



TRANSPORTE DE CÁTIÕES NO PERFIL DO SOLO SOB A INFLUÊNCIA DE CHUVAS INTENSAS

Luiz Gustavo Andreguetto¹, Adilson Pinheiro², Vander Kaufmann³ e Nilza Maria do Reis Castro⁴

Resumo: A água constitui importante vetor de transporte de poluentes. Em áreas agrícolas a ocorrência de chuvas intensas gera a percolação da água no perfil do solo, provocando a lixiviação de espécies químicas. A estrutura do solo condiciona a evolução temporal das concentrações na água de drenagem, podendo variar em função do tipo de solo. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da intensidade da chuva no transporte de cátions em dois tipos de solos, Latossolo e Cambissolo, sob diferentes tipos de uso. Foram utilizados lisímetros volumétricos de drenagem para simulação do escoamento de drenagem no perfil do solo e simulador de chuva para produção de chuvas com diferentes intensidades. O escoamento de drenagem foi medido e amostras de água foram coletadas para determinação dos cátions NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ . Os resultados mostraram que a diferença de intensidade não se constituiu em fator determinante para o transporte de solutos no solo. Para os íons Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ o fator determinante para o transporte esteve relacionado ao manejo do solo.

Palavras-chave: Degradação ambiental. Solo agrícola. Poluentes do solo.

1 Introdução

As práticas agrícolas, tais como aplicação de corretivos do solo, fertilizantes, pesticidas, uso de efluentes e biossólidos, têm se destacado por propiciar um aumento significativo de determinados elementos químicos no perfil do solo (ACOSTA et al., 2011). Estas técnicas, quando utilizadas indiscriminadamente e sem nenhum controle podem desencadear na degradação do solo e conseqüentemente nas águas que por ele escoam.

A capacidade de acumulação ou mobilidade de diversas espécies químicas no solo é diretamente influenciada por processos físicos, químicos e biológicos (ZUQUETTE; SILVA; GARCIA, 2008). Os fatores que controlam o destino final de um elemento, isto é, se ele irá precipitar como uma fase insolúvel ou será adsorvido na superfície de outra fase ou vai ser liberado, transportado e, eventualmente absorvido pelas plantas, depende essencialmente das condições geológicas, climáticas, físico-químicas e biológicas (BINI et al., 2011; HADDAD et al., 2013). Além desses fatores naturais, aspectos como a gestão histórica e atual do uso do

solo, interagem nas vias de transporte de espécies químicas (NIELSEN et al., 2012).

Com isso, substâncias poluentes podem ser dissolvidas na água e estarão sujeitas a mecanismos de transporte através do solo. Ressalta-se ainda que a água é o principal agente transportador de poluentes no perfil do solo (COUTINHO DE OLIVEIRA et al., 2013).

Dentre os principais atributos físicos que influenciam no mecanismo de transporte, incluem-se a distribuição relativa do tamanho de poros do solo, seu grau de saturação com água e a quantidade de água que percola no perfil do solo, a qual depende da quantidade e intensidade das chuvas e da capacidade de retenção de água pelo solo. Os principais aspectos químicos são a concentração da solução no solo, o pH, a capacidade de troca de cátions, as reações de dissolução/precipitação e as trocas iônicas entre os nutrientes que estão na solução com aqueles da fase sólida durante o processo de transporte (BOLZANI; OLIVEIRA; LAUTENSCHLAGER, 2012).

Alguns autores destacam que as condições climáticas, altura e intensidade da precipitação são as principais causas do

¹E-mail: luiz.andreguetto@gmail.com

²E-mail:pinheiro@furb.br

FURB - Universidade Regional de Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. CAMPUS II - Complexo Tecnológico. Rua São Paulo, 3250 – Itoupava Seca. CEP 89.030-000 - BLUMENAU - SC, Brasil

³E-mail: ambitec@bol.com.br

⁴E-mail: nilza@iph.ufrgs.br

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p. 57-66, jul./dez. 2014

movimento dos poluentes no perfil do solo (FERNANDES et al., 2013). Durante a incidência das chuvas quando o solo ainda não atingiu a condição de saturação e quando a taxa de infiltração supera a de precipitação, a água se move em direção aos lençóis freáticos, representando o processo de lixiviação (BOLZANI; OLIVEIRA; LAUTENSCHLAGER, 2012).

Além disso, os efeitos destes fatores são frequentemente interdependentes. No entanto, é importante entender os efeitos de múltiplos fatores sobre os padrões e processos de infiltração, a fim de compreender corretamente e prever o impacto de diferentes usos do solo, especialmente à luz de sua influência sobre a qualidade da água (HUANG; WU; ZHAO, 2013).

Hagenau e Borg (2003), avaliando em laboratório a concentração de cloretos lixiviados em diferentes tipos de solo após a aplicação de diferentes taxas de precipitação por aspersão, observaram que não é apenas a quantidade de água aplicada que determina a quantidade de solutos percolados, mas também a intensidade de sua aplicação. Com isso eles observaram que a quantidade relativa de solutos recuperada foi maior nas simulações de intensidade mais baixa. Eles relatam ainda, que este fator está diretamente ligado ao tamanho dos poros.

Um meio poroso é constituído em sua maioria de pequenos poros, onde estão presentes aproximadamente 90% dos solutos. Microporos possuem proporcionalmente maior área de superfície e, conseqüentemente, mais solutos ligados a eles. Assim, uma determinada quantidade de água lixivia mais solutos quando percorre pelos pequenos poros, sendo necessário para que isso ocorra uma baixa intensidade de aplicação. Por essa razão, a concentração de solutos encontrada no escoamento de drenagem é maior em baixas intensidades de precipitações do que em altas. Intensidades elevadas tendem a provocar o escoamento nos macroporos onde a concentração de solutos é mais baixa. Deste modo as concentrações tendem a diminuir com o aumento do conteúdo de água no perfil do solo. Baixos conteúdos de água no solo geram transportes de solutos com concentrações mais elevadas (HAGENAU; BORG, 2003).

O conhecimento da mobilidade de um elemento exógeno em determinado ambiente é de importância no que diz respeito à sua biodisponibilidade e conseqüentemente o potencial risco de degradação ambiental que ele exerce. Desse modo, tem-se como

objetivo deste estudo, a avaliação do movimento dos íons sódio, amônio, potássio, magnésio e cálcio (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , e Ca^{2+}) com relação à intensidade de precipitação em diferentes tipos de solo.

2 Material e métodos

2.1 Área de estudo

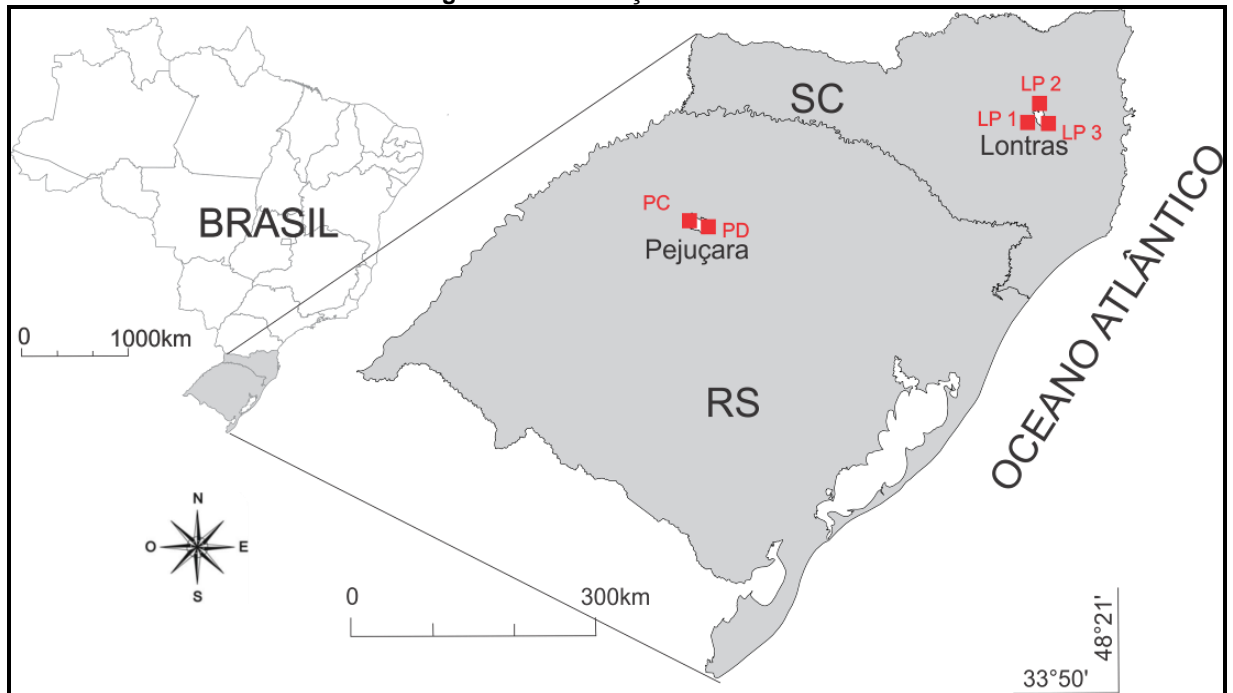
Foram utilizados cinco lisímetros, dois na bacia do rio Potiribu, no município de Pejuçara, RS, e três na bacia do ribeirão Concórdia, no município de Lontras, SC. A Figura 1 representa a espacialização dos lisímetros na região sul do Brasil. A escolha desses locais se deve ao fato de que estas são bacias experimentais que já dispunham de equipamentos de monitoramento hidrológico.

Os tipos de solos e culturas cultivadas no interior dos lisímetros são os mesmos da área onde estes estão inseridos. Análises com relação aos tipos de solos contidos nos lisímetros estudados, assim como o tipo de manejo de cada local encontram-se apresentadas na Tabela 1.

O lisímetro PD recebe esta denominação em função do tipo de cultivo realizado sobre o solo, neste caso o plantio direto que se caracteriza pela pouca mobilização do solo. Ao contrário deste lisímetro, o PC, com sistema de semeadura convencional, caracteriza-se pela alta mobilização do solo. Os três lisímetros pertencentes à bacia do ribeirão Concórdia apresentam os seguintes manejos, LP1 – cultivo de milho com muita mobilização; LP2 – rotação de culturas, também com muita mobilização; e LP3 – pastagem, sem mobilização.

O manejo do solo em cada lisímetro, durante o período experimental se deu da seguinte forma, PD – sistema plantio direto (mantido a mais de 10 anos), com abertura de sulco e adubação de superfosfato triplo (STP); PC – sistema convencional com revolvimento do solo e adubação de STP; LP1 – sistema convencional, com revolvimento no plantio e aplicação de adubação básica STP, adubação de cobertura com ureia no período de desenvolvimento da cultura e pousio durante o inverno; LP2 – sistema convencional, com revolvimento do solo e adubação de cobertura com ureia e nitrato de sódio e pousio durante o inverno; LP3 – pastagem perene, sem adubação.

Figura 1 - Localização dos lisímetros



Fonte: Autores (2014)

Tabela 1 - Caracterização do lisímetro referente ao tipo de solo, uso e manejo

Lisímetro	Bacia Hidrográfica	Tipo de solo	Uso do solo	Manejo do solo
PD	Potiribu	Latossolo Vermelho distroférico	Cultivo de cereal no verão e aveia no inverno	Pouca mobilização
PC	Potiribu	Latossolo Vermelho distroférico	Cultivo de cereal de cobertura no inverno e de grãos no verão.	Muita mobilização
LP1	Concórdia	Cambissolo háplico alumínico típico	Cultivo de cereal no verão e pousio no inverno	Muita mobilização
LP2	Concórdia	Cambissolo háplico alumínico típico	Cultivo de hortaliça no verão e pousio no inverno	Muita mobilização
LP3	Concórdia	Cambissolo háplico alumínico típico	Pastagem perene	Sem mobilização

PD - lisímetro bacia Potiribu com sistema de semeadura direta; PC - lisímetro bacia do Potiribu com sistema de semeadura convencional; LP1- lisímetro bacia Concórdia Milho; LP2 - lisímetro bacia Concórdia rotação de cultura; LP3 - lisímetros bacia Concórdia pastagem.

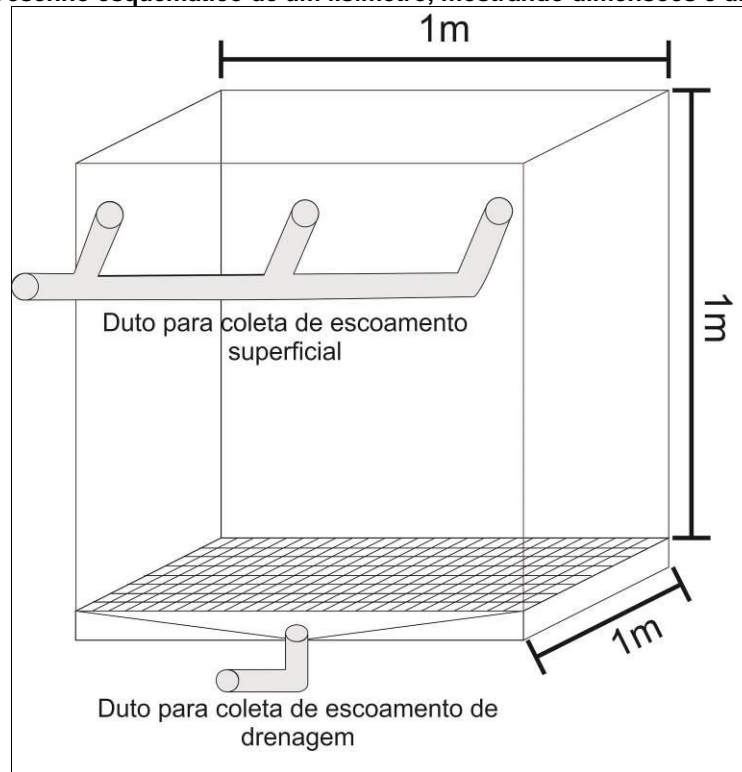
Fonte: Autores (2014)

2.2 Dispositivo experimental

Os lisímetros volumétricos de drenagem são constituídos por uma amostra indeformada de 1,0 m³ (Figura 2), isolada do seu entorno, com sistema de coleta das águas de escoamento superficial e do escoamento de drenagem. Apesar de terem sido instalados

em datas diferentes, para cada bacia, os lisímetros são exatamente iguais entre si em termos de métodos e materiais de construção e instalação. A caracterização da textura, densidade e porosidade do solo de cada lisímetro utilizados neste estudo, foram realizadas por Kaufmann et al. (2014) (Tabela 2).

Figura 2 - Desenho esquemático de um lisímetro, mostrando dimensões e divisão interna



Fonte Autores (2014)

Tabela 2 - Características dos lisímetros: Composição granulométrica, massa específica e porosidade

Lisímetro	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Densidade (g/cm ³)	Porosidade
PD	32,21	11,60	56,19	1,57	0,53
PC	24,59	22,91	52,49	1,09	0,57
LP1	35,16	49,96	14,89	1,39	0,45
LP2	15,55	59,65	24,89	1,55	0,46
LP3	9,13	32,73	57,92	1,45	0,44

PD - lisímetro bacia Potiribu com sistema de semeadura direta; PC - lisímetro bacia do Potiribu com sistema de semeadura convencional; LP1- lisímetro bacia Concórdia Milho; LP2 - lisímetro bacia Concórdia rotação de cultura; LP3 - lisímetros bacia Concórdia pastagem.

Fonte: Kaufmann et al. (2014)

2.3 Simulador de chuva

Foram realizadas 39 simulações, distribuídas entre os cinco lisímetros com diferentes intensidades de precipitação. As intensidades de chuvas aplicadas variaram entre 29,6 e 124,0 mm h⁻¹, sendo que para os lisímetros presentes na bacia do ribeirão Concórdia (LP1, LP2 e LP3) estas intensidades variaram de 35,4 a 124,0 mm h⁻¹. Já para os lisímetros presentes na bacia do Potiribu (PC e PD) tiveram as intensidades variando de 29,6 a 116,5 mm h⁻¹.

O equipamento de simulação de chuva utilizado foi semelhante ao descrito por Meyer e Harmon (1979), com bico aspersor

Veejet 80-100. A precipitação ao longo das simulações foi determinada por pluviógrafo instalados junto ao lisímetro. O registro dos dados é estabelecido para ocorrer a cada 1 min e a medição da intensidade da precipitação se deu em tanque de alumínio, em formato quadrado, com 1,10 m em suas laterais, 0,10 m de altura e 0,001 m de espessura, posicionado sobre o lisímetro, após o término do ensaio.

Os ensaios foram realizados com diferentes condições da superfície do solo: condições iniciais; aveia nos lisímetros das bacias do Potiribu; pousio nos lisímetros na bacia do ribeirão Concórdia; solo mobilizado

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p. 57-66, jul./dez. 2014

na superfície, simulando uma condição de preparo convencional para alguns locais.

As intensidades foram diferenciadas em baixas (0 -75 mm.h⁻¹), médias (76 – 100 mm.h⁻¹) e altas (superiores a 100 mm.h⁻¹).

2.4 Análise das cargas transportadas

Para a determinação das concentrações das espécies químicas utilizou-se cromatógrafo de troca iônica. Foi utilizada a coluna de separação catiônica juntamente com supressora e detector de condutividade. As condições de análise da amostra foram: Injeção da amostra: 10 µL; Temperatura: 30°C; Taxa de fluxo: 1,2 mL min⁻¹; Eluente: Na₂CO₃ 4,5 mM/NaHCO₃ 1,4 mM; Condutividade esperada: 19 – 23 µS; Supressor: aniônico auto regenerante; Solução estoque: NaHCO₃ 100 mM; Corrente aplicada: 31 mA. As curvas de calibração foram realizadas com padrões certificados, utilizando-se 5 pontos na faixa de 1 a 10 mg L⁻¹ com leitura em quintuplicata. A leitura das amostras foi realizada em triplicata. O método da cromatografia iônica é baseado nas normas estabelecidas pela USEPA - Method 300.0 (PFAFF, 1993) e USEPA - Method 300.1 (HAUTMAN; MUNCH, 1997).

As cargas transportadas pelo escoamento superficial e de drenagem representam a massa exportada para o exterior da amostra indeformada do solo (KAUFMANN et al., 2014). Cada ensaio de simulação, cuja duração foi de 75 minutos, teve sua carga determinada e calculada através da equação 1.

$$F = \sum_{i=1}^n C_i Q_i \Delta t \quad (1)$$

onde,

F - fluxo de massa da espécie química considerado no ensaio de simulação de chuva realizado;

C_i - concentração da espécie química na amostra *i*;

Q_i - vazão do escoamento de água durante a coleta da amostra *i*;

Δt - intervalo de tempo entre as amostras;

n - número de amostras coletadas.

As cargas transportadas pelo escoamento de drenagem foram relacionadas com a intensidade das chuvas aplicadas em cada simulação, de modo a avaliar a influência deste fator sobre o transporte de cátions na massa líquida. Neste caso, as massas transportadas foram moduladas pela intensidade.

2.5 Análise estatística

Os dados foram analisados utilizando-se estatística descritiva, desvio padrão, média, significância e variância, além de testes de ANOVA com multivariáveis e teste de Tukey com 5% de significância.

3 Resultados e discussão

Para as diversas intensidades simuladas, foram analisadas as concentrações de cinco espécies químicas (NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺) transportadas pelo escoamento de drenagem nos lisímetros (Tabela 3). Também são apresentados os resultados do teste de Tukey (*p* ≤ 0,05) para comparação das concentrações médias das espécies químicas transportadas pelo escoamento de drenagem e, comparadas às concentrações de cada espécie química obtidas em cada lisímetro.

Tabela 3 - Concentração (mg L⁻¹) média das espécies químicas no escoamento de drenagem nos lisímetros

Lisímetro	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
PD	1,38 ^a	0,22 ^a	2,56 ^a	1,24 ^{a,b}	5,76 ^a
PC	2,17 ^a	1,01 ^b	5,18	2,17 ^a	9,06 ^b
LP1	7,96 ^b	1,15 ^b	2,03 ^{a,b}	4,51 ^c	10,55 ^b
LP2	6,21 ^b	0,35 ^a	1,20 ^{b,c}	5,03 ^c	14,31
LP3	1,46 ^a	0,23 ^a	0,66 ^c	0,75 ^b	4,85 ^a

Letras iguais, na coluna, representam que as séries são estatisticamente semelhantes (*p* ≤ 0,05).

Fonte: Autores (2014)

O íon amônio foi o que apresentou as menores concentrações no escoamento de

drenagem, ao contrário do cálcio que apresentou os maiores valores, variando entre

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p. 57-66, jul./dez. 2014

4,85 e 14,31 mg.L⁻¹. Diversos fatores podem influenciar no transporte de espécies químicas pelo escoamento de drenagem. A textura do solo destaca-se entre esses fatores, pois a retenção física, em função do tamanho de partícula, exerce forte influência sobre a capacidade de suporte do solo (LUCHESE et al., 2008). Coelho et al. (2000), avaliando o transporte do amônio em colunas com agregados de um Latossolo Vermelho distrófico, verificaram maiores valores de fatores de retardamento de NH₄⁺ em agregados de menores tamanhos. O íon amônio é menos lixiviado por ser adsorvido pelas cargas negativas do solo que, em geral, são as predominantes (COELHO et al., 2007).

Kaufmann et al. (2014), avaliando o transporte de compostos de nitrogênio pelo escoamento da água em solos agrícolas na região Sul do Brasil, reportaram que o nitrogênio na forma de amônio apresenta maiores concentrações nas águas do escoamento superficial do que em escoamento de drenagem.

Com relação ao íon cálcio, Li-Xian et al. (2007), avaliando o potencial risco de salinização do solo através do uso intensivo de esterco de animal como adubação,

determinaram que o Ca²⁺ é facilmente lixiviável em condições de campo simulado. Este íon encontra-se no complexo de troca fracamente adsorvidos, podendo ser deslocado por outros cátions e, assim, ser lixiviado (LUCHESE et al., 2008).

Outro fator importante na lixiviação de um soluto é com relação a sua condição inicial no solo e a quantidade aplicada. A concentração de alguns cátions está estritamente ligada a sua formação geológica (ACOSTA et al., 2011).

Outra possibilidade de análise propiciada por este estudo é com relação ao fluxo de massa transportada. Estes valores de cargas transportadas mostram o potencial de contribuição dos escoamentos aos corpos de águas superficiais e subterrâneos. Ressalta-se ainda sua importância pelo fato de que o escoamento de drenagem alimenta os corpos de águas subterrâneos, os quais alimentam os cursos de água em períodos com ausência de precipitação (KAUFMANN et al., 2014). Na Tabela 4 são apresentados os fluxos de massa dos cinco solutos analisados transportados pelos escoamentos de drenagem.

Tabela 4 - Cargas (kg ha⁻¹ ano⁻¹) transportadas pelos escoamentos de drenagem

Lisímetro	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Média	0,504	0,067	0,220	0,299	0,890
Máxima	2,614	0,531	1,153	1,230	2,729
Baixa intensidade	0,313	0,027	0,103	0,183	0,552
Alta intensidade	0,846	0,139	0,429	0,506	1,494
Pouca mobilização	0,147*	0,025	0,221	0,106*	0,523*
Muita mobilização	0,704	0,091	0,219	0,407	1,096

* Diferença estatísticas ($p \leq 0,05$) entre alta e baixa intensidade e entre muita e pouca mobilização.

Fonte: Autores (2014)

As diferentes intensidades testadas, altas (superiores a 100 mm.h⁻¹) e baixas (inferiores a 75 mm.h⁻¹), não influenciaram as massas transportadas, já a análise das condições de pouca e muita mobilização de solo mostraram influências quando relacionados aos solutos sódio, magnésio e cálcio. Os menores valores de cargas transportadas foram observados nos lisímetros com pouca mobilização, PD na bacia do Potiribu e LP3 na bacia do ribeirão Concórdia.

Silva, J.C.A., Andrade e Silva, I.F (2006) avaliando o efeito do manejo do solo sobre a infiltração da água em três tipos diferentes de cultivo, convencional (muita mobilização), plantio direto e plantio direto

com quandu (pouca mobilização), observaram que todos os sistemas de manejo apresentaram altas taxas de infiltração, sendo que o convencional foi aquele com os maiores valores iniciais de infiltração.

Com isso, percebe-se que, quanto menor a velocidade de avanço da solução na coluna de solo, maior é o tempo de contato entre os íons e os colóides do solo, promovendo maior oportunidade de retenção dos solutos, causando aumento no fator de retardamento (SANTOS et al., 2010). Segundo Pereira et al. (2000), a pouca mobilização do solo identificado nos sistemas de plantio direto, propicia a ele um elevado aumento na taxa de matéria orgânica sugerindo que maior quantidade de cálcio pode ser retida em seu

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p. 57-66, jul./dez. 2014

complexo, fato que possivelmente interferiu nos resultados acima.

Tentando buscar um padrão de deslocamento dos solutos no perfil do solo, através da avaliação conjunta dos cinco lisímetros, percebe-se forte competição entre alguns íons no solo, fator esse preponderante para a liberação ou não de algumas espécies. O íon amônio apresentou baixas concentrações e cargas liberadas em todos os ensaios, respondendo quase sempre de forma decrescente. Além disso, o íon amônio apresentou uma acentuada redução de sua concentração nos dez primeiros minutos, sendo que quanto mais intensa a precipitação maior foi essa redução (Figura 3 – A).

Coelho et al. (2000) afirmam que a dispersão do amônio no solo é bastante controlada pelo fenômeno de difusão, fator dominante que controla a sua disponibilidade, permitindo assim que este ocupe as diversas estruturas do solo, macroporos e microporos. Ao contrário do que foi observado neste estudo, Santos et al. (2011), avaliando a dinâmica desse soluto no solo em sistemas agroflorestais, observaram que em períodos chuvosos, o amônio apresenta comportamento de elevada lixiviação. Por outro lado, essa dinâmica não é observada no estudo realizado por Coelho et al. (2000), indicando que na fase inicial de eluição ocorre um maior retardamento do NH_4^+ , certamente pela maior taxa de adsorção, no momento em que os sítios de adsorção ainda não estavam saturados por este cátion.

Analisando quatro diferentes intensidades, 48,7, 53,7, 69,3 e 124,0 mm h^{-1} simuladas no lisímetro LP1 (Figura 3 - B), constata-se que todas elas apresentam dois picos distintos de maior recuperação do íon potássio, sendo que nas intensidades mais baixas eles são mais destacados do que em intensidades mais elevadas. Segundo Ernani, Ribeiro e Bayer (2007), o aumento dos teores de K^+ trocável varia com o fluxo de água e com a densidade do solo, sendo que as maiores perdas ocorrem nas primeiras percolações. A difusão do potássio nos solos aumenta proporcionalmente com o aumento de água, ocasionando um deslocamento de cátions bivalentes, favorecendo sua retenção no complexo de troca (MATOS et al., 2013).

Diferente do íon potássio, os íons magnésio e cálcio apresentaram evolução de concentração decrescente, como se pode observar na Figura 3 (C) e (D). Em diferentes

intensidades de precipitação, os íons se comportaram da mesma maneira, tendo sua maior concentração já no início da coleta e decaindo com o passar do tempo. A rápida lixiviação de Ca^{2+} e Mg^{2+} é resultado da sua substituição por ação de massa, por outros cátions com maior atividade na solução do solo, como o K^+ (LUCHESE et al., 2008).

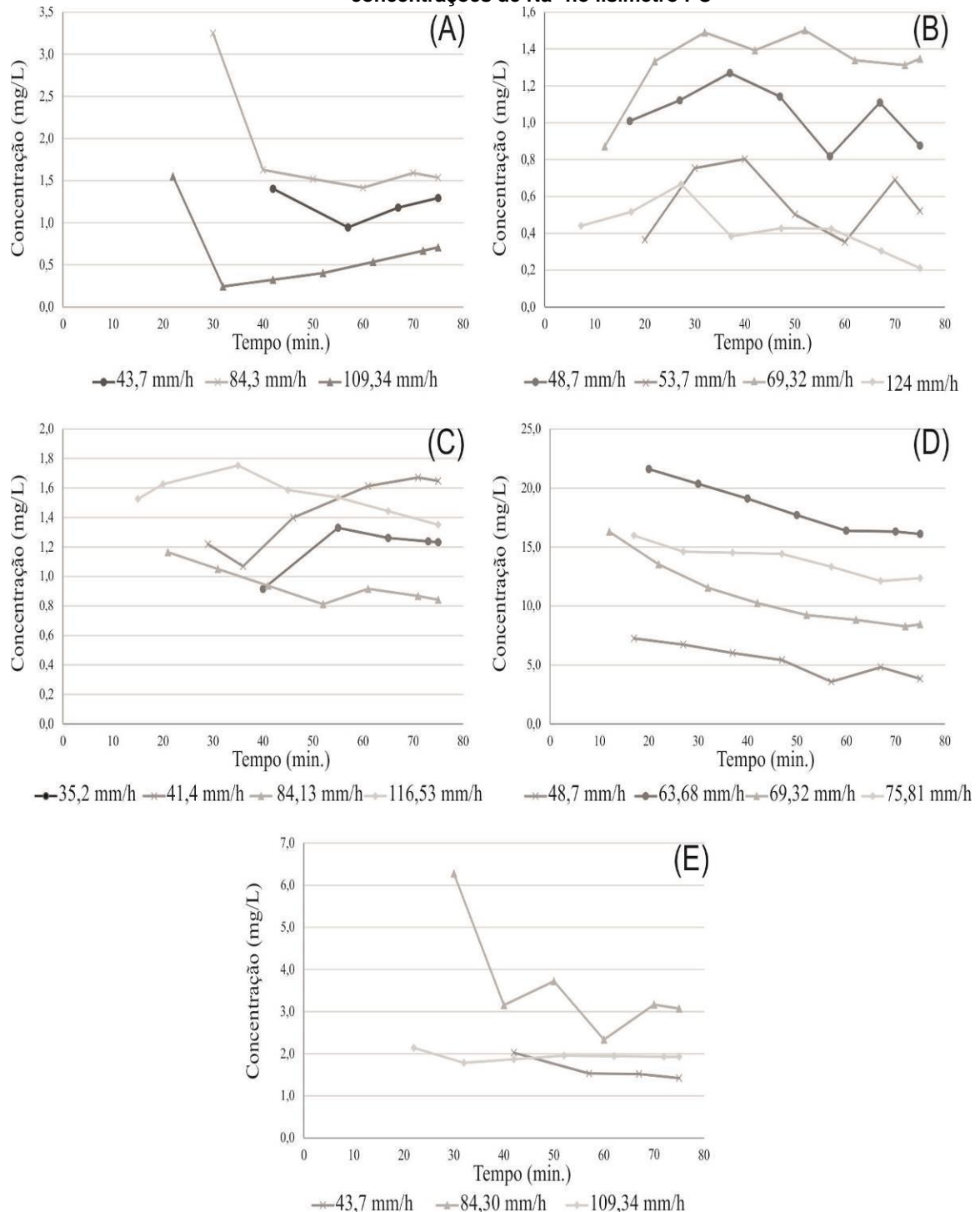
O íon sódio apresentou um padrão decrescente, tendo uma liberação expressiva já no início do escoamento de drenagem, nos 10 primeiros minutos, tendendo a uma estabilização após este período (Figura 3 - E). Luchese et al. (2008), avaliando a lixiviação de íons após a aplicação de resíduos orgânicos no solo, verificaram que aqueles que formam complexos de esfera externa e estão no complexo de troca fracamente adsorvidos (como é o caso do sódio), tiveram rápida lixiviação, podendo ser deslocados por outros cátions. Nesse sentido, as elevadas intensidades de precipitação liberaram, inicialmente, maior concentração do íon sódio devido ao seu fraco potencial de competição com os demais cátions presentes na solução do solo (MATOS et al., 2013).

Outro fator facilitador da rápida lixiviação do sódio é a presença de plantas. A ação física das raízes aumenta a condutividade hidráulica no solo. Além disso, a elevada atividade biológica das raízes aumenta a concentração de CO_2 na rizosfera e, em conjunto com a dissolução dos carbonatos auxiliam na remoção de parte do Na^+ trocável, deixando-o livre na solução para que seja lixiviado (CARMONA et al., 2010).

Estes aspectos são influenciados pela intensidade da precipitação e principalmente pela estrutura do solo. O tamanho dos poros desempenha papel importante na existência ou não de fluxo preferencial. Quando a solução que atravessa o solo passa por um caminho preferencial, os processos de transporte vão agir exclusivamente naquele local, lixiviando somente os solutos que ali se encontravam (WANG; ZHANG, 2011).

Segundo Hagenau e Borg (2003), eventos de elevadas intensidades fazem com que a água escoada atravesse o perfil do solo preferencialmente pelos macroporos. Deste modo, levando em conta que a maioria dos solutos presentes no solo encontra-se nos microporos, a concentração de solutos encontrada no escoamento de drenagem será menor num evento com elevada intensidade de precipitação.

Figura 3 - Evolução da concentração dos diferentes íons nos diferentes lisímetros: (A) concentrações de NH_4^+ no lisímetro PC; (B) concentrações de K^+ no lisímetro LP1; (C) concentrações de Mg^{2+} no lisímetro PD; (D) concentrações de Ca^{2+} no lisímetro LP1; (E) concentrações de Na^+ no lisímetro PC



Fonte: Autores (2014)

4 Conclusão

As simulações de diferentes intensidades de precipitação, a fim de verificar suas influências sobre o transporte de cátions

no perfil do solo, demonstraram-se representativas quando correlacionadas com valores já verificados para as regiões estudadas.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p. 57-66, jul./dez. 2014

Os valores das concentrações médias das espécies químicas no escoamento de drenagem corroborou diversos outros estudos demonstrando o antagonismo que existe na liberação de alguns solutos no solo, principalmente na correlação entre os cátions cálcio e amônio, pois verificou-se que o amônio foi o que apresentou os menores valores de concentração liberados e o cálcio os maiores.

Com relação às cargas transportadas, não foi verificada diferenças estatísticas entre as baixas e altas intensidades, demonstrando que este não foi o fator determinante nesse estudo para o transporte de solutos no solo.

Para os íons sódio, magnésio e cálcio, o estudo apontou, estatisticamente, que o fator determinante para o seu transporte

esteve relacionado ao manejo do solo, sendo que a maior carga transportada encontrou-se em solos que receberam maior interferência no seu sistema de cultivo.

Através da análise da evolução das concentrações dos solutos foi possível verificar alguns padrões de transporte de determinados íons. Mas devido ao modelo experimental que não previa a repetição de mesmas intensidades, não foi possível confirmar tais deslocamentos.

O fenômeno de transporte de solutos no solo demonstrou-se complexo e dependente de um número grande de variáveis, como características físicas, químicas e biológicas do solo, eventos climáticos, tipo de cobertura e tipo de manejo exercido no solo.

5 Transport of cations in the soil profile under the influence of heavy rains.

Abstract: *The water constitutes an important vector of transport of pollutants. In agricultural areas the occurrence of heavy rainfall raises the water percolation in the soil profile, causing leaching of chemical species. The structure determines the time evolution of the drainage water and may vary depending on the type of soil. This study aimed evaluated the influence of rain intensity in the transport of cations in a Latosol and a Cambisol, with different types of land use. Drainage volumetric lysimeters were used to simulate the drainage flow in the soil profile and a rain simulator to produce rains with different intensities. The drainage flow was measured and water samples were collected to determine the concentration of the cations NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ and Na^+ . The results showed that the intensity difference does not constitute a determining factor for the transport of solutes in soil. For Ca^{2+} , Mg^{2+} and Na^+ the determining factor for the transport was the soil management.*

Keywords: Agricultural land. Environmental degradation. Soil pollutants.

6 Referências

ACOSTA, J.A.; MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, S.; FAZ, A.; AROCENA, J. Accumulations of major and trace elements in particle size fractions of soils on eight different parent materials. **Geoderma**. v. 161, n.1-2, p. 30-42, 2011.

BINI, C.; SARTORI, G.; WAHSHA, M.; FONTANA, S. Background levels of trace elements and soil geochemistry at regional level in NE Italy. **Journal of Geochemical Exploration**. v. 109, p. 125-133, 2011.

BOLZANI, H.R.; OLIVEIRA, D.L.A.; LAUTENSCHLAGER, S.R. Efeito da aplicação de água residuária de suinocultura no solo e na qualidade dos seus lixiviados. **Eng Sanit Ambient**. v.17, n.4, p. 385-392, 2012.

CARMONA, F. DE C.; ANGHINONI, I.; HOLZSCHUH, M. J.; ANDRIGHETTI, M. H. Cation dynamics in soils with different salinity levels

growing irrigated rice. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.1851-1863, 2010.

COELHO, F. C; RUIZ, H. A.; FERREIRA, P. A.; FRANÇA, G. E. DE; ARAUJO, C. A. DE S.; DUARTE, M. A. Transporte do amônio em colunas com agregados de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p. 362-367, 2000.

COELHO, F.C.; RUIZ, H.A.; CANTARUTTI, R.B.; FRANÇA, G.E. Transporte de NO_3^- e NH_4^+ em agregados de Latossolo Vermelho com e sem atividade biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.4, p.380-386, 2007.

COUTINHO DE OLIVEIRA, L.F.; NOGUEIRA, J.G.; FRIZZARIM, S.S.; FIA, R.; FREITAS, J.S.; FIA, F.R.L. Sorção e mobilidade do lítio em solos de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos. **Eng. Sanit. Ambient**. v.18, n.2, 2013.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.16, n. 2, p. 57-66, jul./dez. 2014

- ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.4, p.825-831, 2001.
- FERNANDES, R.P.; SILVA, R.W.C.; SALEMI, L.F.; ANDRADE, T.M.B.; MORAES, J.M. Geração de escoamento superficial em uma microbacia com cobertura de cana-de-açúcar e floresta ripária. **Rev. Ambient. Água**, v. 8, n. 3, p. 178-190, 2013.
- HADDAD, A.S.; HASSANZADEH, H.; ABEDI, J.; CHEN, Z. Lumped mass transfer coefficient for divergent radial solute transport in fractured aquifers. **Journal of Hydrology**, v. 495, p. 113-120, 2013.
- HAGENAU, J.; BORG, H. Einfluss der applizierten Wassermenge und Applikationsrate auf die Stoffauswaschung aus porösen Medien. **Wasser und Boden**, v. 55, p. 105-111, 2003.
- HAUTMAN, D. P.; MUNCH, D. J. Method 300.1: Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography. In: EPA. **Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical / Chemical Methods** (SW-846). Washington: EPA, 1997.
- HUANG, J.; WU, P.; ZHAO, X. Effects of rainfall intensity, underlying surface and slope gradient on soil infiltration under simulated rainfall experiments. **Catena**, v. 104, p. 93-1-2, 2013.
- KAUFMANN, V.; PINHEIRO, A.; CASTRO, N. M. R. Transporte decompostos de carbono, nitrogênio e fósforo pelo escoamento da água em solos agrícolas na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, p. 75-86, 2014.
- LI-XIAN, Y.; GUO-LIANG, L.; SHI-HUA, T.; GAVIN, S.; ZHAO-HUAN, H. Salinity of animal manure and potential risk of secondary soil salinization through successive manure application. **Science of the Total Environment**. v. 383, p. 106–114, 2007.
- LUCHESI, A.V.; COSTA, A.C.S.; SOUZA-JUNIOR, I.G.. Lixiviação de íons após a aplicação de resíduos orgânicos de uma indústria farmoquímica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 189-199, 2008.
- MATOS, A.T.; GARIGLIO, H.A.A.; MONACO, P.A.V. Deslocamento miscível de cátions provenientes da vinhaça em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.7, p.743–749, 2013.
- MEYER, L. D.; HARMON, W. C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineering**, v.22, p. 100-103, 1979.
- NIELSEN, A.; TROLLE, D.; SONDERGAARD, M.; LAURIDSEN, T.L.; BJERRING, R.; OLESEN, J.E.; JEPPESEN, E. Watershed land use effects on lake water quality in Denmark. **Ecological Applications**, v. 22, n. 4, p. 1187-1200, 2012.
- PFAFF, J.D. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography: Method 300.0. **United States Environmental Protection Agency: Office of Research and Development** (Revision 2.1), 1993.
- PEREIRA, W.L.M.; VELOSO, C.A.C.; GAMA, J.R.N.F. Propriedades químicas de um latossolo amarelo cultivado com pastagens na Amazônia Oriental. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 531-537, 2000.
- SANTOS, J.S.; LIMA, V.L.A.; BORGES-JUNIOR, J.C.F.; SILVA, L.V.B.D.; AZEVEDO, C.A.V. Mobilidade de solutos em colunas de solo com água residuária doméstica e de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.11, p.1226–1233, 2010.
- SANTOS, I. P. O. ; VASCONCELOS, S. S. ; KATO, O. R. ; BISPO, C. J. C. ; SILVA, A. C. Dinâmica de amônio e nitrato no solo em sistemas agroflorestais sob cultivo de dendzeiro na Amazônia Oriental. IN: VIII Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. **Anais...** Belém, 2011.
- SILVA, J.C.A.; ANDRADE, A.P.; SILVA, I.F. Avaliação da infiltração da água no solo como indicador de modificações edáficas em três sistemas de manejo. **Revista Agropecuária Técnica**, João Pessoa. v.27, n.2, p.85–91, 2006.
- WANG, K.; ZHANG, R. Heterogeneous soil water flow and macropores described with combined tracers of dye and iodine. **Journal of Hydrology**, v. 397, p. 105–117, 2011.
- ZUQUETTE, L.V.; SILVA, E.M.; GARCIA, A. Aspectos de sorção para os materiais inconsolidados da região de São Carlos (SP), Brasil. **R. Esc. Minas**. v. 61, n. 2, p. 219-230, 2008.

7 Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq (processos 303472/2014-6 e 403739/2013-6) e a CAPES pela concessão de bolsas de mestrado e PNPd.