicadas tais águas. O comportamento dos íons nos solos estudados alerta para este fato. Outro dado importante ao determinar a lâmina de água residuária a aplicar por irrigação, é a concentração do íon mais presente. No caso da manipueira o potássio foi o macronutriente considerado.

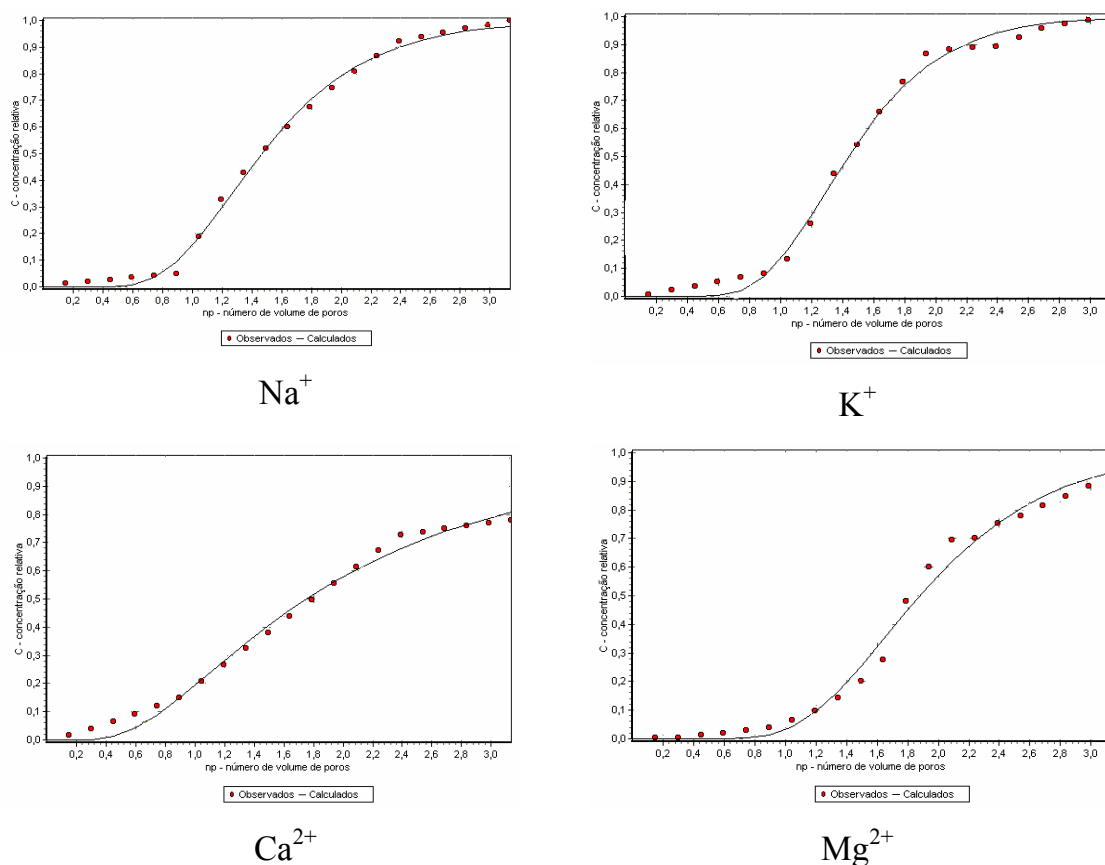


Figura 3 – Curvas de efluente para o sódio, potássio, cálcio e magnésio trocáveis, ajustadas as curvas experimentais utilizando-se o programa computacional Disp-1.1, para o solo de textura média (LAd).

Para uma mesma velocidade de avanço da solução, um maior coeficiente de dispersão-difusão manifesta-se na menor inclinação da curva de efluente, conseqüente do alargamento da faixa de mistura entre as soluções deslocadora e deslocada no perfil do solo, tornando os acréscimos da concentração relativa (C/C_0) baixos com o passar do tempo (Nielsen e Biggar, 1962; Alvarez et al., 1985).

Os valores do D para o solo de textura arenosa (RQo) foram os mais altos para todos os íons estudados (Tabela 4). Este solo, em razão de sua granulometria, apresenta maior proporção de macroporos, acentuando o caráter errático do movimento do fluido deslocador na interface deslocador-deslocado em escoamento em meio saturado. Quando se compara o solo LAd com o LVAd, texturas média e argilosa, respectivamente, verificaram-se maiores valores de D para o LAd, a velocidade de avanço foi cerca de seis vezes maior.

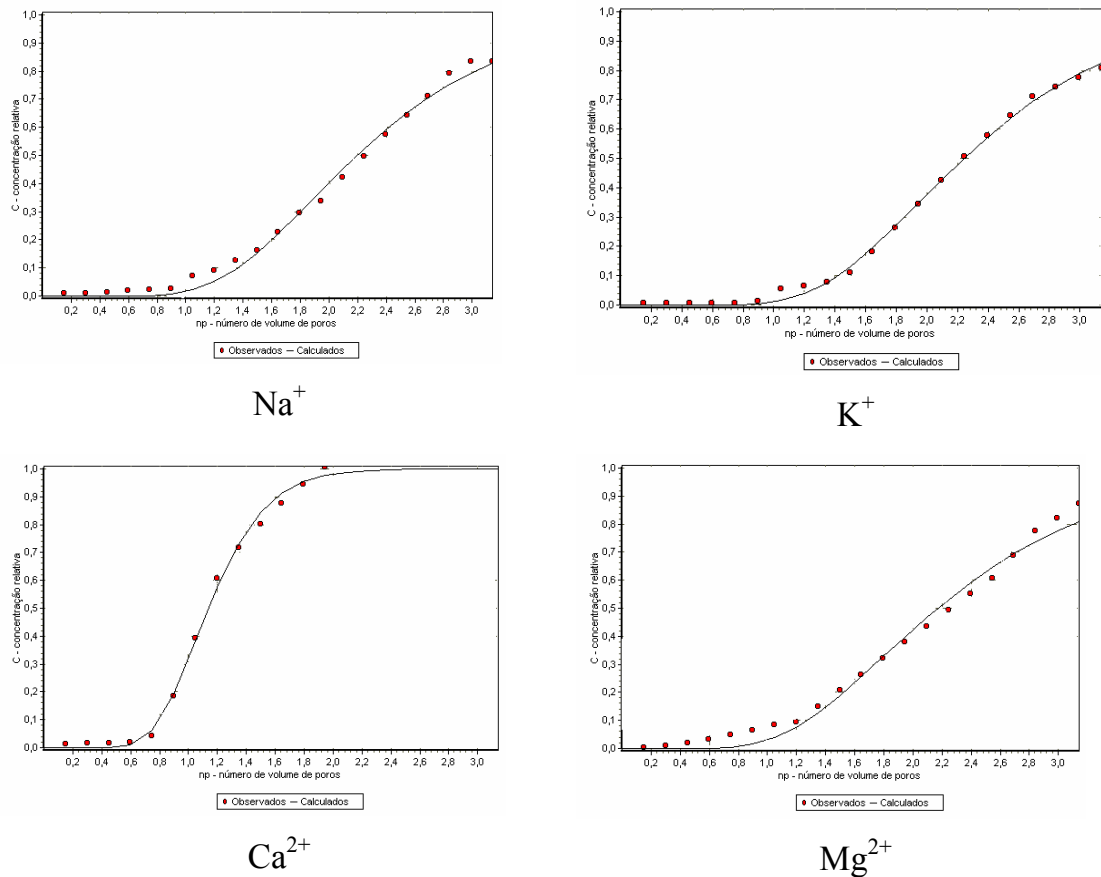


Figura 4 – Curvas de efluente para o sódio, potássio, cálcio e magnésio trocáveis, ajustados as curvas experimentais utilizando-se o programa computacional Disp-1.1, para o solo de textura argilosa (LVAd).

Matos (1995) verificou que a propriedade física que melhor explicou a variação em D para zinco, cádmio, cobre e chumbo foi a velocidade de avanço da solução através da seção de escoamento formada por macroporos. O mesmo autor ressaltou a importância da macroporosidade em estudos de dispersão-difusão de metais no solo.

O comportamento das curvas de efluente para potássio, de maneira geral, assemelhou-se ao do sódio (Figuras 2 a 4). No solo RQo verificam-se curvas com maiores declividades e altos incrementos da relação C/C_0 com aumento no número de volume de poros. Isso se deve à menor interação desse íon com a fração coloidal do solo, em razão da baixa capacidade de troca catiônica.

O ajustamento da função A-2, programada no Disp-1.1, aos dados experimentais de concentração residente de potássio, permitiu a obtenção das curvas de balanço de massa ou concentração residente desse íon no perfil do solo (Figuras 5 e 6).

A apresentação dos resultados apenas para o potássio se deve ao fato de ser o íon presente em maior concentração na manipueira e de apresentar alta mobilidade no solo, isto é, aquele com, possivelmente, maior propensão para contaminar lençol freático raso.

As curvas de concentração residente apresentada na Figura 5 mostram o avanço do potássio no perfil do solo 1,0, 2,0 e 7,5 horas, de duração do teste. Vale ressaltar que após 7,5 horas a concentração iônica residente, C_r , ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), ao longo da coluna de solo de 30 cm, é constante e igual àquela presente na manipueira.

A Figura 6 apresenta os perfis simulados de concentração residente do potássio para o tempo de 7,5 horas até 1,20 m de profundidade de perfil do solo.

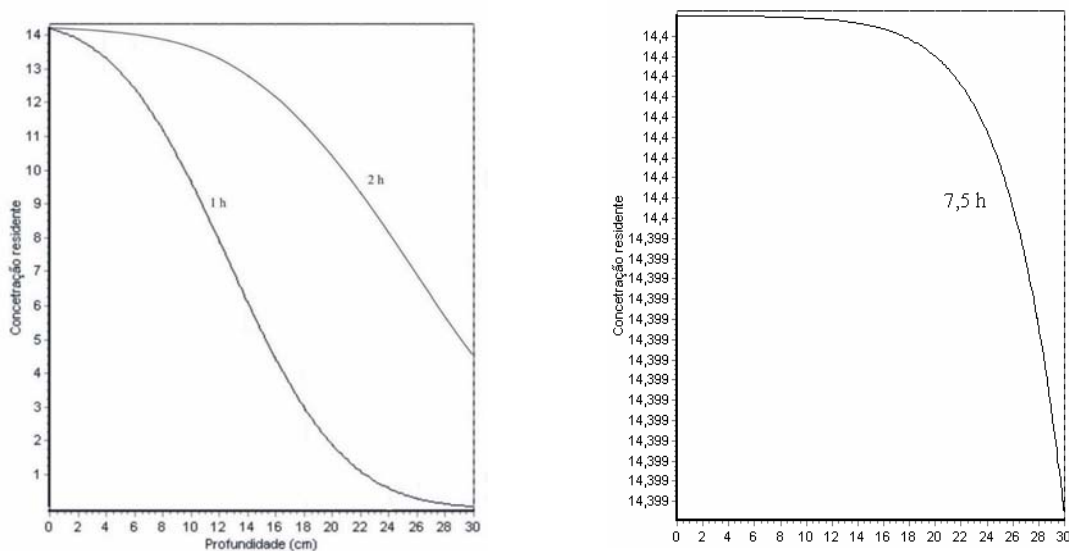


Figura 5. Perfis de concentração residente (mg L^{-1}) (CR) do íon potássio, em função da profundidade do solo e tempos 1 e 2 horas (esquerda) e 7,5 h (direita), para o solo de textura média (LAd).

Na Figura 6 está mostrado que até 0,60 m de profundidade a concentração do potássio é quase constante ao longo do perfil do solo, enquanto que com a profundidade de 1,20 m, com o mesmo tempo de aplicação da manipueira de 7,5 horas, não foi suficiente para o íon potássio atingir esta profundidade.

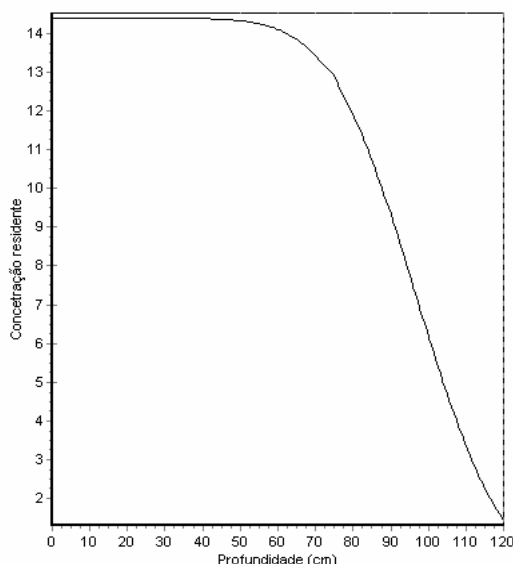


Figura 6. Perfil de concentração residente (CR), $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, para o potássio em função da profundidade de 120 cm para o tempo de teste de 7,5 horas para o solo de textura média (LAd).

CONCLUSÕES

1. Os valores dos fatores de retardamento foram mais altos para o sódio, no solo RQo, cálcio e magnésio, no solo LAd, e potássio, no solo LVAd.
2. Os baixos valores dos fatores de retardamento e coeficientes dispersivo-difusivo dos íons sódio, potássio, cálcio e magnésio, presentes na manipueira, relativamente ao que se observa em testes usando soluções destes íons com água destilada como solvente, evidenciam a influência do material orgânico presente na água residuária do processamento de mandioca, tanto do ponto de vista de um bloqueio na porosidade do solo quanto de uma possível complexação destes íons com a matéria orgânica, no perfil.

LITERATURA CITADA

- ALCÂNTARA, M. A. K.; CAMARGO, A. Fator de retardamento e coeficiente de dispersão-difusão para o crômio (III) em solos muito intemperizados, influenciados pelo pH, textura e matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 25, p. 209-216. 2001.
- ALVAREZ, J.; HERGUEDAS, A.; ATIENZA, J.; BOLADO, S. **Modelización numérica y estimación de parámetros para la descripción del transporte de solutos en columnas de suelo en laboratorio**. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, 1995. 69p.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington: APHA, 1995. 874p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- BORGES JR., J. C. F.; FERREIRA, P. A. **Disp-1.1** - Programa computacional aplicável ao cálculo dos parâmetros de transporte de solutos no solo em deslocamento de fluidos miscíveis. Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. (Programa em fase de testes). 2003.
- FERREIRA, P.A. **Manejo de água planta em solos salinos**. Viçosa (MG): UFV, 2003. 111p.
- MATOS, A. T.; BRASIL, M. S.; FONSECA, S. P. P. **Aproveitamento de efluentes líquidos domésticos e agroindustriais na agricultura**. In: II ENCONTRO DE PRESERVAÇÃO DE MANANCIAS DA ZONA DA MATA MINEIRA, Viçosa, 2003, **Anais...**, Viçosa, 2003. p.25-79.
- MATOS, A. T.; SEDIYAMA, M, A, N.; VIDIGAL, S. M. Características químicas, físicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de compostos orgânicos ou dejetos líquidos de suínos. In: I SEMINÁRIO

- MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS, Ponte Nova, 1995, **Anais...**, Viçosa, 1996. p.33-34.
- MATOS, A. T. **Fatores de retardamento e coeficiente de dispersão-difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos do Município de Viçosa-MG.** Viçosa: 1995. 110 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa.
- NIELSEN, D.R., BIGGAR, J. W. Missible displacement: III Theoretical considerations. **Soil Science Society of American Proceeding**, v.26, p. 216-221, 1962.
- PONTE, J. J. **Cartilha da manipeira: Uso do composto como insumo agrícola.** Fortaleza: Secretaria de ciência e tecnologia, 1999. 53p.
- RAO, P.S.C.; ROLSTON, D.E.; JESSUP, R.E.; DAVIDSON, J.M. Solute transport in aggregated porous media: theoretical and experimental evaluation. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, p.1139-1146, 1980.
- RUIZ, H. A. **Métodos de análises físicas do solo** Viçosa –MG: UFV, 2003. 22p. (Apostila).
- RUMP, H. H.; KRIST, H. **Laboratory manual for the examination of water, wastewater, and soil.** Weinheim: VCH, 1992. 190 p.
- VILAS BOAS, E. V. B., LIMA, L. C. O., BRESSAN, M. C., BARCELOS, M. F. P., PEREIRA, R. G. F. A. **Manejo de Resíduos da Agroindústria.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2001, p. 81-95.

CONCLUSÕES GERAIS

12. O potássio trocável aumentou exponencialmente com as doses crescentes de manipueira aplicadas aos solos RQo e LAd, com aumento e ajuste do modelo quadrático para o solo LVAd.
13. O sódio e magnésio trocáveis aumentaram linearmente com as doses crescentes de manipueira aplicadas aos três solos.
14. O cálcio trocável aumentou linearmente com as doses crescentes de manipueira aplicadas aos solos RQo e LVAd, não houve efeito para o solo LAd.
15. O fósforo disponível aumentou linearmente com as doses crescentes de manipueira aplicadas aos solos RQo e LVAd, com aumento exponencial para o solo LAd.
16. Para o carbono orgânico, solo RQo houve efeito quadrático com as doses crescentes de manipueira. A concentração decresceu até aproximadamente $275 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, aumentando em seguida. Sem ajuste de modelo para o solo LAd e aumento linear para o solo LVAd.
17. O alumínio trocável aumentou linearmente com as doses crescentes de manipueira aplicadas ao solo LVAd.
18. A condutividade elétrica aumentou linearmente com as doses crescentes de manipueira aplicadas aos solos LAd e LVAd, com aumento e ajuste do modelo hiperbólico 2 para o solo RQo.
19. Para o grau de floculação e o equivalente de umidade, não houve efeito para os três solos com as doses crescentes de manipueira.
20. Os maiores acréscimos de bases trocáveis ocorreram nos primeiros anéis, região de maior contato entre os constituintes da manipueira e o complexo de troca, favorecendo a adsorção de íons pelo solo.
21. Com o aumento das doses aplicadas observou-se uma maior lixiviação do potássio, sódio, cálcio e magnésio na seguinte ordem: solo RQo > LAd > LVAd, com exceção do fósforo que ficou retido nos primeiros 15 cm das colunas para os três solos.

22. Para o fósforo o aumento das doses aplicadas, resultou em uma movimentação até o terceiro anel solo RQO (22,5 cm), segundo anel solo LAd (15 cm) e no solo LVAd o fósforo ficou retido no primeiro anel (7,5 cm).
23. Os valores dos fatores de retardamento foram mais altos para o sódio, no solo RQo, cálcio e magnésio, no solo LAd, e potássio, no solo LVAd.
24. Os baixos valores dos fatores de retardamento e coeficientes dispersivo-difusivo dos íons sódio, potássio, cálcio e magnésio, presentes na manipueira, relativamente ao que se observa em testes usando soluções destes íons com água destilada como solvente, evidenciam a influência do material orgânico presente na água residuária do processamento de mandioca, tanto do ponto de vista de um bloqueio na porosidade do solo quanto de uma possível complexação destes íons com a matéria orgânica, no perfil.

APÊNDICE

Tabela 1A – Médias dos teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio trocáveis e de fósforo disponível considerando as doses de manipueira para os três estudados

Solo	Doses de manipueira (m³ ha⁻¹)					ŷ
	0	85	170	340	510	
Sódio trocável (cmol_c kg⁻¹)						
RQo	0,050	0,146	0,096	0,159	0,293	0,149
LAd	0,090	0,145	0,199	0,255	0,306	0,199
LVAd	0,082	0,147	0,209	0,213	0,416	0,213
Potássio trocável (cmol_c kg⁻¹)						
RQo	0,062	0,126	0,143	0,191	0,450	0,194
LAd	0,158	0,157	0,245	0,305	0,525	0,278
LVAd	0,134	0,146	0,178	0,218	0,357	0,206
Cálcio trocável (cmol_c kg⁻¹)						
RQo	0,574	0,627	0,644	1,360	1,202	0,881
LAd	1,336	1,292	2,026	2,449	2,135	1,848
LVAd	0,936	0,936	0,909	1,503	1,476	1,152
Magnésio trocável (cmol_c kg⁻¹)						
RQo	0,142	0,208	0,267	0,439	0,504	0,312
LAd	0,365	0,424	0,570	0,809	0,806	0,595
LVAd	0,322	0,401	0,498	0,754	0,806	0,556
Fósforo disponível (mg kg⁻¹)						
RQo	9,164	10,424	10,044	13,205	14,406	11,449
LAd	2,321	2,901	3,561	6,002	9,564	4,870
LVAd	1,941	2,101	2,381	2,861	4,062	2,669

Tabela 2A – Médias dos teores de alumínio trocável, pH, CE, carbono orgânico, argila dispersa, grau de floculação e equivalente de umidade considerando as doses de manipueira para os três solos estudados

Solo	Doses de manipueira (m ³ ha ⁻¹)					ŷ
	0	85	170	340	510	
Alumínio trocável (cmol_c kg⁻¹)						
RQo	2,450	2,300	1,497	0,647	0,653	2,450
LAd	3,600	3,420	2,173	1,810	1,567	2,514
LVAd	3,090	2,653	2,520	1,823	1,880	2,393
pH						
RQo	5,040	5,483	5,740	6,190	6,553	5,601
LAd	5,737	5,887	6,040	6,363	6,647	6,135
LVAd	4,807	5,013	5,127	5,310	5,460	5,143
Carbono orgânico (g kg⁻¹)						
RQo	7,431	3,116	3,208	2,219	8,097	4,814
LAd	6,297	10,460	8,274	10,803	5,903	8,347
LVAd	13,149	13,359	12,796	16,120	16,907	14,466
Condutividade elétrica (mS cm⁻¹)						
RQo	1,65	1,69	1,82	2,08	2,63	1,97
LAd	1,74	2,16	2,68	3,21	3,73	2,70
LVAd	2,10	2,55	2,55	2,52	3,40	2,62
Grau de floculação						
RQo	0,974	0,890	0,974	0,925	0,920	0,937
LAd	0,776	0,782	0,786	0,789	0,749	0,776
LVAd	0,888	0,886	0,891	0,894	0,886	0,889
Equivalente de umidade						
RQo	0,077	0,081	0,302	0,072	0,197	0,146
LAd	0,155	0,164	0,169	0,172	0,170	0,166
LVAd	0,340	0,251	0,334	0,323	0,319	0,313

Tabela 3 A – Análise de variância do teor de sódio, potássio, carbono orgânico (C Org) e grau de floculação (GF) para os três solos estudados

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		Na	K	CO	GF
Solo	2	0,017226 **	0,030623 **	357,7035 **	1031,511
Manipueira/RQo	4	0,025109 **	0,067621 **	22,36694 **	40,37141
Manipueira/LAd	4	0,022016 **	0,069127 *	15,50901 **	10,04196
Manipueira/LVAd	4	0,047129 **	0,024398 *	10,82924 **	0,314939
Resíduo	30	0,000046	0,002402	0,050954	9,159041
CV (%)		3,63	21,67	2,45	3,49

* e ** significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 4 A– Análise de variância do teor cálcio e magnésio para os solos RQo e LVAd

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio	
		Ca	Mg
Solo	1	0,5509751 **	0,447778 **
Manipueira/RQo	4	0,4105889 **	0,070958 **
Manipueira/LVAd	4	0,2854502 **	0,137636 **
Resíduo	20	0,0069164	0,001040
CV (%)		8,18	7,43

** Significativo a 1% pelo teste F.

Tabela 5 A – Análise de variância do teor de cálcio e magnésio para o solo LAd

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio	
		Ca	Mg
Manipueira/LAd	4	0,7847462	0,1296179 **
Resíduo	10	0,3451235	0,0127898
CV (%)		31,794	19,017

** Significativo a 1% pelo teste F.

Tabela 6 A – Análise de variância do teor de fósforo, condutividade elétrica (CE) e pH para os solos RQo e LAd

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		P	CE	pH
Solo	1	324,5880 **	39967,47 **	0,833333 **
Manipueira/RQo	4	15,05548 **	4897,301 **	1,050810 **
Manipueira/LAd	4	26,55060 **	19034,23 **	0,407477 **
Resíduo	20	0,243315	121,3289	0,001970
CV (%)		6,05	4,71	0,74

** Significativo a 1% pelo teste F.

Tabela 7 A – Análise de variância do teor de fósforo, condutividade elétrica (CE) e pH para o solo LVAd

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		P	CE	pH
Manipueira/RQo	4	2,184307 **	6712,824 **	0,193933 **
Resíduo	10	0,011049	15,32227	0,000300
CV (%)		3,938	1,493	0,337

** Significativo a 1% pelo teste F.

Tabela 8 A – Análise de variância do teor de alumínio para os solos LAd e LVAd

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
		Al
Solo	1	0,109203 **
Manipueira/LAd	4	2,632007 **
Manipueira/LVAd	4	0,868050 **
Resíduo	20	0,001583
CV (%)		1,62

** Significativos a 1% pelo teste F.

Tabela 9 A – Análise de variância do teor de alumínio para o solo RQo

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		Al	
Manipueira/LAd	4	23,60824 **	
Resíduo	10	0,008385	
CV (%)		3,091	

** significativos a 1%, pelo teste F.

Tabela 10 A – Análise de variância de equivalente de umidade para cada um dos três solos estudados, individualmente

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		RQo	LAd	LVAAd
Manipueira	4	0,0308286	0,0001341	0,0038640
Resíduo	10	0,0396086	0,0001619	0,0063318
CV (%)		136,34	7,66	25,38